

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

УДК 621.586.83

**ІСТОРИЧНА МІСІЯ САДІ КАРНО  
HISTORIC MISSION SADI CARNOT**

**Ярошенко В. М., канд. техн. наук, доцент, Мілованова В. В., канд. техн. наук, доцент  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса  
Yaroshenko V. M., Milovanova V. V.  
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine**

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Саді Карно увійшов в історію і науковий світ як філософ природознавства і видатний вчений, незважаючи на те, що його життя було присвячене не теоретичним узагальненням і висновкам, а практичному використанню енергії водяної пари і пропаганді теплових машин.*

*Розглядаються та аналізуються історичні передумови і причини, які були покладені в основу роботи Карно, його погляди на процеси перетворення енергії в теплових машинах, їх максимальну енергетичну ефективність і практичні можливості для використання в якості робочого тіла не тільки водяної пари а й повітря.*

*Аналізуються погляди Карно на проблему енергетичних перетворень та ствердження, що не базувалися на механічній теорії теплоти і тому в значній мірі не відповідають поглядам, які домінують в даний час в класичній термодинаміці. У «реверсивному» циклі, який запропонував і аналізував Карно, не визначалась його термічна ефективність, так як він не розумів принципу еквівалентності тепла і роботи, як різних форм передачі енергії.*

*Підкреслюється важливість знання усієї історичної практики, яка супроводжувала еволюцію поглядів Карно та появу і подальше затвердження його знаменитого твору, а також ті помилки і розбіжності з сучасними поглядами, які Карно допускав в той час.*

*Sadi Carnot entered the history and the scientific world as a philosopher of natural science and an out standing scientist, despite the fact that his life was not dedicated to theoretical generalizations and conclusions, and the practical use of steam power energy and the promotion of heat engines.*

*This article discusses and analyzes the historical background and reasons which were the basis of Carnot's work, his views on the processes of transformation of energy in the heat engines, its maximum energy efficiency and practical possibilities for use as a working fluid not only to water steam but also to air.*

*Carnot analyzed the problem of energy transformations and statements, which were not based on the mechanical theory of heat, and therefore largely did not reflect the views that dominate at present in classical thermodynamics. In the «reverse» cycle, which was proposed and analyzed by Carnot, the thermal efficiency was not determined because he did not understand the principle of the equivalence of heat and work, as the various forms of energy transfer.*

*The importance of knowledge of all historical practices that accompanied the evolution of Carnot's views, the appearance and the subsequent approval of his famous works, and those mistakes and discrepancies with modern views that Carnot made at that time, are emphasized.*

**Ключові слова:** Карно, тепловий двигун, енергетичні перетворювання, реверсивний цикл

**Key words:** Carnot heat engine, power conversion, reverse cycle

Вступ. Розвиток промисловості в деяких країнах буржуазно—демократичного напрямку наприкінці XVII століття вимагав більш значного підвищення продуктивності праці в промисловості, що насамперед обумовлювало розробку та використання машин, де в якості робочого тіла використовувалась водяна пара. Але розробки та проектування таких машин, які потім стали називатись тепловими двигунами, проводились хаотично, без застосування загальних застав та принципів, так як в той час не існувало теоретичної науки яка б пояснювала процеси енергетичних перетворень.

Інженерні пошуки велись переважно в практичному напрямку, що безумовно гальмувало втілення в промисловості високоєфективних машин, які використовували рухому силу водяної пари. Французький військовий

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВІСТІ**

інженер Саді Карно не був виключенням в цій концепції розвитку інженерної творчості і працював в напрямку практичного удосконалення існуючих теплових машин та пропаганди їх практичного використання в своїй країні. Але його творчі пошуки, аналіз розвитку та практичного застосування парових машин призвели до створення концептуальної теорії теплових машин, яка значно пізніше вже після його смерті, була узагальнена у вигляді основних теоретичних застав проектування теплових двигунів та методів підвищення їх енергетичної ефективності. Основні висновки Саді Карно, відокремлені від конструкцій машин та робочих тіл, були покладені в основу узагальнень, що склали основу класичної термодинаміки.

Саді Карно увійшов в історію як філософ природознавства (у ті часи так називали фізиків), який у своєму видатному творі «Роздуми про рухомих силу вогню та про машини, які здатні виробляти таку силу», опублікованому у 1824 р, заклав основи технічної термодинаміки як проблему перетворення теплової енергії в механічну у загальному вигляді. Його ім'я ввійшло в науковий світ як ім'я видатного вченого, незважаючи на те, що його життя було присвячено не теоретичним узагальненням та прогнозам, а практичному використанню енергії водяної пари та пропаганді теплових машин.

Незважаючи на історичну важливість праці Карно, багато його стверджень та висновків довгий час були невідомі та не зрозумілі для його сучасників, а також в значній мірі не відповідали поглядам, які в наші дні домінують в класичній термодинаміці, так як не відповідали механічній теорії теплоти. Його історичний твір набув публічного признання тільки після його смерті завдяки укріпленню позицій механічної теорії теплоти та активній роз'яснювальній діяльності таких вчених як Б. Клапейрон, Р. Клаузіус та Вільям Кельвін.

Тому важливо знати та зрозуміти всю історичну практику, яка супроводжувала еволюцію поглядів Карно та появу і подальше затвердження знаменитого його твору, а також ті помилки та розбіжності з сучасними поглядами, які Карно допускав в той час.

Історична передумова твору Карно. Саді Карно народився практично в самому кінці історичного європейського періоду, який називався Віком Розуму, майже в той час коли була заснована Політехнічна школа для навчання армійських інженерів. За 35 років існування школи випустила цілу шеренгу видатних математиків та фізиків. Серед них були Йозеф Луїс Лагранж, Жан Баптист Йозеф Фур'є, Клод Ліс Бертоле, Андре Марі Ампер, Августин Ліс Дюлонг, Августин Ліс Коши, Гаспар Густав де Кареоліс, Сімеон Деніс Пуасон, Йозеф Луї Гей Люсак, Бенуа Пауль Еміль Клапейрон та інші. Згодом в цій школі навчався Карно.

Праці цих видатних вчених внесли великий вклад в поняття того, що усі аспекти та сторони фізичного світу можливо пояснити та досягти силою розуму, якщо прикласти відповідні зусилля для застосування наукового теоретичного аналізу та відповідного експериментального досвіду.

Науковий метод домінував в механіці, електриці, оптиці та опорі матеріалів. Це дало поштовх інженерії, яка в свою чергу обумовила емпіричний підхід до технології різних процесів. Промислова революція заволоділа Британією значно раніше чим вона прийшла до в окремоті Франції та до Європи з Америкою взагалі.

Індустріальна відсталість Франції в ті часи частково залежала від політичної нестабільності, яка виникла як наслідок нестійкої влади монархії та аристократії, піднесення та падіння Наполеона та розпад Французької імперії після поразки Наполеона під Ватерлоо. Але в значній мірі відсталість залежала від технологічних факторів. В цих умовах праця Карно дійсно мала практичну спрямованість та була направлена на стимулювання промислового розвитку індустрії Франції і насамперед парових та теплових двигунів, як основи технологічного та промислового підйому.

Не зовсім зрозуміло що спонукало Саді Карно зацікавиться паровим двигуном. Роберт Фокс із університету у Ланкастері, ведучий історик праць Карно, пояснює це тим, що Карно знайшов своє натхнення не в фізиці того часу, а у інженерних традиціях на захист яких він став. Карно мав довгі дискусії з хіміками та промисловцями на тему теоретичних застав при використанні енергії пари та загальної промислової технології, яку Джеймс Уатт запатентував в Англії. До того ж проблема використання пари в промисловості довго обговорювалось у Франції з приводу запатентованого парового двигуна Вульфа. З погляду на ці події, спроба Карно в «Роздумах про...» здобути максимальну кількість енергії від парового двигуна була дійсно необхідною та актуальною.

Основна ідея роботи Карно полягала в тому, щоб широкі кола суспільства змогли познайомитись з можливостями парового двигуна в піднятті життєвого рівня населення Франції. Праця розпочиналась з детального пояснення практичної ролі яку має паровий двигун в суспільному житті на прикладі Англії.

Карно писав: «Вивчення таких двигунів має великий інтерес, їх значення дуже велике, їх використання постійно зростає і вони напевно покликани здійснити велику революцію у цивілізації. Паровий двигун вже працює на наших шахтах, пароплавах, поглиблює порти, та ріки, вковує залізо, рубає ліс, перемелює зерно, пряде наш одяг, транспортує вантажі і т. д. Напевно прийде день коли він стане універсальним двигуном та замінить тваринну силу, водоспади, та потоки повітря. Він має перевагу при постійному використанні в будь який час та в будь якому місці».



**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Далі Саді Карно продовжував: «Відкриття парового двигуна зобов'язано своїм народженням, як і більшість винаходів, примітивними спробами приписати його різним людям, в той час як дійсний автор невідомий. Принципове відкриття мале місце не при перших спробах, а при постійному удосконаленню коли паровий двигун став таким як ми його бачимо зараз. Відстань між першим екземпляром, в якому була продемонстрована сила розширення пару із сьогоднішньою машиною, така велика як різниця між першим плотом та сучасним пароплавом».

В сучасній науковій літературі історична послідовність трактується наступним чином. Перші теплові двигуни, які призначались для підйому води із шахт, були винайдені англійськими інженерами Томасом Севері у 1698 році та Томасом Ньюкоменом у 1712 році. Якщо машина Севері була побудована на безпосередній дії пари для підйому води, то машина Ньюкомена була побудована на основі парового поршня, ідея використання якого належала Папену. Широке втілення парових машин в промисловість розпочалось після винаходу Джеймсом Уаттом у 1774 році парової машини, в якій робота здійснювалась без використання тиску атмосфери, що значно зменшило потреби у паливі. Джейм Уатт доповнив свої машини пристроями, з допомогою яких поступовий рух поршня трансформувався в обертовий рух валу. Слід відзначити те, що усі розробки мали практичну направленість та не базувались на будь якій теорії теплових машин, так як в той час такої теорії не існувало.

Праця Карно в той час практично не була широко відома та усвідомлена більшістю вчених та інженерів, незважаючи на те що вона була опублікована головним видавництвом Франції (видавництво Бачієра) з позитивними рецензіями. Але на англійську мову робота Карно була перекладена тільки у 1890 р. Видатне місце в історичному процесі робота Карно здобула завдяки коментарям та роз'ясненням Бенуа Пауля Еміля Клапейрона, який в 1834 році зробив спробу узагальнити ідеї Карно в аналітичному та графічному виді. Робота Клапейрона була передрукована деякими видавництвами, що дало змогу поширити в науковому світі основні тези Карно, опираючись на існуючу в той час, матеріальну теорію теплоти.

Тільки розпочинаючи з 1850 року, Рудольф Юліус Емануель Клаузіус та Вільям Томсон (пізніше він став відомий як лорд Кельвін) змогли поєднати ідеї Карно та принцип еквівалентності тепла та роботи, заклавши тим самим основи класичної термодинаміки. Ці вчені приділяли значну увагу теоретичним питанням, а саме циклу Карно, як ідеальному для теплових двигунів та ентропії як міри необоротності процесів.

Основні ідеї Карно та їх аналіз. В своєму творі Карно дав загальний аналіз потужностей парових та інших теплових двигунів. Він хотів знайти ту межу рухомої сили тепла, яка не дозволить тепловим двигунам удосконалюватись до безмежності. Він також шукав відповідь на питання, чи буде таке робоче тіло як алкоголь або повітря кращим від пари. Треба відзначити той факт, що Карно шукав відповідь в загальному вигляді по відношенню до будь якого теплового двигуна, а не для окремих конструкцій, як це робили деякі вчені та інженери.

Погляд на працю Карно, як теоретичне узагальнення, не можна вважати справедливим, а в той час був зовсім неправильним, так як основою його праці була, насамперед, пропаганда парових та інших теплових двигунів у Франції, а не їх теоретичний аналіз. В його праці не йшла мова про термічну ефективність циклу, так як згідно з існуючою в той час теорією «теплицю», кількість теплоти в процесах не змінювалась. Карно порівнював процес передачі тепла від гарячого джерела до холодильника в тепловому двигуні з перебігом води в водяному двигуні. До того ж в той час ще не існувало поняття абсолютної термодинамічної температури. Термічну ефективність (термічний коефіцієнт корисної дії) надалі було запропоновано Томсоном розраховувати через абсолютні температури джерел теплоти. В праці Карно приводиться дуже багато справедливих висновків відносно парових машин, але вони рівнозначно, як і загальні висновки стосовно усіх теплових машин, в той час залишились зовсім непомітними та не зробили жодного впливу на розвиток парових двигунів того часу.

Карно ставив такі питання в той час, коли ще був невідомий перший закон термодинаміки, який був вперше узагальнений в 1840 році в праці Джеймса Прескота Джоуля. Основою першого закону був принцип зберігання енергії та її взаємне трансформування в еквівалентних співвідношеннях. Така еквівалентність не відповідала теорії «теплицю», яка була в той час домінуючою при відображенні процесів взаємного перетворювання енергії і на яку опирався Карно у своїй праці. Відповідно до теорії «теплицю», теплота розглядалась як рідина, яка не має маси та завжди зберігається, перетікаючи від одного тіла до іншого. В той час за допомогою цієї, так званої, матеріальної теорії теплоти пояснювалась переважна більшість теплових явищ. Такий погляд був дуже виразно сформульований французом Фур'є в його знаменитій праці «Аналітична теорія тепла» тезою: «Яким би не був розвиток механічних теорій, вони не можуть бути використані до теплових явищ. Останні складають цілий спеціальний клас явищ, які не можуть бути пояснені законами руху та рівноваги».

Але треба окремо підкреслити, що в той час уже існувала опозиція до цієї теорії, яка опиралась на зв'язок між тепловими та механічними явищами. Цьому сприяв розвиток прикладної механіки, яка, наприклад, дала таке важливе поняття як механічна робота.

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Навіть Карно, після видання своєї головної праці, в своїх тезах пише: «Якщо якась гіпотеза уже не здатна пояснити явища, то її необхідно відкинути. Наразі у такому стані знаходиться гіпотеза про «теплець», як про речовину, яка є матеріальною субстанцією». В записках Карно, які були передані його братом Іполитом до Французької Академії наук після його смерті, він критикував термічну теорію тепла та говорив про принцип еквівалентності і механічну теорію тепла. Він стверджував тезу: «Теплота — просто рухома сила або рух, які змінили форму. Де є порушення рухомої сили, там, в той же час, має місце зародження тепла в кількості пропорційній кількості порушеної рухомої сили. І навпаки, там, де є порушення теплоти, там має місце виробництво рухомої сили». На жаль передчасна смерть не дала змоги Карно переглянути та скорегувати свою основну працю.

Геніальність викладів Карно полягає в тому, що він зміг зробити перспективні висновки про теплові машини, не обгрунтовуючи свої погляди на принципі еквівалентності тепла та роботи. Не ґрунтуючись на засадах першого закону термодинаміки, Карно не зміг би обгрунтувати термічну ефективність теплового двигуна те, що йому часто приписують. Він показав та розрахував тільки максимальну можливість теплового двигуна: його максимальну продуктивність (кількість води, перемножену на підняту висоту, по відношенню до заданої кількості вугілля).

Карно уявляв, що рухома сила теплового двигуна, проявляється внаслідок переходу незмінної кількості теплоти від високотемпературного джерела (теплового резервуару або нагрівача) до холодного джерела (конденсатора або холодильника). Ґрунтуючись на викладах Лазаря Карно, який обгрунтував ефективність машин із водяним приводом, Саді Карно провів аналогію процесів теплового двигуна та водяного колеса. Роботу теплового двигуна Карно розглядав як результат різниці температур, наслідком якої є рух однієї і тієї ж кількості тепла від нагрівача до охолоджувача. Таким же чином як у водяному колесі величина роботи залежить від кількості води та різниці гравітаційних рівнів, по аналогії у теплому двигуні кількість роботи залежить також від кількості теплоти нагрівача та різниці температур. В дійсності, відповідно до принципу еквівалентності, робота дорівнює різниці між кількістю теплоти нагрівача та кількістю теплоти, яка віддається охолоджувачу.

Карно запропонував ідеальний цикл теплового двигуна на основі циліндра, поршня, робочого тіла та двох джерел тепла з різними температурами. Робоче тіло яке знаходиться в циліндрі може бути в будь якому агрегатному стані, але яке може змінювати свій об'єм в залежності від теплового процесу (нагрівання чи охолодження). Цикл може повторюватись безмежну кількість разів, що забезпечує постійне виробництво енергії.

Своїм циклом Карно заклав основи термодинамічної теорії оборотності. Кожне повторення дії циклу супроводжується рухом тепла від джерела з більшою температурою до джерела з меншою температурою та виробництвом зовнішньої роботи без зміни кількості тепла, що відповідало існуючій в той час теорії «теплець». Карно уявляв собі, що кожна дія циклу може бути оборотною, таким чином що б тепло рухалося від тіла з меншою температурою до тіла з більшою температурою при витраті тієї ж зовнішньої роботи. Цей висновок був зроблений маючи на увазі аналогію з водяним колесом. Карно назвав свій цикл «реверсивним», так як в такому разі цикл реалізується в зворотному напрямку і потребує затрати такої ж кількості роботи, яку він виробляє при прямій дії.

Центром теоретичної дискусії Карно було його ствердження відносно того, що при започаткованій різниці температур та незмінній кількості тепла, жоден інший цикл не може виробляти більше рухомої енергії чим його ідеальний «реверсивний» цикл. Цей висновок він зробив порівнюючи свій «реверсивний» цикл з більш ефективним гіпотетичним циклом з більшою кількістю рухомої енергії. В цьому разі можливо частину рухомої енергії гіпотетичного циклу використати для реверсу циклу Карно, а іншу частину в зовнішню роботу. Іншими словами можливо сказати, що в разі комбінування циклу Карно з більш ефективним циклом при тих же започаткованих умовах, стає можливою дійсність вічного двигуна (тепер він називається вічним двигуном першого роду). Але можливість вічного двигуна заперечувалась в той час більшістю вчених.

Тому кінцевим висновком Карно було ствердження неможливості циклу, який буде більш ефективним ніж «реверсивний» цикл при тих же умовах. Цими висновками Карно започаткував основу другого закону термодинаміки, який був узагальнений роботами Клаузіуса та Томсона тільки у п'ятдесятих роках XIX століття.

Карно показав, що енергія ідеального циклу жодним чином не залежить від властивостей робочого тіла. Але з практичної точки зору властивості робочого тіла відіграють значну роль, так як від цього залежить вибір проекту двигуна та робочого рівня температур. Він рекомендував вибирати такі робочі тіла, які можуть більше розширюватись при заданому рівні температур. Тому газ, згідно з Карно, мали більшу перспективу по відношенню до рідин та твердих тіл. Тому Карно приділив значну увагу повітрю, як робочому тілу теплового двигуна, підкреслюючи переваги повітря по відношенню до водяної пари при високих температурах нагрівача. Він прогнозував можливість внутрішнього згоряння палива, що обумовлювало зменшення кількості апаратів (парового генератора, конденсатора). Це створювало можливість створення портативного, компактного двигуна. Разом з тим Карно розумів, що механізм, за допомогою якого стискається повітря в такому двигуні буде значно

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

складнішим та буде потребувати більше енергії по відношенню до парового двигуна, що обумовлено значно меншим питомим об'ємом води та її незначною пружністю. Безумовно, що ідея використання повітря як робочого тіла, була передвісником для розвитку двигунів внутрішнього згорання.

Карно писав: «Використання атмосферного повітря для розвитку рухомої сили тепла передбачає на практиці дуже великі, але, напевно, не неподолані труднощі. Якщо ми будемо мати везіння подолати їх, це, безумовно, дасть значну перевагу над водяною парою».

Але шлях від передбачення Карно до практичного втілення двигуна внутрішнього згорання на практиці був досить тривалим, так як тільки у 1859 році француз Жан Етьєн Ленуар винайшов такий двигун, який пізніше в 1878 році був доведений німецьким інженером Отто практично до рівня, який відповідає сьогоденню. В значній мірі усі передбачення Карно, відповідно до труднощів та потенційних переваг двигуна, збулися.

Історія розвитку двигуна Дизеля (1891 р) свідчить про те, що цикл Карно використовувався не як основа якоїсь реальної машини, а як гіпотетичний зразковий цикл, за допомогою якого можливо визначати максимальну термодинамічну ефективність теплового двигуна. Рудольф Дизель ще в студентські роки, слухаючи лекції проф. Лінде, поставив за мету побудову циклу Карно. Він прагнув реалізувати цикл з повітрям, в якому процес підводу теплоти був би ізотермічним, контролюючи при цьому витрати палива. На жаль він не зміг здійснити свою мрію, але він наблизив процес підводу теплоти в своєму циклі до ізотермічного (ізобарний процес підводу теплоти в циклі Дизеля є ближчим до ізотермічного в порівнянні із ізохорним в циклі Отто), що обумовило і підвищення термічного коефіцієнта корисної дії. Прагнення Карно запалити паливо в двигуні внутрішнього згорання методом стиснення здійснились при реалізації двигуна Дизеля.

Поряд з цим Карно передбачав комбінований цикл. Він писав: «Ми можемо навіть допустити використання того ж самого тепла послідовно для повітря та пари. В такому разі буде необхідним, щоб повітря, після його первинного використання, мало достатньо високу температуру, з тим щоб замість вилучення до атмосфери, заставити його нагрівати паровий бойлер так, ніби він тільки вийшов з печі». Такий комбінований цикл мав практичну реалізацію в дизельному двигуні Стила, який не зовсім вдало пройшов апробацію на локомотивах та судах. Продовження цієї ідеї Карно має місце в комбінованих циклах, які поєднують газову та парову турбіни і успішно застосовуються в промисловості.

Заключна частина. Незважаючи на те, що Саді Карно цілком справедливо є засновником теоретичної науки — термодинаміки, він був насамперед інженером—практиком, який добре розумів різницю між теоретичною розробкою (проектом) та реальним двигуном. Його теоретична праця закінчувалась словами: «Економіка спалювання це єдина вимога, яку необхідно реалізувати в теплових двигунах. В багатьох випадках вона не є головною. Завжди перевага повинна віддаватися безпеці, надійності та строку служби двигуна, його габаритам, дешевизні установки та ін. Насамперед, при оцінюванні двигуна, необхідно мати на увазі його зручність та економіку; врахування побічних факторів з метою отримання кращих результатів простим способом — такими повинні бути провідні риси людини, яка призвана керувати та координувати працю робітників та привести їх до корисного фінішу».

Відмічаючи працю Карно, необхідно віддати належне його видатному передбаченню та аналітичній силі, яка насамперед базується на жорсткій практичній діяльності. Його бажання насамперед були націлені на практичні перспективи, пов'язані з розвитком промисловості на основі узагальнення та удосконалення теплових машин. В пошуках відповіді на актуальні практичні питання, Карно став засновником теоретичних положень, які пояснюють процеси енергетичних перетворювань в різноманітних фізичних явищах в узагальненому вигляді та в теплових двигунах і холодильних машинах зокрема. В якійсь мірі технічна термодинаміка є наукою, яка стала дзеркальним відображенням праці Карно. Вона є теоретичною наукою з відповідним аналітичним апаратом, який дозволяє розраховувати та оптимізувати процеси енергетичних перетворювань, але вона базується на основних законах, які були узагальнені дослідним (емпіричним) шляхом, та які в загальному вигляді відображають усю безмежну кількість реальних (дійсних) процесів та явищ існуючої навколо нас фізичної природи.

#### Література

1. Базаров, И. П. Заблуждения и ошибки в термодинамике [Текст] / И. П. Базаров. Изд. 2-е испр. – М.: Едиториал УРСС. – 2003. – 120 с.
2. Бродянский, В. М. Сади Карно. 1796-1832 [Текст] / В. М. Бродянский. – М.: Наука. – 1996. – 160 с.
3. Игнатович, В. И. Введение в диалектико-материалистическое естествознание [Текст]: монография / В. И. Игнатович. – Киев: ЭКМО. – 2007. – 468 с.
4. Вейник, А. И. Новая система термодинамики обратимых и необратимых процессов [Текст] / А. И. Вейник – Минск: Высшая школа. – 1966. – 48 с.
5. Кашманов, В. В. Карно, Клапейрон, Клаузиус [Текст] / В. В. Кашманов. – М.: Просвещение, 1985. – 96 с.



**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ, ТЕОРІЇ, МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

6. Михал, С. Вечный двигатель вчера и сегодня [Текст] / С. Михал. – М.: Мир, 1984. — 256 с.
7. Второе начало термодинамики [Текст]: [сборник] / С. Карно [и др.]; ред. И предислов. А. К. Тимирязев. – Изд. 2-е. – М.: URSS. ЛКИ, 2007. – 311 с.
8. Смирнов, Г. В. Под знаком необратимости (Очерки о теплоте) [Текст] / Г. В. Смирнов. – М.: Знание, 1977. – 144 с.
9. Спасский, Б. И. К истории открытия теоремы Карно [Текст] / И. С. Саранов, Б. И. Спасский // Успехи физических наук. – 1969. – Вып. 2, Т. 99. – С. 347–352.
10. Радциг, А. А. Сади Карно и его «Размышления о движущей силе огня» [Текст] / А. А. Радциг // Архив истории науки и техники. Вып. 3. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. – 1934. – С. 31–49.
11. Цирлин, А. М. Второй закон термодинамики и предельные возможности тепловых машин [Текст] / А. М. Цирлин // Журнал технической физики. – 1999. – Вып. 1, Т. 69. – С. 140–142.
12. Шпильрайн, Э. Э. О предельных КПД теплосиловых установок [Текст] / Э. Э. Шпильрайн // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1982. – № 4. – С. 121–126.
13. Victor Brodiansky. Sadi Carnot 1796–1832: Réflexions sur sa vie et la portée de son oeuvre [Text] / V. Brodiansky – Presses Universitaires de Perpignan. – 2006. – 240 p.
14. Jacques Grivenald. La revolution carnotienne. Thermodynamique, economie et ideologie [Text] / Jacques Grivenald // Revue europeenne de sciences. – 1975. – № 36. – P. 39–79.
15. Mer, V. C. Some current misin terpresantations of N. L. Sadi Carnot s memoir and cycle [Text] / V. C. Mer // American Journal of Physics. – 1954. – № 1. – С. 22.
16. Clausius, R. Abhandlungen über die mechanische Wärmttheorie. Abtheilung II. [Text] / R. Clausius // Braunschweig: Druck und Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, 1867. – 351 p.

**References**

1. Bazarov, I. P. (203). Zabluzhdenija i oshibki v termodinamike : Izd. 2-e ispr. Moscow, Editorial URSS, 120.
2. Brodjanskij, V. M. (1996). Sadi Karno. 1796-1832. Moscow, Nauka, 160.
3. Ignatovich, V. I. (2007). Vvedenie v dialektiko-materialisticheskoe estestvoznaniit. Kiev, JeKMO, 468.
4. Vejnik, A. I. (1966). Novaja sistema termodinamiki obratimyh i neobratimyh processov. Minsk, Vysshaja shkola, 48.
5. Kashmanov, V. V. (1985). Karno, Klapejron, Klauzius. Moscow, Prosveshhenie, 96.
6. Mihal, S. (1984). Vechnyj dvigatel' vchera i segodnja. Moscow, Mir, 256.
7. Vtoroe nachalo termodinamiki: sbornik. Izd. 2-e. (2007). Moscow, URSS. LKI, 311.
8. Smirnov, G. V. (1977). Pod znakom neobratimosti (Ocherki o teplote). Moscow, Znanie, 144.
9. Spasskij, B. I., Saranov, I. S. (1969). K istorii otkrytija teoremy Karno. Upehi fizicheskikh nauk, 2 (99), 347–352.
10. Radcig, A. A. (1934). Sadi Karno i ego «Razmyshlenija o dvizhushhej sile ognja». Arhiv istorii nauki i tehnik. Vyp. 3. Moscow.–Leningrad, AN SSSR, 31–49.
11. Cirlin, A. M. (1999). Vtoroj zakon termodinamiki i predel'nye vozmozhnosti teplovih mashin. Zhurnal tehnichekoj fiziki, 1 (69), 140–142.
12. Shpil'rajn, Je. Je. (1982). O predel'nyh KPD teplosilovyh ustanovok. Izvestija AN SSSR. Jenergetika i transport, 4, 121–126.
13. Victor Brodiansky. (2006). Sadi Carnot 1796–1832: Réflexions sur sa vie et la portée de son oeuvre. Presses Universitaires de Perpignan, 240.
14. Jacques Grivenald. (1975). La revolution carnotienne. Thermodynamique, economie et ideologie. Revue europeenne de sciences, 36, 39–79.
15. Mer, V. C. (1954). Some current misin terpresantations of N. L. Sadi Carnot s memoir and cycle. American Journal of Physics, 1, 22.
16. Clausius, R. (1867). Abhandlungen über die mechanische Wärmttheorie. Abtheilung II. Braunschweig: Druck und Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, 351.