

# Інженер Саді Карно та його “Роздуми про рушійну силу вогню”

Ім'я Саді Карно часто звучить у різних аудиторіях нашого університету. «Ідеальна машина Карно», «цикл Карно», «принцип Карно», «теорема Карно»... А якщо врахувати, що він був інженером і закінчив Політехнічну школу, то, звичайно, було б дуже недоречно не відзначити в газеті «Київський політехнік» 210 років з дня його народження, що виповнилися у цьому році.

Нікола Леонар Саді Карно народився 1 червня 1796 року в сім'ї Лазаря Карно (1753–1823) – одного з найвидатніших політичних діячів Великої французької революції, який у різні роки був членом Законодавчих зборів, Конвенту, Комітету суспільного порятунку, Директорії, і якого називали організатором перемоги за вирішальний внесок у формування революційних армій у 1793 р.

Лазар Карно був також видатним ученим, що залишив теоретичний спадок у різних науках – прикладній механіці («Дослідження машин взагалі», 1783), математичному аналізі («Роздуми про метафізику числення нескінченно малих», 1797). Він – один із основоположників проективної геометрії. У 1810 р. видав трьохтомну працю з фортифікації «Про оборону фортець». У рік, коли народився його син Саді, Лазаря Карно було обрано членом Паризької академії наук.

Життя Саді Карно протікало зовсім в іншу історичну епоху, ніж життя його батька, і було небагатим на яскраві події. Та й відомостей про нього до нас дійшло дуже мало. Відомо, що у 1812–1814 рр. Саді Карно навчався у знаменитій Політехнічній школі, потім в Інженерній школі у м. Метц, а в 1816 р. отримав призначення в інженерні війська. У 1819 р. після складання відповідних екзаменів виграє конкурс і переїздить в головний штаб корпусу в Париж. Продовжив навчання, відвідував лекції в Сорбонні, Колежі де Франс, Консерваторії мистецтв та ремесел. У Консерваторії Карно познайомився з фізиком Н.Клеманом, який досліджував властивості газів, після чого зацікавився проблемою удосконалення парових машин.

У 1824 р. видав свою єдину роботу – мемуар “Роздуми про рушійну силу вогню та машини, здатні розвивати цю силу”. У 1828 р. Карно полишив військову службу і продовжив самостійно займатися наукою. 24 серпня 1832 р., в 36-річному віці, Саді Карно помер від холери. Його речі, згідно із законом, було спалено. Чудом вціліла одна записна книжка, яку врятував його брат Іполіт. Науковий спадок Саді Карно за обсягом не йде ні в яке порівняння з науковим спадком батька. Але за впливом на подальший розвиток науки... Сьогодні Лазаря Карно згадують, мабуть, тільки механіки і тільки тоді, коли вивчають теорію удару (є теорема Карно про втрачену кінетичну енергію при непружному ударі). А ідеї Саді Карно відомі всім. Хоча визнані вони були не відразу.

Довгий час “Роздуми” Карно залишалися поза увагою фізиків. Лише через десять років після їх публікації, і

через два роки після смерті автора, інший француз – Б.Клапейрон – повторив міркування Карно, виконав описані словами розрахунки і зобразив процеси на діаграмі. Через три роки статтю Клапейрона переклали і видали в Англії. Прошло ще дев'ять років, і статтю Клапейрона надрукував німецький фізик і видавець І.Х.Поггендорф у своїх “Анналах фізики і хімії”. І тільки після цього – через 22 роки після публікації мемуару – ідеї Карно стали основою досліджень Р.Клаузіуса та В.Томсона, які створили на їхній основі друге начало термодинаміки. А від мемуару Карно стали відлічувати початок науки класичної термодинаміки.

Мемуар Карно по праву вважається класичним твором. Всебічний розгляд проблеми, обговорення суміжних проблем, послідовність викладу, а також чудова мова, якою він написаний, – його і сьогодні цікаво читати. І ще – коли читаєш, відчуваєш, що автор – високоосвічений і ерудований інженер, якому цікаво думати про машини, а метою теоретичних досліджень є вирішення практичної проблеми – удосконалення парових (і ширше – теплових) машин.

«Ніхто не сумнівається, що теплота може бути причиною руху (механічного – В.І.), що вона має велику рушійну силу: парові машини, нині дуже розповсюджені, є цьому очевидним доведенням» – так Карно розпочинає свій твір.

Далі він характеризує дії теплоти: “вона викликає хвилювання атмосфери, підняття хмар, падіння дощу й інших опадів, змушує текти потоки води на поверхні земної кулі, незначну частину яких людина зуміла застосувати на свою користь; нарешті землетруси і вулканічні виверження також мають причиною теплоту.

З цих величезних резервуарів ми можемо створювати рушійну силу, необхідну для наших потреб; природа, усюди надаючи горючий матеріал, дала нам можливість завжди і скрізь одержувати теплоту у рушійну силу, що її супроводить. Розвивати цю силу і застосовувати її для наших потреб – така мета теплових машин”.

Карно характеризує значення теплових машин для різних галузей промисловості, перелічує області їх застосування і висловлює думку, що колиш ці машини стануть універсальними двигунами, отримавши перевагу над силою тварин, падаючої води та вітровими двигунами.

Далі він зауважує, що теорія теплових машин розвинена погано.

“Часто піднімали питання: обмежена чи нескінченна рушійна сила теп-

ла (як впливає з примітки, яку зробив Карно, рушійною силою тепла він називає величину роботи, – В.І.), чи існує визначена границя для можливих поліпшень, границя, що природа речей заважає переступити тим чи іншим способом, – чи, навпроти, можливі безмежні поліпшення? Також довгий час шукали і шукають тепер, чи не існує агентів, кращих, ніж водяна пара, для розвитку рушійної сили вогню; чи не дає, наприклад, атмосферне повітря в цьому відношенні переваги. Ми ставимо собі задачу піддати тут ці питання уважному розгляду”.

Карно відмічає: “Явище одержання руху з тепла не було розглянуто з досить загальної точки зору. Його досліджували тільки в машинах, природа і спосіб дії яких не дозволяли йому прийняти повного розвитку, на яке воно здатне...”

Щоб розглянути принцип одержання руху з тепла у всій його повноті, треба його вивчити незалежно від якого-небудь механізму, якого-небудь визначеного агента; треба провести міркування, застосовні не тільки до парових машин, але і до всіх мислимих теплових машин, якою б не була речовина, застосована в них”.

Такий підхід Карно до вирішення проблеми свого часу високо оцінив великий мислитель Фрідріх Енгельс, в роботах якого критичні зауваження з приводу загальноприйнятих серед фізиків методів мислення зустрічаються набагато частіше, ніж схвальні оцінки.

Карно пише: “Одержання руху в парових машинах завжди супроводжується однією обставиною, на яку ми повинні звернути увагу. Ця обставина є відновлення рівноваги теплоти, тобто перехід теплоти від тіла, температура якого більш-менш висока, до іншого, де вона нижче... Виникнення рушійної сили зобов'язано в парових машинах не дійсній витраті теплоти, а його переходу від гарячого тіла до холодного, тобто відновленню його рівноваги, – рівноваги, що була порушена деякою причиною, чи то хімічна дія, як горіння, чи що-небудь інше. Ми побачимо, що цей принцип стосується всіх машин, що приводяться в рух теплотою.

Відповідно до цього принципу, недостатньо створити теплоту, щоб викликати появу рушійної сили: потрібно ще добути холод; без нього теплота стала б непродуктивною”.

У цих положеннях – суть теорії Карно, на основі якої відбувся подальший розвиток термодинаміки.

Далі Карно доводить, що рушійна сила тепла не залежить від природи робочого тіла, а визначається тільки температурами тіл, між якими відбувається

перехід теплоти. При цьому він виходить з неможливості вічного двигуна, тобто отримання роботи з нічого. Це було досить сміливим кроком. Хоча Паризька академія наук визнала неможливість механічних вічних двигунів у 1785 році, але, як зауважив свого часу Макс Планк, Карно вперше поширив висновок про неможливість вічного двигуна на немеханічні процеси.

Карно розглядає багато питань, пов'язаних з тепловими двигунами. Зокрема, торкнувшись питання можливості застосування як робочого тіла в теплових двигунах рідин і твердих тіл, Карно робить правильний висновок про їх малу придатність, об'рунтовуючи цей висновок малою зміною об'єму цих тіл із зміною температури.

Для двигунів, де застосовуються гази, Карно формулює такі принципи економічності: температура робочого тіла спочатку має бути максимально високою, охолодження – при максимально низькій температурі. Перехід від високої температури до низької повинен відбуватися тільки при розширенні робочого тіла. Не слід допускати контакту тіл з різними температурами.

Ці принципи застосовуються і сьогодні.

Карно розглядає і машини, в яких використовується гаряче повітря. Він описує їх переваги перед паровими машинами в області високого тиску, а також висловлює ідею утилізації тепла, яка дуже актуальна сьогодні. Є цікаве зауваження Карно про двигуни внутрішнього згорання. Йому були відомі досліді Ньєпса, який пропонував двигун, що мав працювати за рахунок згорання горючого порошку в циліндрі.

Наприкінці книги Карно справедливо зазначає, що на практиці слід брати до уваги не тільки економію палива, але й надійність машини, довговічність, витрати на утримання та ін.

Хоча ідеальну теплову машину створити неможливо, і теплових двигунів, в яких використовується цикл Карно, не існує, ідеальна машина Карно знайшла найширше застосування в теорії – в найрізноманітніших розділах термодинаміки. Власне, як і належить ідеальній машині. Варто уявити, що робочим тілом в машині Карно є та чи інша речовина, або термодинамічна система в стані рівноваги (газ, рідина з насиченою парою, суміш реагуючих газів, електромагнітне випромінювання чи що-небудь ще), виконати відповідні розрахунки, виходячи з того, що термічний коефіцієнт корисної дії такої машини такий самий, як машини, де використовується ідеальний газ, – і можна теоретично вивести безліч законів і рівнянь – рівняння Клапейрона-Клаузіуса, закон діючих мас, закон Стефана-Больцмана та інші.

Твір Карно по праву називають класичним. А класичний твір – це не просто твір, який з часом не старіє, а такий, у якому час виявляє нові сторони,

новий зміст, що довго час залишався поза увагою дослідників.

Наприкінці XIX століття, коли класична термодинаміка набула класичної форми, коли питання, якими цікавився Саді Карно, здавалося, були повністю вирішеними, В.Оствальд, публікуючи роботу Карно у своїй серії Ostwald's Klassiker, звернув увагу на те, що для позначення теплоти Карно застосовував два терміни – chaleur і calorigique – «теплота» і «теплиця», і відмітив, що говорячи про виникнення рушійної сили тепла, Карно пише про перехід теплоти від тіла більш нагрітого до тіла менш нагрітого.

Згодом відомий свого часу англійський учений Н.Л.Календар став стверджувати, що ентропія – це інша назва теплоти, про який писав у своїй роботі Карно. Цю точку зору критикував О.О. Радціг. Але пізніше ряд інших авторів – І.Н.Бренстед, Ла Мер, Л.Бріллюен – знову стверджували, що calorigique (теплиця) треба читати як “ентропія”. Підстави для такої точки зору є: цикл Карно в координатах ентропія – температура має такий самий вигляд, як в координатах теплиця – температура. Відомий фахівець в галузі термодинаміки професор О.А.Гухман висловлював думку, що Карно відчував необхідність розділити складне поняття кількості теплоти на дві величини – кількісну міру дії chaleur і координату стану calorigique. Член-кореспондент АН Білоруської РСР А.Й.Вейнік понад сорок років тому створив нову систему класичної термодинаміки, в якій відмовився від величини ентропії, замінивши її величиною термічного заряду – аналога електричного заряду. Він висловлював думку, що термічний заряд можна було б назвати теплицем, яки до цього терміну не було такого негативного ставлення. Тобто, по суті зробив спробу повернутися до ідей Карно. Дискусія з приводу того, як ставитися до теплоти, що фігурує у творі Карно, не закінчилася і до сьогодні.

Далі, Р.Клаузіус, щоб узгодити ідеї Карно із законом збереження енергії, ввів постулат: не є можливим процес, єдиним результатом якого є перехід теплоти від тіла менш нагрітого до тіла більш нагрітого. Але у 1947 р. О.А.Гухман показав, що доведення Клаузіуса можна повторити, виходячи з “антипостулату”: не є можливим процес, єдиним результатом якого є перехід теплоти від тіла більш нагрітого до тіла менш нагрітого. Виникла проблема об'рунтування існування ентропії, вирішення якої і досі нема.

Таким чином, сьогодні твір Саді Карно не тільки служить основою сучасних теорій у різних розділах термодинаміки, але й залишається джерелом складних теоретичних проблем. Можна висловити впевненість, що як би далі не розвивалася наука і техніка, “Роздуми про рушійну силу вогню” ще довго не втраять наукової цінності й актуальності.

**В.Ігнатювич, к.т.н.**

