

## СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

*М.Л. Білявський, канд. техн. наук;*

*С.М. Селівоненко\*, аспірант,*

*дочірня компанія «Укртрансгаз», м. Київ,*

*\*Сумський державний університет, м. Суми*

*Наведені результати літературного огляду сучасного стану проблеми екологічності механізмів двигуна внутрішнього згорання як основного елемента розробленої машини для когенерації теплової та електричної енергії.*

### ВСТУП

Відповідно до світової практики до малої енергетики належать електростанції потужністю до 20 МВт з агрегатами єдиної потужності до 10 МВт, опалювальні системи та котли одиничної потужності до 5 Гкал/год. Враховуючи стрімке зниження запасів нафти, газу та вугілля, як основного ресурсу для роботи електричних станцій виникає актуальна задача по розробці способів економії паливно – енергетичних ресурсів та створенню прогресивних конструкцій машин для їх реалізації.

Крім того, сьогодні з'являються нові промислові підприємства з енергоощадними технологіями, які мають потребу в електричній та тепловій потужності від 100 до 1000 кВт. В роботі [1] встановлено, що виробництво тепла малими котельнями та індивідуальними машинами, яких у країні налічується близько 5 мільйонів, досягають 34% від загального виробництва тепла в Україні. Незважаючи на достатньо мізерний відсоток участі електричних та теплових станцій потужністю до 20 МВт в загальному енергобалансі порівняно з електричними та тепловими станціями потужністю від 20 МВт, яким приділяється значно більше уваги науковими установами, промисловістю, державними органами влади, значущість малої енергетики для нашої країни виключно велика.

Автором у роботі [2] встановлено, що аналіз режимів роботи та технічного стану багатьох існуючих станцій з виробництва теплової та електричної енергії володіють низькою енергетичною ефективністю та надійністю, що спричиняє виникнення аварійних ситуацій, тощо. В результаті таких аварій виникає зупинка всіх задіяних машин та додаткового обладнання. Тому достатньо актуально на сьогоднішній день звучить завдання з розроблення автономних комплексів для виробництва теплової та електричної енергії. Особливо гостро проблема безперебійного електро- та теплопостачання постає на стратегічних підприємствах вітчизняної промисловості, наприклад у виробничому процесі ДК «Укртрансгаз». Провідне місце серед способів ефективного енергетичного забезпечення промисловості та населення тепловими та електричними ресурсами займає процес комбінованого виробництва таких ресурсів, когенерація. Сучасна тенденція прискореного росту вартості електроенергії призводить до зростання рівня доцільності використання комбінованих способів виробництва теплової та електричної енергії. Успішне впровадження способів комбінованого виробництва енергетичних ресурсів залежить від досконалості та раціональності когенераційних машин. Тому на сьогоднішній день перспективним напрямком наукових досліджень у галузі машинознавства є розроблення прогресивних конструкцій машин для когенерації теплової та електричної енергії.

У процесі розроблення будь-якої машини необхідно вирішити проблеми, пов'язані з проектуванням, моделюванням, технічним регулюванням, працездатністю, міцністю, жорсткістю, надійністю, енергетичною ефективністю, довговічністю, точністю функціонування, стійкістю, ергономічністю й екологічністю основних механізмів нової машини.

На сьогодні одним із основних критеріїв оцінки рівня технологічної досконалості розробленої машини є екологічність його основних механізмів та прогресивності технічних рішень щодо мінімізації шкідливих викидів в атмосферу.

Для вирішення завдання комбінованого виробництва теплової та електричної енергії автором у роботі [13] була розроблена машина для когенерації теплової та електричної енергії, суть роботи якої полягає в тому, що в чотирициліндровий двигун внутрішнього згорання 1 по трубопроводу пристрою підготовки паливної суміші 5 паливо надходить у два циліндри, які, перетворюючи теплову енергію палива, виробляють механічну енергію, що передається по валу до електрогенератора 2 для вироблення електроенергії. У процесі роботи двох циліндрів двигуна утворюється теплова енергія, що відводиться охолоджувальною рідиною системи охолодження циркуляційним насосом 7. Через триходовий клапан-термостат 6 нагріта до 85°C охолоджувальна рідина потрапляє у теплообмінник-утилізатор 4, де передає теплову енергію рідині контура системи тепломережі патрубками 9 і 10. Циркуляцію рідини забезпечує циркуляційний насос 8 з електроприводом. Гарячі відпрацьовані гази, що вивільнюються з циліндрів по трубопроводу потрапляють у теплоутилізатор 3, де втрачають більшу частину теплової енергії з 700°C до 100°C, засмоктуються по трубопроводах іншими циліндрами, що працюють у компресорному режимі. Відпрацьовані гази через патрубок 11 виходять назовні.

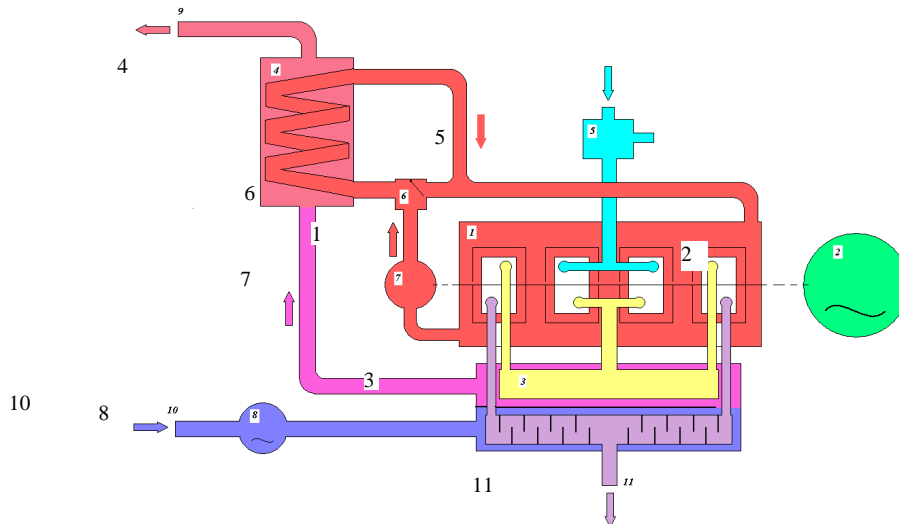


Рисунок 1 - Принципова схема роботи розробленої когенераційної машини (1 – чотирициліндровий двигун внутрішнього згорання; 2 – електрогенератор; 3 – теплоутилізатор; 4 – теплообмінник – утилізатор; 5 – пристрій підготовки паливної суміші; 6 - триходовий клапан-термостат; 7, 8 – циркуляційні насоси; 9, 10, 11 - патрубки)

У результаті зниження внутрішньої енергії газового середовища з підвищеним тиском при виході у навколишнє середовище газу охолоджуються до рівня температури нижче температури навколишнього середовища, що вказує на високий коефіцієнт перетворення енергії у даній когенераційній установці. Надлишкова механічна енергія, що виробляється у процесі роботи двигуна 1, передається електрогенератору 2, який забезпечує роботу систем життєзабезпечення установки, а також для використання електроенергії зовнішніми споживачами.

У розробленій когенераційній машині, на відміну від традиційних підходів [14], тепло відпрацьованих газів, є робочим тілом теплового насоса.

Оцінити ефективність розробленої когенераційної машини можна шляхом проведення аналізу сучасного стану проблеми екологічності основного її елемента - двигуна внутрішнього згорання.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Виходячи з наведеного, мета даної роботи полягає у проведенні літературного огляду сучасного стану проблеми екологічності механізмів двигуна внутрішнього згорання як основного елемента розробленої машини для когенерації теплової та електричної енергії.

### РЕЗУЛЬТАТИ

На сьогодні у світовій експлуатації знаходиться декілька сотень мільйонів двигунів внутрішнього згорання, які споживають для горіння палива близько одного мільярда тонн кисню за рік, викидаючи при цьому в атмосферу сотні мільйонів тонн оксиду вуглецю та десятки мільйонів тонн оксиду азоту, сірки та неспалених вуглеводнів.

Таблиця 1 - Світові викиди шкідливих речовин в атмосферу двигунами внутрішнього згорання (мільйон тонн/рік)

Викиди	CO	CH	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Всього
Природні	0,21	300,0	-	-	2000,21
Антропогенні	200,0	50,0	146,0	53,0	469,0

За даними роботи [15] двигуни внутрішнього згорання генерують 85% від загальної кількості теплової та електричної енергії на землі, причому основну частку ДВЗ становлять поршневі двигуни, тому достатньо зосереджена увага на проблемі зменшення шкідливих викидів в атмосферу дозволить поліпшити екологічну ситуацію та підвищити коефіцієнт корисної дії таких двигунів. Аналізуючи роботи [1-15], можна подати динаміку шкідливих викидів в атмосферу двигунами внутрішнього згорання в Україні, які встановлені стаціонарно в приміщеннях теплових та електричних електростанцій або входять до складу автотранспортних засобів.

Таблиця 2 - Динаміка викидів шкідливих речовин в атмосферу двигунами внутрішнього згорання в Україні (мільйон тонн/рік)

Джерело	Рік				
	2001	2002	2003	2004	2005
Стаціонарне	31,8	28,2	24,8	21,9	18,1
Транспорт	17,1	22,0	19,0	13,5	10,9

Сумарні викиди	49,1	50,2	43,8	35,4	29,0
----------------	------	------	------	------	------

До складу джерел шкідливих викидів двигуна внутрішнього згорання за даними робіт [1-12] можна віднести: паливне випаровування; картерні гази; відпрацьовані гази.

Серед перелічених джерел шкідливих викидів провідне місце займає джерело відпрацьованих газів із двигуна внутрішнього згорання, яке утворює до 78% від загальної кількості шкідливих речовин. Відпрацьовані гази – це гетерогенна суміш різноманітних газоподібних речовин із різноманітними хімічними та фізичними властивостями, що складаються з продуктів повного та неповного згорання палива, повітря, аерозолів та різноманітних мікрочастинок (газоподібних, твердих та рідких), які надходять із циліндрів двигуна в його випускну систему.

У роботі [1] виконаний аналіз основних факторів, які визначають патогенний потенціал дизельних частинок. Узагальнені дані про їх хімічний та дисперсійний склад. Подана характеристика найбільш небезпечних складових. Крім того, в роботі розглянуті сучасні уявлення про причини та механізми виникнення канцерогенезу в легенях людини під впливом дизельних частинок, обґрунтована необхідність детальної експертизи та прогнозування компонентного складу дизельних частинок при проектуванні та впровадженні заходів зі зменшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами дизелів. Ураховуючи той факт, що найбільш оптимальним видом палива для розробленої когенераційної машини (рис. 1) є метан, дослідження подані в роботі [1] для проведення теоретико-експериментальних обґрунтувань екологічності когенераційної машини (рис. 1) носять ознайомчий характер.

Некрасовим В.Г. в роботі [2] встановлено, що перспективним напрямком зменшення шкідливих викидів двигуном внутрішнього згорання є глибока утилізація теплоти на основі парового циклу. Автор наголошує на необхідності застосування турбокомпаундованого двигуна на основі парового утилізатора (циклу Ренкіна), такий цикл, крім збільшення виробництва корисної потужності позитивно впливає на поршневу частину двигуна. У разі збільшення виробництва електричної енергії когенераційною машиною, за рахунок зменшення теплової енергії, можна розглянути можливість застосування ефекту поданого в роботі [2] з подальшим теоретико-експериментальним обґрунтуванням.

Робота [3] присвячена дослідженню методологічних та практичних засад статистичного визначення обсягів забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, які надходять з відпрацьованими газами двигунів автомобільного транспорту, в ній наведено методологію формування статистичних показників забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автотранспорту до міжнародних стандартів. Подані методологічні дослідження в роботі [3] можуть бути використані під час проведення експериментальних досліджень екологічності механізмів когенераційної машини (рис. 1).

Марковим В.А. в роботах [4,5] запропонована методика оцінки токсичності відпрацьованих газів дизелем у перехідному процесі. Показана необхідність зменшення продовжуваності перехідного процесу для зниження викидів в атмосферу токсичних компонентів відпрацьованих газів. Запропонована методика в роботах [4,5] не може бути застосована для оцінки токсичності відпрацьованих газів когенераційною машиною, оскільки наявна відмінність у типі вихідного палива.

Результати роботи [6] орієнтовані на оцінку емісії шкідливих викидів із випускної труби двоциліндрового дизеля з відкритою системою вентиляції картера та закритою з рециркуляцією картерних газів у впускній трубі. Розроблена методологія не може бути використана для достовірної оцінки емісії шкідливих викидів із випускної труби когенераційної машини, оскільки є відмінності в будові двигуна, когенераційна машина виконана на базі чотирициліндрового двигуна та виді палива.

Відомо, що, крім застосування спеціальних конструкцій теплоутилізаційних систем для зменшення шкідливих викидів двигунами внутрішнього згорання, значного поширення набули способи підготовки спеціальної паливної суміші [7-12], наприклад застосування етанолвмісних паливних сумішей. Необхідно відзначити, що такий спосіб володіє низькою рентабельністю, оскільки вимагає значних капіталовкладень у налагодження технології виробництва та підготовки до використання двигуном внутрішнього згорання спеціальних паливних сумішей.

Робота [9] присвячена розробленню каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів. Були запропоновані такі технічні заходи:

- 1) зниження робочої температури каталізатора при скороченні високої його ефективності;
- 2) електронно-магнітна обробка палива безпосередньо перед інжекторною системою. Доведено, що кількість шкідливих викидів у період холодних пусків, коли нейтралізатор не працює, скоротилася з 81 г до 31 г, для карбюраторних - з 18 г до 24 г. Даний опис приладу "Ежип" для електронно-магнітної обробки палива. Трикомпонентний нейтралізатор дозволив ввести норми "Евро-2". Але він здатний забезпечити і норми «Євро-4». Крім того, в роботі [9] перелічені недоліки нейтралізаторів.

Ефективне використання каталітичного нейтралізатора запропоноване в роботі [10]: пропонується метод селективного каталітичного зниження з введенням компаунда сечовини в систему вихлопу для зменшення викидів NOx.

Застосування рекомендацій, наведених у роботах [9, 10], в умовах упровадження розробленої когенераційної машини суттєво знизить рентабельність розроблених машин, ускладнить міжремонтне обслуговування тощо.

У роботі [15] досліджено вплив домішок біоетанолу до бензину на екологічні, енергетичні показники й енергоефективність колісних транспортних засобів (КТЗ). Досліджено вплив домішок спиртових сполук до бензину (на прикладі біоетанолу) на показники роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Уточнено математичну модель руху КТЗ за міським їздовим циклом для оцінювання впливу домішок спиртових сполук

на показники КТЗ та перевірено її адекватність. Експериментально вивчено властивості бензоетанольних сумішей. Виявлено ефект синергізму під час впливу біоетанолу (БЕ) і комбінаційних домішок на його основі на детонаційну стійкість бензинів. Проведено комплекс стендових і дорожніх випробувань ДВЗ і КТЗ, експлуатаційні випробування підконтрольних груп КТЗ за умов роботи на базовому та сумішевому бензинах, а також розрахункове дослідження впливу домішок БЕ на показники КТЗ. Доведено перспективність застосування домішок БЕ і композиційних домішок на його основі до бензину для розширення паливної бази автомобільного транспорту, що дозволяє зменшити викиди продуктів неповного згорання палива за майже незмінними енергетичними показниками та паливної економічності КТЗ, а з урахуванням повного життєвого циклу палива - підвищити енергоефективність КТЗ за умов експлуатації.

Особливої уваги заслуговує робота [16], в якій авторський колектив достатньо чітко та лаконічно виклав загальні відомості про двигуни внутрішнього згорання, описав їх термодинамічні та дійсні цикли, режими роботи, техніко-економічні показники, регульовальні, експлуатаційні та спеціальні характеристики. Крім того, в роботі сформовані теоретичні положення, методи математичного моделювання та експериментальних досліджень процесів утворення токсичних речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання, наведено нормативи обмеження викидів шкідливих речовин двигунами різного призначення, запропоновано засоби екологізації ДВЗ шляхом зниження рівнів токсинів і димності випускних газів, доведено необхідність комп'ютеризації керування й оптимізації робочих процесів у ДВЗ за комплексним паливно-екологічним критерієм. Висвітлено правові аспекти захисту навколишнього середовища (зокрема атмосферного повітря) та розглянуто сучасні способи нейтралізації шкідливих викидів ДВЗ.

Оскільки робота розробленої когенераційної машини (рис. 1) орієнтована на використання метану, дані, наведені в роботі [15], носять рекомендаційний характер та можуть бути використані як традиційна базисна теорія при формуванні наукових основ розробки когенераційних машин на базі двигунів внутрішнього згорання.

Робота [17], як і попередні [1-16] присвячена визначенню шляхів покращання екологічних та економічних показників ДВЗ.

Автор у роботі [18] зосередив свою увагу на головних аспектах сучасної паливно-екологічної проблеми, навів основні відомості з транспортних двигунів внутрішнього згорання, традиційних нафтових і альтернативних палив, процесів згорання, представив сучасні методи екодіагностики двигунів, результати комплексних досліджень та еколого-економічний аналіз експлуатаційних показників автомобілів з різними ДВЗ.

Доценко С.М. у своїй роботі [19] обґрунтував можливість підвищення паливної економічності та екологічних показників газодизельних двигунів за рахунок використання модулятора імпульсу тиску (МІТ) шляхом інтенсифікації впорскування запальної дози палива. Вперше запропоновано використовувати для зниження її розміру на розрахунковому режимі роботи суднового газодизель-генератора модулятор імпульсів тиску. Розроблено математичні моделі, які адекватно відображають процеси у паливній системі суднового газодизеля з модуляторами імпульсів тиску та дозволяють з достатньою мірою точності досліджувати процеси паливоподачі на стадії проектування. Визначено основні чинники, що впливають на процес формування паливоподачі суднового газодизельного ДВЗ. Встановлено принципову можливість ефективного зменшення розміру запальної дози дизельного палива за умов використання МІТ.

У роботі [20] розглянуто існуючі джерела шуму автомобілів, методи боротьби з шумом автомобілів, конструкції глушників шуму відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) автомобілів та зроблено їх класифікацію на підставі аналізу ідентичності фізичних процесів, що мають місце за умов шумоглушіння. Розроблено алгоритм вибору глушників шуму випуску ДВЗ. Створено математичну модель для визначення акустичної ефективності запропонованого глушника шуму. Наведено спосіб визначення швидкості звуку у відпрацьованих газах ДВЗ шляхом вимірювання загасання акустичних хвиль в експериментальній установці без глушника та з глушником. З урахуванням ефекта Доплера уточнено формулу для визначення частоти шуму відпрацьованих газів ДВЗ шляхом внесення поправки. На базі розробленої моделі акустичної ефективності глушника створено комплексний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ. Для підтвердження його акустичної ефективності проведено експериментальні дослідження на двох експериментальних моделях з ДВЗ: автомобілі та електрозварювальному агрегаті. Наведено методику розрахунку реактивних глушників. Запропоновано додатковий спосіб зменшення шуму відпрацьованих газів ДВЗ шляхом використання газового екрана.

Розроблений комплекс математичних моделей та експериментальних результатів у роботах [19-20] можуть бути використані як вихідні положення до теоретико-експериментального обґрунтування ефективності роботи когенераційної машини.

## ВИСНОВКИ

1. Обґрунтована актуальність проблеми розроблення та ефективного впровадження прогресивних конструкцій машин з мінімальною кількістю шкідливих викидів в атмосферу, які встановлені стаціонарно на електричних та теплових станціях.

2. Ураховуючи проведений аналіз сучасного стану проблеми екологічності двигунів внутрішнього згорання, слід зробити висновок про те, що поширення розробленої когенераційної машини дозволить зменшити шкідливі викиди в атмосферу до 45%.

3. У подальшому планується розробити математичну модель прогнозування шкідливості викидів відпрацьованих газів когенераційної машини та провести експериментальні дослідження загальної

екологічності розробленої машини для когенерації теплової та електричної енергії, встановити апроксимаційні залежності між фізико-хімічними параметрами палива та компонентним складом відпрацьованих газів.

## SUMMARY

### MODERN STATE OF PROBLEM OF ECOFRIENDLYNESS OF MECHANISMS OF ENGINE OF INTERNAL COMBUSTION

*M.L. Biliavskiy, S.M. Selivonenko,*  
*Daughter enterprise "Ukrtransgaz", Kyiv;*  
*\*Sumy State University, Sumy*

*The brought results over of literary review of the modern state of problem of ecofriendlyness of mechanisms of engine of internal combustion, as a basic element of the worked out machine cogeneration of thermal and electric energy are presented in the paper..*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звонов В.А. Физико-химические и токсикологические характеристики частиц, выбрасываемых дизельными двигателями в окружающую среду(обзор) / Звонов В.А. и др. // Экотехнологии и ресурсосбережение.– 2005.– №2.– С.37-47.
2. Некрасов В.Г. Утилизация теплоты– альтернатива высокой степени сжатия и адиабатному процессу / В.Г.Некрасов// Автомобильная промышленность.– 2005.– №1.– С.19–21.
3. Колесник С.І. Статистична оцінка забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом: автореф. дис.... канд. економ. наук: 08.03.01 / Київ. нац. екон. ун-т // УРЖ "Джерело".– 2004. – №6.
4. Марков В.А. Оценка токсичности отработавших газов дизелей при переходных процессах / В.А. Марков, Е.Ф. Поздняков // Грузовик &. - 2009 - № 10. - С. 31-39.
5. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей и возможности ее снижения / В.А. Марков // Грузовик &. - 2009. - № 8.
6. Волков М.Ю. Рециркуляция картерных газов во впускной тракт дизеля / М.Ю. Волков // Известия ВУЗов.– сер. Машиностр.– 2008.– №10.– С.73-74.
7. Некрасов В. Лучший нейтрализатор–его отсутствие / В. Некрасов // Изобр. и рац.–2005.–№3– С.7.
8. Підвищення стабільності екологічних показників дизельного автомобіля, обладнаного каталітичним нейтралізатором //УРЖ "Джерело". - № 1.О.1217.–2005.
9. Адамович Б.А. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов и экологическая безопасность АТС / Б.А. Адамович // Автомобильная промышленность. – 2005.– № 1. – С. 9–11.
10. Нормы ЕРА'2007 для грузовых автомобилей на вредные выбросы // Автостроение за рубежом.– 2004.– №2.– С.23-24.
11. Панчишный В.И. Нейтрализаторы отработавших газов дизелей / В.И. Панчишный // Автомоб. пром-сть.–2008.– № 11.– С.6-8.
12. Соловьев Г.И. и др. Каталитический нейтрализатор с металловолокнистым катализатором для очистки выхлопных газов ДВС // Энерготехнологии и ресурсосбережение.– 2008.– №5.– С.44-49.
13. Годованський Ю.З., Стецько А.С., Білявський Л.А., Білявський М.Л. Патент України на корисну модель «Когенераційна установка з тепловим насосом» № 52822 Україна, F02G 5/00, – № u201002808; заявлено 12.03.2010; опубл. 10.09.2010, бюл. №17.
14. Бойчук В.В., Голеншин В.В. Когенераційна установка. Деклараційний патент на корисну модель № 43561, 25.08.2009, бюл. № 16., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.
15. Устименко В.С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис.... канд. техн. наук: 05.22.20 / Державне підприємство "Державний автотранспортний науково- дослідний і проєктний ін-т". - К., 2006.
16. Серія підручників у 6 т./ В.О. Пильов, А.Ф. Шеховцов; ред.: А.П. Марченко; А.Ф. Шеховцов; Нац. техн. ун-т "Харьк. політехн. ін-т". - Х.: Прапор, 2004. - 334 с.
17. Двигатели внутреннего сгорания / ред.: А.Ф. Шеховцев. - Х., 2001. - 124 с. - (Вестн. Нац. техн. ун-та "ХПИ"; № 2). - рус.
18. Автомобиль и окружающая среда: учеб. пособие / П.М. Канило, И.С. Бей, А.И. Ровенский; Харьк. гос. автомоб.-дор. техн. ун-т. - Х.: Прапор, 2000. - 304 с.
19. Підвищення паливної економічності суднових газодизель-генераторів шляхом інтенсифікації впорскування запального палива: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.08.05 / С.М. Доценко; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. - Миколаїв, 2006. - 22 с. - укр.
20. Покращання екологічних показників автотранспортних засобів за рахунок зменшення їх рівня зовнішнього шуму: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.22.02 / В.В. Федоров; Нац. трансп. ун-т. - К., 2004. - 19 с. - укр.