

УДК 621.791:621.793

Пащенко В. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВА СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНИХ УСТАНОВОК ПЛАЗМОВОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

Проаналізовані перспективи створення мобільних ресурсозберезних установок плазмового нанесення покриттів на основі використання як плазмоутворювальних продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згорання. Показані шляхи керування окислювально-відновним потенціалом плазми. Наведені результати досліджень властивостей отриманих покриттів. Запропонований варіант комплектації установки на базі використання обладнання, яке серійно випускається промисловістю.

Ключові слова: плазмове наплення; мобільна установка; плазма продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згорання; ресурсозбереження; утилізація відходів.

Плазмовенанесення покриттів було і залишається найбільш універсальним інструментом інженерії поверхні через відсутність обмежень на сполучення матеріалів покриття і основи, високу

продуктивність процесу та фізико-механічні характеристики отриманих поверхневих шарів. Певним недоліком методу є невисока мобільність обладнання через необхідність застосування

мережевого або балонного газу та значної кількості електроенергії.

Відомі приклади створення «частково мобільних» установок плазмового напилення, які є комплексом мінімально необхідного основного та допоміжного обладнання (в тому числі балонів із газом), що встановлене на автомобільному шасі [1, 2]. Обладнання переміщується до місця проведення робіт і підключається до відповідних мереж електроенергії, води, каналізації та газу.

Задача забезпечення газами дещо спрощується за умови застосування плазмоутворювального повітря, але невирішеною залишається проблема створення і підтримання необхідного окиснювально-відновного потенціалу середовища, в якому здійснюється обробка матеріалу.

Дослідження можливості застосування продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) як плазмоутворювальної речовини, доводить перспективність цього напрямку створення повністю мобільних установок плазмової обробки матеріалів [3, 4].

Використання продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згоряння частково вирішує проблему ресурсозбереження під час організації процесу генерації плазми та передавання енергії оброблюваному матеріалу, бо з технологічною метою використовується речовина (продукти вихлопу ДВЗ), яка за звичайних умов вважається відходами. А наявність у продуктах вихлопу твердих компонентів і сполук (С, СО, Н₂), які можуть окиснюватись у процесі взаємодії з киснем навколишнього середовища із виділенням додаткової енергії, дозволяє віднести процес до категорії енергозбережливих.

Таким чином, запропонований метод поводження із відходами можна віднести до утилізаційної групи методів, які вирішують, по-перше, завдання економії паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів; по-друге — підвищення ступеня замкненості виробничих (ресурсних) циклів, що насамперед сприяє екологізації виробництва [5]. Саме утилізаційний шлях передбачає використання відходів як вторинних ресурсів.

Експериментальна перевірка перспективності застосування продуктів вихлопу як плазмоутворювальної речовини була проведена на стаціонарній дослідній установці плазмового напилення із двигуном внутрішнього згоряння (бензин А 76). Застосуванню продуктів вихлопу передувала попередня підготовка цієї речовини — продукти осушувались та охолоджувались у спеціальному фільтрі, результатом чого було видалення крапельної вологи та зниження температури газової суміші до (50–70) °С. Враховуючи, що тиск плазмоутворювальної суміші на вході у плазмотрон лежить у межах (0,15–0,3) МПа, до складу установки входить додатковий компресор, який підвищує тиск продуктів вихлопу, відібраних із вихлопного тракту двигуна внутрішнього згоряння.

Експерименти проводились на двоелектродному плазмотроні загальною потужністю до 35 кВт із вихровим подаванням плазмоутворювальної речовини і автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги. Наявність кисню у вихідному складі плазмоутворювальної суміші зумовила застосування термохімічного катода типу ОБ 1541 та мідного трубчастого вихідного електрода (анода).

Живлення плазмотрона здійснювалось від тиристорного джерела струму типу АПР-402.

Після проведення попередніх випробувань створеної системи обладнання, карбюратор двигуна був відрегульований на отримання «багатих» сумішей, а акселератор встановлювався у чотирьох фіксованих положеннях, які дозволяли змінювати вміст кисню у продуктах вихлопу приблизно через рівні проміжки в межах від 5% до 0,2%.

За умови середнього фіксованого положення акселератора у плазмотрон надходила суміш газів наступного складу: О₂ — 2,63% (об'ємних); Аг — 0,92%; N₂ — 77,55%; СО — 7,42%; СО₂ — 8,17%; Н₂ — 3,21%.

Максимальне збагачення суміші під час стійкої роботи двигуна дає змогу знизити вміст кисню у вихідній суміші до (0,3–0,5)% об'ємних і підвищити сумарний вміст відновних компонентів (СО+Н₂) до (12–13)% об'ємних (рис. 1, а, б).

Вміст аргону у вихідних продуктах відповідає його природному вмісту в атмосфері (продукти із вмістом нижче 0,1% не наводяться).

Здатність середовища захищати матеріал від негативного впливу навколишнього середовища у процесі обробки можна оцінити за допомогою прийнятого у металургії параметра відновної здатності середовища φ, який є відношенням суми вмісту відновних (по відношенню до заліза) до суми вмісту окиснювальних компонентів [5].

Залежність параметра відновної здатності продуктів вихлопу від вмісту відновних компонентів вихідної плазмоутворювальної суміші та величини вкладеної у речовину енергії наведена на рис. 2, а. Як видно із рисунка, параметр відновної здатності при «збагаченні» суміші може бути підвищений більш ніж удвічі.

За порядком величини параметр відновної здатності плазмового середовища на основі продуктів вихлопу двигуна практично не відрізняється від аналогічного параметра газоповітряної плазми із коефіцієнтом витрати окиснювача α = 0,8 (φ = 2,28).

Порівняння значень середньомасової ентальпії плазми доводить несуттєвий вплив положення акселератора на тепловміст робочого середовища (рис. 2, б).

Отримані результати підтверджують можливість пригнічення негативного впливу на оброблюваний матеріал кисню навколишнього середовища із практичним збереженням вихідних режимних

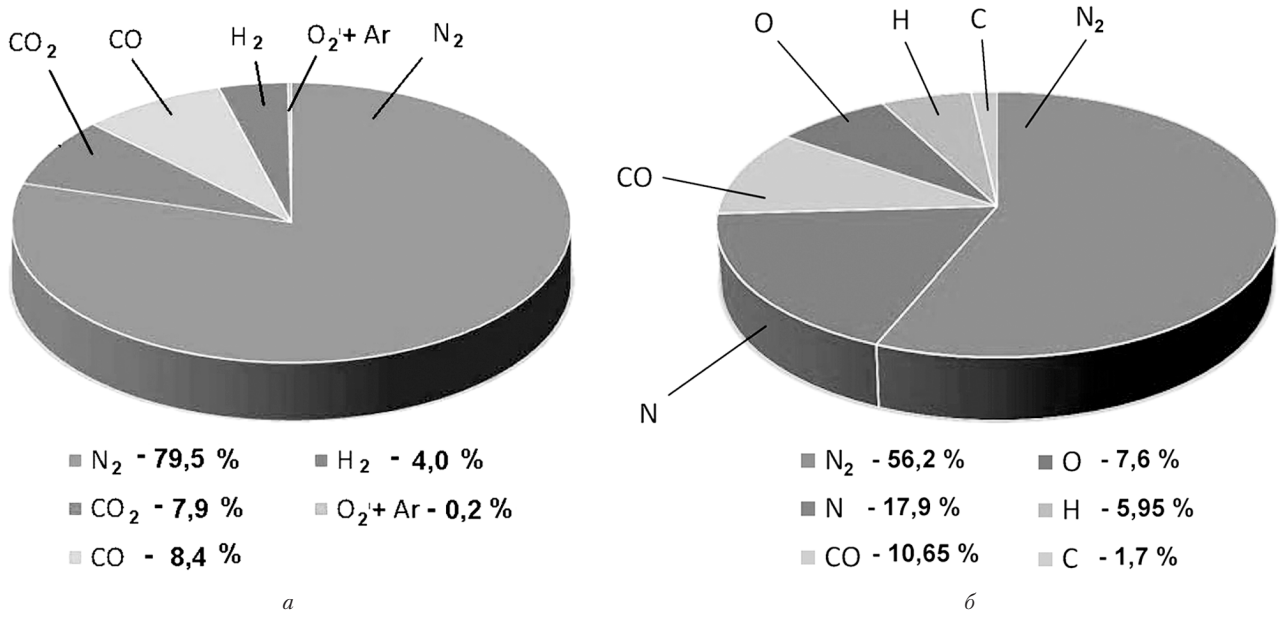


Рис. 1. Об'ємний вміст компонентів осушених продуктів вихлопу ДВЗ (бензин А 76, «багата» суміш):
 а – на вході у плазмотрон при $\bar{T} = 323$ К; б – термодинамічно рівноважний склад плазми при середньомасовій температурі $\bar{T} = 6000$ К

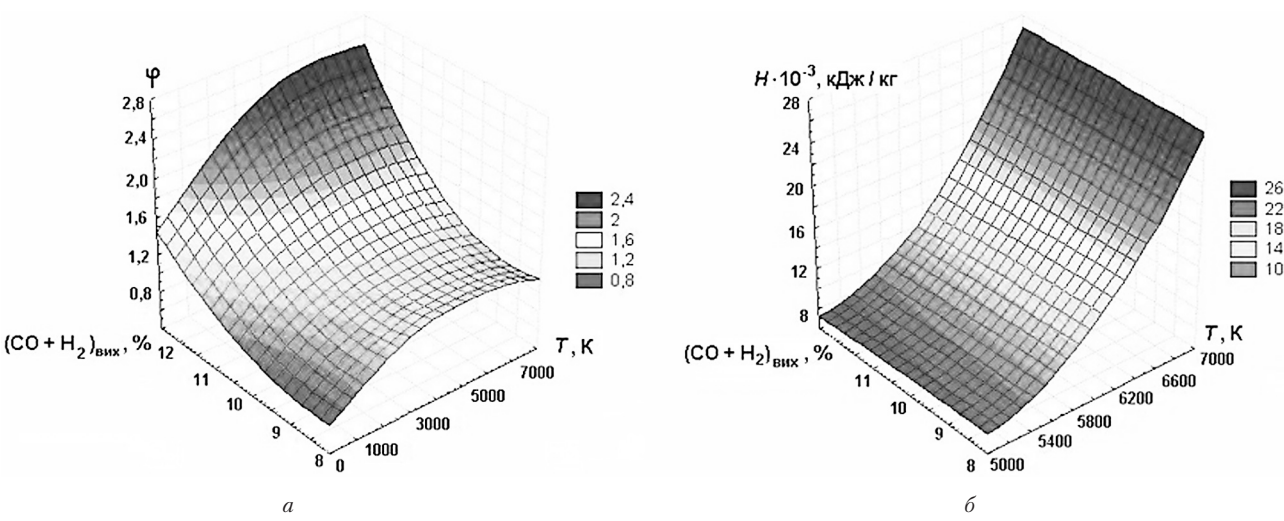


Рис. 2. Технологічні та енергетичні параметри плазми продуктів вихлопу двигуна внутрішнього згоряння:
 а – параметр відновної здатності середовища; б – ентальпія високотемпературного газу

параметрів ведення процесу обробки шляхом «збагачення» паливної суміші на вході у двигун внутрішнього згоряння.

У загальному випадку, втручання у роботу двигуна внутрішнього згоряння для отримання «багатої» суміші і забезпечення високого значення параметра відновної здатності продуктів вихлопу навряд чи є раціональним шляхом керування властивостями плазмоутворювальної суміші (особливо це стосується ДВЗ автономних електростанцій, які входять до складу мобільної установки плазмового наплення). Набагато простішим і надійнішим способом може бути збагачення продуктів вихлопу вуглеводневим газом, наприклад балонним пропан-бутаном.

Продукти вихлопу дизельних двигунів за вмістом основних компонентів (N₂, O₂, H₂O, CO₂) мало відрізняються від продуктів бензинових двигунів [6]. За шкідливими та отруйними домішками певна відміна є: у вихлопі дизельних двигунів суттєво підвищений вміст сажі (до 1,1 об.%) та знижений вміст оксиду вуглецю до 0,5 об.%.
 Дослідження покриттів із NiAl, отриманих напленням на зразки із конструкційної сталі порошку ПТ-НА-01, доводять перспективність осушених продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згоряння як плазмоутворювальних середовищ.

Міцність зчеплення лежить у межах значень, характерних для покриттів, отриманих із застосу-

ванням плазми системи N-O-C-H, і зростає із підвищенням параметра відновної здатності середовища та питомих енергетичних параметрів процесу (рис. 3).

Інші параметри якості покриття мало залежать від значення φ і не виходять за межі типових для газотермічних покриттів значень: наприклад, пористість лежить у межах від 2% до 12%. Як і при використанні газоповітряної суміші, незважаючи на наявність газоподібного вуглецю у складі плазми, слідів твердофазного вуглецю у складі покриття не виявлено.

Позитивні результати застосування продуктів вихлопу для генерації потоків плазми у процесах нанесення покриттів є аргументом і об'єктивною основою для створення повністю автономних установок плазмового напilenня.

Загальна компоновка установки може бути наступною (рис. 4).

На базі вантажного автомобіля КраЗ, КАМАЗ, ЗИЛ або будь-якого іншого транспортного засобу малої або середньої вантажопідйомності (залежно від загальної маси застосованого обладнання) встановлюється мінімальний набір основного та допоміжного обладнання. До цього мінімального набору можна віднести:

- автономне джерело електричної енергії;
- джерело живлення плазмового генератора;
- плазмовий генератор із комплектом шлангів;
- система автономного охолодження плазмового обладнання;
- система відбору, підготовки та подавання плазмутворювальної речовини;
- допоміжний компресор та головка для абразивно-струминної обробки поверхонь;

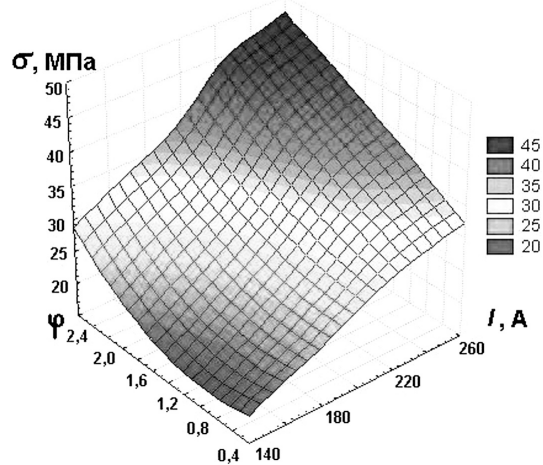


Рис. 3. Залежність міцності зчеплення покриття з основою від відновної здатності робочого середовища та струму дуги (вкладеної потужності):

$Q_{\text{пл}} = 4 \text{ м}^3/\text{год.}$ (за нормальних умов), дистанція напilenня – 200 мм

- блок дозаторів-живильників;
- суміщений пульт керування плазмовою установкою.

Встановлена потужність автономного джерела електричної енергії визначається потужністю застосованого генератора плазми і додатковими витратами електроенергії на допоміжні пристрої.

Враховуючи, що застосування мобільної установки здійснюється у польових умовах, за відсутності маніпуляторів, доцільним є обмеження потужності і, відповідно, масо-габаритних показників плазмового розпилювача ручного виконання рівнем (25–30) кВт.

Додаткові витрати на електроприводи компресора, системи охолодження, дозаторів-живильни-

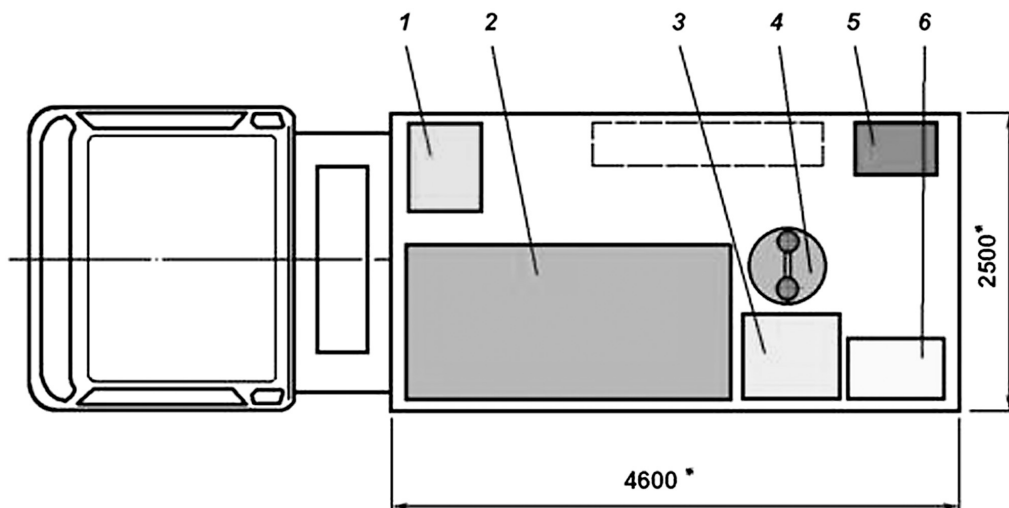


Рис. 4. Варіант розміщення основного обладнання на базі вантажного автомобіля КраЗ В6.2 Мех: 1 – джерело живлення плазмового генератора; 2 – автономне джерело електричної енергії; 3 – блок автономного охолодження; 4 – блок дозаторів-живильників (пересувний); 5 – суміщений пульт керування плазмовою установкою; 6 – система відбору, підготовки та подавання плазмутворювальної речовини та допоміжний компресор

ків та інші пристрої не перевищують (5–7) кВт. Таким чином, сумарна потрібна потужність автономного джерела живлення (із певним запасом резервної потужності) буде становити (40–50) кВт.

На ринку України пропонується цілий ряд мобільних електростанцій такого ряду потужності виробництва Франції (SDMO), Німеччини (GEKO), Японії (MATARI), Кореї (HYUNDAI), Туреччини (EMSA), Китаю (KIPOR), які за своїми параметрами повністю задовольняють вимоги до автономного джерела енергії мобільної плазмової установки.

Габаритні розміри електростанцій потужністю (45–70) кВт лежать у межах 2600 × 1100 × 1600, а маса не перевищує 1600 кг.

В якості джерела струму генератора плазми можуть бути застосовані джерела живлення від установок плазмового різання типу АПР чи УПР, або більш сучасні джерела від установок ПУРМ Performance. Маса джерела типу ПУРМ, наприклад, потужністю 48 кВт становить 255 кг, а габаритні розміри – 620 × 560 × 980 мм. Відповідно, потужністю 60 кВт – 440 кг та 1020 × 600 × 940 мм.

Блок автономного охолодження (БАО) є дуже важливим компонентом комплексу обладнання, який повинен забезпечити відведення тепла від теплонапружених вузлів плазмотрона протягом всього періоду його активної роботи. Параметри БАО визначаються виходячи із реальних втрат в елементи конструкції плазмотрона, які, у свою чергу, залежать від потужності розпилювача та його ККД. Для досліджуваного плазмотрона з урахуванням ККД, що належить до діапазону (0,65–0,75), і максимальної потужності (30–35) кВт, рівень втрат у охолоджувальну воду становить (9–10) кВт.

Система відбору, підготовки та подавання плазмоутворювальної речовини повинна містити в собі необхідний набір компонентів, що забезпечать відбирання вихлопних газів ДВЗ мобільної електростанції, осушування цих продуктів, регулювання та стабілізацію тиску та витрати газової суміші, контроль за цими параметрами, збагачення (у разі необхідності). Це нестандартне обладнання і потребує спеціальної розробки для конкретних параметрів мобільної установки.

Висновки

1. Використання продуктів вихлопу ДВЗ мобільних установках плазмового нанесення покриттів дозволяє вирішити дві задачі: по-перше, забез-

печити плазмову установку робочою речовиною із відновними компонентами та зниженим (порівняно із повітрям) вмістом кисню і, по-друге, знешкодити шкідливі та отруйні компоненти вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння.

2. Ефективним засобом покращання якісних характеристик покриттів є підвищення відновної здатності плазмового середовища: міцність зчеплення покриття з основою підвищується практично на 50% зі збільшенням коефіцієнта відновної здатності плазмового середовища від 0,5 до 2,5.

3. Керуванням відновними властивостями плазмового середовища можливе шляхом збагачення паливної суміші на вході у ДВЗ або додавання балонного вуглеводневого газу.

4. Мінімальний комплект обладнання для реалізації процесів підготовки поверхні та нанесення покриття в польових умовах виходячи із його загальних масо-габаритних показників цілком може бути розміщений на базі автомобіля середньої вантажопідйомності.

Література

- [1] Патент № 30752, Российская Федерация, МПК С 23С 4/00. Установка для нанесения покрытий / И. Н. Кравченко, В. Ю. Гладков, С. В. Карцев и др. – № 2003104132/20; заявл. 17. 02. 2003; опубл. 10. 07. 2003. – Бюл. № 19.
- [2] Патент № 66341, Российская Федерация, МПК С 23С 4/00. Установка для плазменного напыления / И. Н. Кравченко, С. В. Карцев, А. Ю. Гурциев. – № 2007113492/20; заявл. 11.04.2007; опубл. 10.09.2007. – Бюл. № 25.
- [3] Гринченко Н.Н. Напыление в плазме выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания / Н. Н. Гринченко, В.Н.Пашенко, Е. П.Марцевой, И.С.Романченко // Теория и практика газотермического нанесения покрытий. – Дмитров, 1992. – Т. 1. – С. 75 – 70.
- [4] Карп И.Н. Модификация плазмообразующих сред системы С–N–O–H / И.Н.Карп, Н. Н. Гринченко, Е. П.Марцевой, В. Н. Пашенко. – Новосибирск: ИТФ СО АН, 1989. – Т. 11. – С. 316 – 317.
- [5] Бондаренко Б. И. Восстановление окислов металлов в сложных газовых системах: моногр. / Б. И. Бондаренко. – К.: Наук.думка, 1980. – 385 с.
- [6] Клименко Л. П. Системы технологий / Л. П. Клименко, С. М. Соловйов, Г. Л. Норд: навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – 600 с.

Paschenko V. N.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ukraine, Kyiv

PROSPECTS FOR A DEVELOPMENT MOBILE UNITS OF PLASMACOATING

The prospects of creating mobile resource units of plasma coating through the use of exhaust products of internal combustion engines are analyzed. The ways of controlling by the oxygen–hydrogen potential of the plasma are showed. There are results coating properties obtained. The variant configuration system based on the use of equipment that is mass-produced by industry is proposed.

Keywords: plasma spraying, mobile installation; plasma products exhaust of internal combustion engines; resource conservation; waste management.

References

- [1] Patent № 30752, Rossijskaya federaciya, mpk s 23s 4/00. Ustanovka dlya naneseniya pokrytij / I. N. Kravchenko, V. Yu. Gladkov, S. V. Karcevi dr.– № 2003104132/20; zayavl. 17. 02. 2003; opubl. 10. 07. 2003.–byul. № 19.
- [2] Patent № 66341, Rossijskaya federaciya, mpk s 23s 4/00. Ustanovka dlya plazmennogo napyleniya / I. N. Kravchenko, S. V. Karcev, A. Yu. Gurciev.– № 2007113492/20; zayavl. 11.04.2007; opubl. 10.09.2007.–byul. № 25.
- [3] Grinchenko N. N. Napylenie v plazme vykhlopnykh gazov dvigatelej vnutrennego sgoraniya / N. N. Grinchenko, V. N. Pashhenko, E. P. Marcevoj, I. S. Romanchenko // Teoriya i praktika gazotermicheskogo naneseniya pokrytij. – Dmitrov, 1992.– T. 1.– P. 75 – 70.
- [4] Karp I. N. O modifikacijakh plazmoobrazuyushhikh sred sistemy C–N–O–H / I. N. Karp, N. N. Grinchenko, E. P. Marcevoj, V. N. Pashhenko.– Novosibirsk: ITFSOAN, 1989.– T. 11.– S. 316 – 317.
- [5] Bondarenko B. I. Vosstanovlenie oksidov metallov v slozhnykh gazovykh sistemakh: monogr. / B. I. Bondarenko. – K.: Nauk. dumka, 1980. – 385 p.
- [6] Klimenko L. P. Sistemi tekhnologij / L. P. Klimenko, S. M. Solovjov, G. L. Nord: navchalnij posibnik. – Mikolajv: Vidvo MDGU im. Petra Mogili, 2007. – 600 p.