

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-08>

УДК 004.45

Булатецька Леся Віталіївна, канд. ф.-м. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7202-826X>

Булатецький Віталій Вікторович, к. ф.-м. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9883-4550>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

РОЗРОБКА .NET-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМНОГО РОЗДІЛУ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ WINDOWS 11

Булатецька Л. В., Булатецький В. В. Розробка .NET-застосунку для оптимізації системного розділу операційної системи Windows 11. У сучасних операційних системах Windows накопичення тимчасових файлів, резервних копій оновлень, файлів підкачки та точок відновлення призводить до значного споживання дискового простору. Це особливо актуально для системних розділів, де обмежений обсяг накопичувача може негативно впливати на продуктивність та стабільність роботи ОС. В роботі розглянуто основні механізми та методи вивільнення простору системного розділу в процесі експлуатації операційної системи Windows 11. У цій роботі запропоновано підхід до автоматизованого очищення системного розділу Windows шляхом розробки .NET-застосунку та скриптів до нього. Розглянуто основні джерела заповнення системного розділу, включаючи файли підкачки (pagefile.sys, swapfile.sys), каталоги оновлень (WinSxS, SoftwareDistribution), тінюві копії, кеш браузерів і лог-файли. Проаналізовано стандартні засоби Windows для керування дисковим простором, такі як «Очищення диска» (cleanmgr), PowerShell-команди, тощо. Встановлено, що жоден з існуючих інструментів повністю не забезпечує безпечного й гнучкого очищення системного розділу. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до аналізу та автоматизації очищення системного розділу Windows. Запропоноване рішення дозволяє не лише автоматизувати процес видалення непотрібних файлів, а й підвищити ефективність керування ресурсами диска, що в результаті сприяє покращенню продуктивності та стабільності роботи операційної системи. Очікувані результати включають зменшення зайнятого простору на системному розділі, що сприятиме підвищенню продуктивності та стабільності роботи операційної системи. Крім того, автоматизація цього процесу спрощує роботу як для досвідчених користувачів, так і для тих, хто не має глибоких технічних знань.

Ключові слова: операційна система, системний розділ, оптимізація, системний реєстр, пакетний файл, PowerShell, інтерпретатор командного рядка, технології .NET

Bulatetska L., Bulatetskyi V. Development of a .NET Application for Optimizing the System Partition of the Windows 11 operating system. In modern Windows operating systems, the accumulation of temporary files, update backups, paging files, and restore points leads to significant disk space consumption. This is particularly critical for system partitions, where limited storage capacity can negatively impact the performance and stability of the OS. This paper examines the main mechanisms and methods for freeing up space on the system partition during the operation of Windows 11. The study proposes an approach to automated cleaning of the Windows system partition through the development of a .NET application and accompanying scripts. It explores the main sources of system partition bloating, including paging files (pagefile.sys, swapfile.sys), update directories (WinSxS, SoftwareDistribution), shadow copies, browser caches, and log files. Standard Windows tools for managing disk space, such as "Disk Cleanup" (cleanmgr), PowerShell commands, etc., are analyzed. It was determined that none of the existing tools fully provide a safe and flexible method for cleaning the system partition. The scientific novelty of the research lies in a comprehensive approach to the analysis and automation of system partition cleanup in Windows. The proposed solution not only automates the process of removing unnecessary files but also enhances disk resource management efficiency, ultimately contributing to improved performance and stability of the operating system. Expected results include a reduction in occupied space on the system partition, which will contribute to enhanced OS performance and stability. Moreover, automation of this process simplifies the task for both advanced users and those without deep technical knowledge.

Keywords: Operating System, System Partition, Optimization, System Registry, Batch File, Powershell, Command-Line Interpreter, .NET Technologies

Постановка проблеми. Нові версії операційних систем Windows займають дедалі більше місця на системному розділі жорсткого диска. Це пов'язано з додаванням нових компонентів, регулярними оновленнями та виправленнями, збереженням користувацьких файлів і створенням резервних копій. У результаті системний розділ (%systemdrive%), де міститься сама операційна система, з часом заповнюється інформацією, яка не завжди є критично важливою, проте викликає дефіцит вільного дискового простору. Це негативно впливає як на швидкість операційної системи, так і на функціонал та, навіть, на можливість подальшого безперебійного отримання оновлень та виправлень. Збільшення розміру системного розділу не завжди можливе, особливо для невеликих твердотільних накопичувачів, або за браку вільного місця на інших розділах. Тому виникає потреба здійснити очищення (cleanup) такого розділу з метою мінімізації втрат вільного простору під час її подальшої експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд інструментів для оптимізації системного розділу шляхом його очистки. У роботах [1, 2, 3] розглянуто утиліту DISM та три

безкоштовні програми: PatchCleaner, Wise Disk Cleaner і DISM++. Хоча їх основне призначення різне, усі вони містять функції для очищення дискового простору. Жодна з них не охоплює всі можливі методи, проте кожна реалізує окремі ефективні підходи. Водночас деякі завдання можна виконати лише штатними утилітами або вручну з правами адміністратора.

У роботах [1, 2, 3] проаналізовано причини нестачі вільного місця на системному розділі під час експлуатації Windows 11. Досліджено структуру розділів носія при встановленні поширених операційних систем Microsoft, а також основні системні файлові об'єкти, їхні розташування, призначення та вплив на використання простору системного розділу. Наведено перелік найбільш об'ємних файлів і папок, очищення або налаштування яких дозволяє значно зекономити місце. Каталог %windir%\Installer займає значний обсяг на диску, містячи .msi та .msp файли, патчі та інсталятори, які використовує Windows Installer для оновлення та видалення програм. Каталог %windir%\WinSxS зберігає резервні копії системних файлів для можливості відміни оновлень. Звичайне видалення небезпечно, тому для очищення слід використовувати засіб DISM [4]. Windows підтримує стиснення системних файлів через, що дозволяє зменшити зайнятий простір у %windir% та Program Files на декілька гігабайт. Файл гібернації (hiberfil.sys) як правило займає простір, рівний обсягу оперативної пам'яті. Відключення гібернації через powercfg /h off дозволяє звільнити місце. У %windir%\System32\DriverStore зберігаються драйвери пристроїв, включаючи старі версії. Деякі виробники дублюють драйвери у власних каталогах (наприклад %windir%\Drivers\Xerox), які також можна очистити без наслідків. На всіх накопичувачах (зокрема системному) є прихований каталог System Volume Information, який може займати десятки гігабайт. Він містить точки відновлення Windows, бази індексації, унікальний ідентифікатор диска та дані тінювого копіювання. SWAP-файл призначений для вивільнення оперативної пам'яті, зберігаючи тимчасові дані на диск (pagefile.sys, swapfile.sys), що допомагає при нестачі оперативної пам'яті, але з сучасними обсягами пам'яті потреба у ньому майже відпадає. Такий файл (файли) підкачки автоматично створюється Windows і може займати кілька гігабайт, навіть якщо не використовується. Його можна вимкнути через налаштування системи або командний рядок. Крім того в операційній системі є цілий список шляхів до каталогів із тимчасовими файлами, які теж періодично необхідно очищати (%SystemDrive%\Temp\, %SystemRoot%\Temp\, %SystemDrive%\Users%\username%\AppData\Local\Temp\, %SystemRoot%\System32\DriverStore\Temp\). В роботі [3] подано ряд скриптів, які можна використовувати при написанні пакетних файлів, сценаріїв, файлів реєстру, що дає можливість автоматизувати процес очистки системного розділу.

Постановка завдання. Оптимізація системного розділу операційної системи є важливим аспектом забезпечення його стабільної та ефективної роботи. Одним із ключових завдань є вивільнення дискового простору, що може здійснюватися різними методами: використанням штатних інструментів, прихованих системних утиліт, стороннього програмного забезпечення або безпосередньо через зміну налаштувань операційної системи. Подібні маніпуляції досить тривалі, деякі з них вимагають дотримання послідовності їх виконання, отримання доступу до суміжних засобів та об'єктів, пошуку сторонніх засобів тощо. Використання таких методів може бути складним для пересічного користувача, вимагати значного часу та знань про внутрішню структуру операційної системи. Тому виникає необхідність організувати цей процес, враховуючи всі можливі особливості та потенційні труднощі, що можуть виникнути під час оптимізації. У зв'язку з цим актуальним є розробка програмного рішення, яке дозволить автоматизувати процес очистки та оптимізації системного розділу. Такий підхід забезпечить швидкість виконання, мінімізує ризики помилок та спростить роботу з оптимізацією для користувачів будь-якого рівня.

Метою роботи є вивчення механізмів і засобів очистки та налаштування операційної системи для оптимізації системного розділу, а також розробка програмного засобу, який дозволить автоматизувати цей процес у середовищі Windows 11. Такий програмний продукт повинен інсталюватись в операційну систему і не викликати труднощів при своєму запуску та роботі.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити об'єкти операційної системи, які підлягають очищенню та оптимізації;
- розробити програмний засіб для автоматизації очистки системного розділу операційної системи;
- оцінити ефективність запропонованого рішення.

Виклад основного матеріалу. Крім визначених у роботах [1, 2, 3] системних папок (Installer, WinSxS, DriverStore, Xerox, System Volume Information, Temp), а також файлів гібернації

(hiberfil.sys), SWAP-файлів і залишкових файлів оновлень, розмір яких суттєво впливає на зайнятий простір системного розділу, існує також ряд інших файлів і налаштувань, що сприяють накопиченню надлишкового місця [5].

Windows 11 за замовчуванням містить набір Modern- або UWP-застосунків (раніше вони називалися Metro Apps або APPX), таких як Калькулятор, Календар, Пошта, Кортана, Карти, Новини, OneNote, Groove Music, Камера тощо. Ці програми автоматично встановлюються в профіль користувача при першому вході в систему та займають додатковий дисковий простір. Оскільки більшість із них не використовуються широким колом користувачів, часто виникає потреба у їхньому видаленні для вивільнення ресурсів. Необхідно правильно видалити вбудовані UWP/APPX програми у Windows 11, що дозволить зберегти додаткове місце на системному розділі та вилучить непотрібні елементи у стартовому меню.

Є UWP-застосунки, які не можна видалити за допомогою панелі керування або налаштувань у Windows 11. Для видалення цих програм потрібно використовувати PowerShell або сторонні утиліти. Для того, щоб видалити такі застосунки через Powershell спочатку необхідно отримати повний список встановлених таких застосунків, адже стандартні засоби операційної системи із панелі керування не дозволяють усіх їх показати. Такий список необхідний для визначення точного імені застосунку, яке надалі буде використовуватись у скриптах Powershell для видалення. Команда `Get-AppxPackage | Select Name, PackageFullName` повертає список встановлених застосунків. Видаляти такі застосунки можна або для конкретного користувача (що не зекономить місце на накопичувачі), або для усіх користувачів.

На системному розділі Windows іноді з'являється прихована папка CONFIG.MSI, і при тривалій експлуатації системи її розмір може сягати кількох сотень мегабайт. Папка містить збережені резервні копії системних файлів, замінені під час інсталяції різних програм за допомогою стандартного інсталятора Windows Installer. Процес встановлення програмного забезпечення далеко не завжди протікає без ускладнень. Іноді трапляються збої або користувач перериває установку. У цьому випадку інсталятор здійснює відкат і повертає систему в початковий стан. Перш ніж приступити до виконання цієї операції, Windows Installer зберігає всю інформацію про замінені папки і файли, гілки і ключі реєстру Windows, і генерує скрипт для відкату установки. Ця інформація зберігається в спеціальному прихованому каталозі, який створюється в корені системного диска під час встановлення. Якщо інсталяцію програми було завершено успішно, то потреби у резервних копіях немає, і вони повинні видалятися. Однак так відбувається не завжди, зокрема, резервні копії не зникнуть, якщо процес установки був перерваний аварійно. Тому в папці `%SystemDrive%\CONFIG.MSI` з часом накопичуються непотрібні файли.

Для ефективного очищення системного розділу операційної системи Windows 10 пропонується наступний порядок дій:

1. перевірка та очищення таких системних папок, як Installer, WinSxS, DriverStore, Xerox, System Volume Information;
2. видалення файлів гібернації та SWAP-файлів, а у разі необхідності можна вимкнути гібернацію або налаштувати параметри використання SWAP-файлів для зменшення їх розміру;
3. видалення залишкових файлів оновлень, очищення (видалення) папок CONFIG.MSI, \$GetCurrent, \$WinREAgent, \$Windows.~WS, Windows.old;
4. стиснення системних файлів за допомогою compact os;
5. видалення невикористовуваних UWP/APPX програм;
6. очищення тимчасових файлів.

В процесі очистки користувачі можуть припускати помилок, тим самим пошкоджуючи операційну систему та її файлову структуру. В таких випадках варто скористатись штатною консольною утилітою SFC, яка дозволяє сканувати та відновлювати пошкоджені або відсутні системні файли. Для оптимізації системи варто також бачити та керувати списком програм, які запускаються при завантаженні операційної системи.

Ці рекомендації допоможуть оптимізувати використання системного диска та підвищити продуктивність операційної системи, що особливо важливо для користувачів, які працюють з обмеженими ресурсами пам'яті.

Для реалізації засобів очищення та налагодження операційної системи найбільш простим і водночас ефективним підходом є виконання майже кожного процесу окремо у вигляді незалежних пакетних або інших сценаріїв, запусканих у власних ізольованих процесах (якщо вони не залежні

один від одного). Тобто фактично відбуватиметься передача керування процесами самій операційній системі, в якій такий механізм передбачено заздалегідь і який найкраще справиться з поставленою задачею і не викликличе конфліктів. Основними інструментами для задіяння можливостей операційної системи є виконання скриптів та виклику функцій системних бібліотек, шляхом використання інтерпретатора командного рядка (cmd) [6], робочим середовищем Windows PowerShell (WPS) [7], редактором системного реєстру (regedit) [8] та різноманітними системними утилітами типу RunDLL32 [9]. Більшість цих інструментів має власний користувацький інтерфейс, або використовує інтерфейс операційної системи, через який можливе виконання відповідних скриптів, команд та утиліт.

При написанні скриптів для очищення каталогів часто потрібно передбачити видалення вмісту каталогу без видалення самого каталогу та уникати сторонніх повідомлень про помилки. Наприклад, при очищенні тимчасових файлів, важливо не лише видалити файли, а й забезпечити відсутність помилок під час виконання скрипта:

```
SET THEDIR=%systemroot%\temp
Echo Deleting all files from %THEDIR%
DEL "%THEDIR%\*" /F /Q /A
Echo Deleting all folders from %THEDIR%
FOR /F "eol=| delims=" %I in ('dir "%THEDIR%\*" /AD /B 2^>nul') do rd /Q /S "%THEDIR%\%I"
EXIT
```

В процесі очистки часто виникають ситуації, коли не завжди можна повністю автоматизувати такий процес, або іноді необхідно зробити попередні маніпуляції, які вимагають додаткових знань, дій або засобів. В розширене контекстне меню (викликається на файлового об'єкті з утримуванням клавіші Shift) операційної системи для роботи з файлами та папками можна через реєстр ввести додаткову команду, яка дозволяє швидко привласнити користувачеві будь-яку папку чи файл разом із повними правами доступу до неї (Get Owner). Для цього можна створити пакетний файл, що вводить зміни до відповідних ключів реєстру:

```
rem Додає назву команди для файлового варіанту використання
reg add "HKCR\*\shell\runas" /d "Get Owner" /f
reg add "HKCR\*\shell\runas" /v Extended /f
reg add "HKCR\*\shell\runas" /v NoWorkingDirectory /f
rem Додає виконувани команди для файлового варіанту використання
reg add "HKCR\*\shell\runas\command" /d "cmd.exe /c takeown /f \"%1\" && icacls \"%1\" /grant administrators:F" /f
reg add "HKCR\*\shell\runas\command" /v IsolatedCommand /d "cmd.exe /c takeown /f \"%1\" && icacls \"%1\" /grant administrators:F" /f
rem Додає назву команди для варіанту використання каталогу
reg add "HKCR\Directory\shell\runas" /d "Get Owner" /f
reg add "HKCR\Directory\shell\runas" /v Extended /f
reg add "HKCR\Directory\shell\runas" /v NoWorkingDirectory /f
rem Додає виконувани команди для варіанту використання каталогу
reg add "HKCR\Directory\shell\runas\command" /d "cmd.exe /c takeown /f \"%1\" /r /d y && icacls \"%1\" /grant administrators:F /t" /f
reg add "HKCR\Directory\shell\runas\command" /v IsolatedCommand /d "cmd.exe /c takeown /f \"%1\" /r /d y && icacls \"%1\" /grant administrators:F /t" /f
reg add
"HKCR\AllFilesystemObjects\shellex\ContextMenuHandlers\{C2FBB630-2971-11D1-A18C-00C04FD75D13}" /f
```

Організація всіх інструментів та написаних пакетних файлів для очищення системного розділу в один застосунок дозволяє автоматизувати процес, зменшити кількість кроків для користувача та мінімізувати ризики помилок, що значно підвищує ефективність і зручність оптимізації системи.

Враховуючи одну із вимог, що стосується середовища виконання та організації процесів для розробки інтегрованого середовища та запуску окремих сценаріїв незалежно один від одного, було обрано платформу .NET, зокрема середовище програмування Microsoft Visual C#, що має можливість створення проєктів з консольними застосунками та застосунками з візуальним інтерфейсом [10]. Такі пакетні файли запускаються через код додатка на C# як окремих процес відповідного класу простору імен.

Однак у процесі розробки програмного застосунку виникли певні проблеми, зокрема реалізація механізму видалення UWP-застосунків для всіх користувачів. Для цього передбачено використання команди:

`Get-AppxPackage -allusers *xxxxx* | Remove-AppxPackage`,
де xxxxx – точне ім'я програми.

Проте запуск такого типу команд із застосунка C# в якості окремого процесу неможливий, доки не надано дозвіл на запуск скриптів Powershell з командного рядка, а отже і пакетного файлу, які ми використовуємо. За замовчуванням такий запуск з міркувань безпеки в операційній системі заборонено, хоча сама команда в складі скрипту дозволена на виконання з середовища Powershell. Повністю дозволяти запуск скриптів Powershell з командного рядка недоцільно, оскільки це підвищує рівень уразливості операційної системи, проте можна надати такий дозвіл окремо для кожної команди в межах окремого екземпляру середовища її виконання, адже такий екземпляр після виконання буде закритий, а, отже, і дозвіл буде відмінений. Для цього в пакетному файлі скористаємось командою `-executionpolicy bypass -command` перед командою, яка виконуватиметься. Проте ця команда фізично повністю не видаляє застосунки з розділу, а лише відмінює їх реєстрацію. Для їх видалення необхідно з каталогу `%Systemdrive%\Program files\WindowsApps\` видалити папку(и) відповідного застосунку, що зручно також зробити за допомогою середовища Powershell через командний рядок, попередньо перебравши на себе права власності на такі об'єкти і встановивши відповідні права доступу.

В результаті було отримано програмний продукт OSP (Optimization of System Partition), який містить більше 60 пакетних файлів та інших скриптів, що запускаються через інтегроване середовище, а також 4 пакети сторонніх утиліт, що викликаються з основної програми (<https://github.com/NomadCatB/OSP-202x>).

Використовуючи розроблений програмний засіб орієнтовно можна зекономити від кількох до кількох десятків гігабайт. Зрозуміло, що результати будуть різнитись між окремим конкретними системами. Ефективність очистки та оптимізації системного розділу оцінювалась за об'ємом зекономленого простору після роботи OSP, та в динаміці його зміни в процесі типової експлуатації операційної системи.

Для порівняльного аналізу функціоналу існуючих розробок та розробленого програмного продукту було сформовано порівняльну таблицю (табл. 1).

Таблиця 1. – Порівняння існуючого програмного забезпечення по досліджуваному функціоналу з розроблюваним: «+» – наявна функція, «-» – відсутня, «+/-» – частково присутня [2].

Каталоги для очистки, або інші методи вивільнення простору	PatchCleaner	Wise Disk Cleaner	DISM	DISM++	OSP
<code>%systemroot%\installer\</code>	+	-	-	-	+
<code>%systemroot%\installer\\${PatchCache\$}</code>	-	-	-	-	+
<code>%systemroot%\installer*.tmp-</code>	-	-	-	-	+
<code>%systemroot%\winSxS\</code>	-	+/-	+	+	+
<code>%systemroot%\winSxS\Backup</code>	-	+	-	+	+
Стиснення системних файлів	-	-	-	-	+
<code>%systemroot%\system32\DriverStore</code>	-	-	-	+	+
<code>%systemroot%\system32\DriverStore\</code> <code>\FileRepository</code>	-	-	-	+	+
Керування гібернацією	-	-	-	-	+
Керування віртуальною пам'яттю	-	-	-	-	+
Видалення тимчасових файлів	-	+	-	+	+
Керування UWP	-	-	-	+	+
Видалення файлів пакетів оновлень	-	+/-	+	+	+
System Volume Information	-	-	-	-	+

Як видно з табл.1. існує низка задач, які не реалізовані в жодному з розглянутих існуючих застосунків і можуть бути виконані виключно за допомогою вбудованих системних утиліт або вручну користувачем із правами адміністратора. Такий функціонал реалізовано в застосунку OSP.

Висновки. В роботі розглянуто основні механізми та методи вивільнення простору системного розділу в процесі експлуатації операційної системи Windows 11. Як результат був розроблений програмний засіб OSP (Optimization of System Partition), який здатен здійснювати поетапну, або вибірккову (за бажанням користувача) очистку системного розділу та змінювати окремі налаштування операційної системи Windows 11 вивільняючи місце на системному розділі, тим самим роблячи систему більш стабільною та ефективнішою у роботі (<https://github.com/NomadCatB/OSP-202x>). Для розробки програмного засобу було використано можливості інтерпретатора командного рядка, розширений засіб роботи з інтерфейсом командного рядка PowerShell, засоби виклику системних бібліотек та інструменти для роботи з реєстром операційної системи. В якості середовища розробки кінцевого програмного продукту було використано Microsoft Visual C#. Розроблений програмний продукт може бути використаний як звичайними користувачами, які мають права адміністратора на локальних системах, так і адміністраторами систем, мережевими адміністраторами в якості основного інструменту для очищення робочих станцій в процесі експлуатації.

Перспективи подальшого дослідження можуть включати адаптацію розробленого програмного засобу для нових версій операційної системи Windows та розширення функціоналу, пов'язаного з очисткою.

Список бібліографічного опису:

1. Булатецький В. В., Булатецька Л. В., Пруц Г. С. Методи та засоби вивільнення простору системного розділу ОС Microsoft Windows 10. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2018. № 32. С. 85–89.
2. Bulatetskyi V., Bulatetska L., Hryshanovych T. ANALYSIS OF OS WINDOWS 10 FILE OBJECTS FOR SYSTEM PARTITION SPACE CLEANING AND OPTIMIZATION. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*. 2022. Vol. 3, no. 15. P. 71–84. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.7184> (date of access: 24.03.2025).
3. Research methods and tools for cleaning the system partition of Windows operating systems / A. P. Stupin, V. V. Bulatetskyi, L. V. Bulatetska, T. O. Hryshanovych, Yu. S. Pavlenko. *Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2021)* : Proceedings of the 4th Workshop for Young Scientists, Kryvyi Rih, 18 December 2021. 2022. P. 135–145. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper17.pdf>.
4. DISM Image Management Command-Line Options. Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/manufacture/desktop/dism-image-management-command-line-options-s14?view=windows-11> (date of access: 23.03.2025).
5. DISM Image Management Command-Line Options. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/manufacture/desktop/dism-image-management-command-line-options-s14?view=windows-11> (date of access: 23.03.2025).
6. cmd. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/cmd> (date of access: 23.03.2025).
7. What is PowerShell? - PowerShell. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/powershell/scripting/overview?view=powershell-7.1> (date of access: 23.03.2025).
8. How to add, modify, or delete registry subkeys and values by using a .reg file - Microsoft Support. *Microsoft Support*. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/topic/how-to-add-modify-or-delete-registry-subkeys-and-values-by-using-a-reg-file-9c7f37cf-a5e9-e1cd-c4fa-2a26218a1a23> (date of access: 23.03.2025).
9. rundll32. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/rundll32> (date of access: 23.03.2025).
10. Windows Forms for .NET documentation. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-9.0> (date of access: 23.03.2025)

References:

1. Bulatetskyi, V. V., Bulatetska, L. V., & Pruts, H. S. (2018). Metody ta zasoby vyvil'neniya prostoru systemnoho rozdilu OS Microsoft Windows 10. *Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo*, (32), 85–89.
2. Bulatetskyi, V., Bulatetska, L., & Hryshanovych, T. (2022). ANALYSIS OF OS WINDOWS 10 FILE OBJECTS FOR SYSTEM PARTITION SPACE CLEANING AND OPTIMIZATION. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(15), 71–84. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.7184>
3. Research methods and tools for cleaning the system partition of Windows operating systems / A. P. Stupin, V. V. Bulatetskyi, L. V. Bulatetska, T. O. Hryshanovych, Yu. S. Pavlenko. *Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2021)* : Proceedings of the 4th Workshop for Young Scientists, Kryvyi Rih, 18 December 2021. 2022. P. 135–145. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper17.pdf>.

4. DISM Image Management Command-Line Options. (b. d.). Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/manufacture/desktop/dism-image-management-command-line-options-s14?view=windows-11>
5. *Tricks to Free Space on System Partition on Your PC*. (b. d.). AOMEI Partition Assistant | Partition Manager Software for Windows PC and Server. <https://www.diskpart.com/articles/free-space-on-system-partition-7201.html>
6. *cmd*. (b. d.). Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/cmd>
7. *What is PowerShell? - PowerShell*. (b. d.). Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://docs.microsoft.com/en-us/powershell/scripting/overview?view=powershell-7.1>
8. *How to add, modify, or delete registry subkeys and values by using a .reg file - Microsoft Support*. (b. d.). Microsoft Support. <https://support.microsoft.com/en-us/topic/how-to-add-modify-or-delete-registry-subkeys-and-values-by-using-a-reg-file-9c7f37cf-a5e9-e1cd-c4fa-2a26218a1a23>
9. *rundll32*. (b. d.). Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/rundll32>
10. *Windows Forms for .NET documentation*. (b. d.). Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-9.0>