

УДК 025.84:621.564.2

ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМ НИЗЬКОГО ТИСКУ У РЕСТАВРАЦІЇ ПАПЕРОВИХ МАТЕРІАЛІВ

А. Ю. Шпак, Н. М. Цуца

*Національний Університет «Львівська Політехніка»
Інститут поліграфії та медійних технологій
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

У статті досліджено функціональні особливості, технічні параметри та технологічні можливості сучасних систем низького тиску, що застосовуються у сфері реставрації та консервації паперових матеріалів. Проаналізовано сучасний стан використання вакуумних технологій у реставраційній практиці, простежено етапи їх розвитку та технічного вдосконалення, а також визначено їхній вплив на якість та ефективність консерваційно-реставраційних процесів. Особливу увагу зосереджено на технічних рішеннях європейських виробників реставраційного обладнання, зокрема BELO GmbH (Німеччина) та Restauro-Technika (Польща), продукція яких активно використовується у навчальних закладах та реставраційних майстернях.

Розглянуто конструктивні особливості вакуумних столів різних типів - із повною та локальною поверхнею застосування, з інтегрованими системами підігріву та освітлення, а також спеціалізованих моделей, призначених для роботи з документами, графічними аркушами, книжковими блоками та іншими об'єктами на паперовій основі. Визначено вплив параметрів тиску, вологості та температури на стабільність волокнистої структури паперу, а також на ефективність технологічних операцій дублювання, сушіння та усунення деформацій.

Наголошено на доцільності впровадження систем низького тиску у сучасну реставраційну практику як високотехнологічних інструментів контрольованого впливу, що забезпечують поєднання ефективності механічної дії з мінімізацією ризиків для матеріальної основи об'єкта. Зазначено, що застосування вакуумних технологій сприяє підвищенню точності, відтворюваності, стабільності та безпечності реставраційних процесів, водночас формуючи високі стандарти технічного забезпечення реставраційних інституцій.

Результати проведеного аналізу підтверджують значну роль систем низького тиску у розвитку сучасної реставраційної інфраструктури, оптимізації технологічних процесів і забезпеченні довготривалого збереження паперових об'єктів культурної спадщини.

Ключові слова: *реставрація паперу, консервація, вакуумний стіл, системи низького тиску, BELO, Restauro-Technika, допоміжні модулі, дублювання, волокниста структура паперу.*

Постановка проблеми. Сучасна реставраційна практика, спрямована на збереження та відновлення паперових матеріалів, постає перед низкою складних викликів, пов'язаних із необхідністю забезпечення високого рівня точності, контрольованості та безпечності технологічних процесів. Ефективність реставраційного втручання значною мірою визначається рівнем технічного оснащення майстерень, що, зокрема, передбачає можливість створення стабільного фізико-хімічного середовища для взаємодії з об'єктом культурної спадщини без порушення його структурної цілісності.

Одним із перспективних напрямів удосконалення технологічних процесів у реставрації паперових матеріалів є впровадження систем низького тиску, які дозволяють здійснювати контрольований вплив на матеріальну основу документа, забезпечуючи підвищену відтворюваність та ефективність результатів реставраційних операцій. Значний внесок у розвиток технічного забезпечення реставраційної сфери зробили європейські виробники JEZET (Нідерланди), Willard Conservation Ltd (Велика Британія), BELO GmbH (Німеччина) та Restauro-Technika (Польща), що спеціалізуються на створенні високоточних вакуумних систем для науково-дослідних та реставраційних інституцій. Їхні конструкції характеризуються модульністю, адаптивністю до різних видів реставраційного втручання та відповідністю міжнародним стандартам безпеки і збереження матеріалів (ISO 18934:2011; EN 16893:2018), що дозволяє працювати як з окремими аркушами, так і з великими форматами документів або книжковими блоками.

Практичне застосування вакуумних систем BELO та Restauro-Technika у реставраційній діяльності вітчизняних інституцій, обумовлює необхідність комплексного аналізу їхніх функціональних характеристик та технологічних можливостей. А наукова проблема, полягає у визначенні оптимальних сфер застосування, технічних переваг та перспектив інтеграції у реставраційні процеси різного рівня складності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз наукових джерел свідчить про обмежене висвітлення питання застосування систем низького тиску у сфері реставрації та консервації паперових матеріалів. Виявлений науковий доробок охоплює здебільшого початкові етапи дослідження даної технології, що зумовлено рівнем технічного розвитку на момент публікації відповідних праць. Відтоді конструкції вакуумних систем зазнали суттєвих модернізацій, що актуалізує необхідність їх сучасного техніко-технологічного переосмислення.

У дослідженні А. Грейг (A. Greig) [1] представлено огляд практичних аспектів використання вакууму в реставраційній практиці паперу. Авторка акцентує увагу на взаємозв'язку фізичних і хімічних параметрів процесу, що забезпечує підвищення рівня контрольованості, точності та відтворюваності результатів реставраційного втручання.

У праці Б. Хацке (B. Nаске) [2] висвітлено конструктивні особливості систем низького тиску, розроблених для оптимізації процесів консервації. Автор підкреслює значення рівномірного розподілу тиску на поверхні матеріалу та мінімізації ризику механічних пошкоджень під час виконання реставраційних операцій.

Публікація В. Мітка (W. Mitka) [3] присвячена створенню портативного мініатюрного апарата низького тиску, призначеного для локальних реставраційних втручань.

У роботі М. Вейднер (M. Weidner) [4] здійснено один із перших системних описів конструкції вакуумного столу. Це дослідження стало основою для подальшого вдосконалення вакуумних технологій у сфері консервації паперу.

Отже, проведений аналіз свідчить, що, попри наявність окремих праць, тематика використання сучасних систем низького тиску у реставрації паперових матеріалів залишається недостатньо опрацьованою. З огляду на суттєвий технологічний прогрес, актуальним є проведення комплексного наукового дослідження, спрямованого на оцінку технічних характеристик, функціональної адаптивності та ефективності сучасних вакуумних систем у реставраційно-консерваційній практиці.

Мета статті. Комплексний аналіз технічних характеристик та функціональних можливостей сучасних систем низького тиску з метою оцінки їх ефективності у реставраційно-консерваційних процесах паперових матеріалів. Особлива увага приділяється можливості створення контрольованого фізико-хімічного середовища, адаптивності конструкцій до різних видів реставраційних втручань, а також їхньому впливу на підвищення точності, безпечності та відтворюваності результатів. Дослідження спрямоване на виявлення технологічних переваг вакуумних систем низького тиску та формування науково обґрунтованих рекомендацій і технічних вимог, щодо їх практичного застосування й інтеграції в діяльність сучасних реставраційних лабораторій.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасній реставраційній практиці столи низького тиску посідають важливе місце як високоефективні технологічні інструменти, що забезпечують контрольовані умови для проведення різнопрофільних реставраційних процесів. Їх значущість підкреслює старший реставратор книги Музею Вікторії та Альберта (V&A) Біджет Мітчелл (Bridget Mitchell), яка зазначає, що вакуумний стіл є надзвичайно ефективним засобом, котрий доцільно застосовувати систематично в практичній діяльності реставратора [1]. Цю тезу було підтверджено під час триденного семінару, присвяченого використанню вакуумних столів у консервації паперу, де демонструвався стіл виробництва Willard Conservation - сучасник моделі Willard Multi Function Table, який був розроблений у 1980-х роках у співпраці з Тоні Рівом (Tony Reeve) із Національної галереї в Лондоні [6].

Аналогічну позицію висловлює керуючий директор компанії BELO GmbH Карл-Фрідріх Бергмеєр (Karl-Friedrich Bergmeier), який, маючи практичний досвід реставраційної роботи, наголошує на необхідності впровадження інноваційних технологій, зокрема сучасних вакуумних систем, у повсякденну практику реставраційних майстерень.

На сьогодні у сфері реставраційно-консерваційного обладнання діє низка провідних виробників, серед яких JEZET (Нідерланди), Willard Conservation Ltd (Велика Британія), BELO GmbH (Німеччина), Restauro-Technika (Польща) та інші.

Характерною особливістю цих компаній є їхня тісна взаємодія з реставраторами-практиками, завдяки чому технологічні рішення розробляються на основі безпосереднього досвіду роботи з унікальними об'єктами культурної спадщини.

Історично важливим є внесок засновника компанії Willard Conservation - Джека Вілларда (Jack Willard), який ще на початку 1960-х років започаткував розроблення першого нагрівального вакуумного столу для дублювання. У 1974 році він представив інноваційну технологію вакуумного дублювання на конференції «The Greenwich Lining Conference», що стало визначним етапом у розвитку реставраційного обладнання. Сьогодні компанія Willard Conservation продовжує розвивати технологічні рішення у співпраці з фахівцями провідних реставраційних установ, пропонуючи вдосконалене обладнання, серед якого - Willard Multi Function Conservation Table (Option 5) [6].

Цей технологічний комплекс відзначається високою надійністю, точністю регулювання температури та тиску, а також наявністю вбудованих систем безпеки й охолодження, що унеможливають перегрів матеріалів. Завдяки можливості регулювання висоти робочої поверхні, використанню допоміжних модулів (вуглецевого фільтра, зволожувача, акрилового купола) та ергономічності конструкції, даний тип обладнання адаптований до широкого спектра реставраційних завдань і забезпечує високий рівень технологічності процесів реставрації.

Компанія JEZET уперше представила свої вакуумні системи у 1983 році. Первісно вони використовувалися для фіксації об'єктів під низьким тиском під час оброблення кислотного паперу рідинами для дегідратації та проведення локальних реставраційних процедур. У подальшому конструкції були вдосконалені для роботи в режимах низького, середнього та високого вакууму, що розширило спектр можливих операцій: ополіскування, миття, вибілювання, дегідратація, дезінфекція, зволоження, видалення плям та скотчу, розгладжування пергаменту, заповнення волокон, проклеювання, дублювання, зміцнення, розшарування та нарощування волокнистої структури паперу.

Сучасні вакуумні столи JEZET призначені для реставраційних і консерваційних робіт із паперовими та змішаними творами мистецтва. Їх конструкція включає перфоровані робочі поверхні з нержавіючої сталі або синтерованої поліетиленової плити, що забезпечують рівномірний розподіл вакууму з робочим тиском до - 90 кПа. Модульна система дозволяє інтегрувати обладнання в існуючі робочі простори або монтувати його на мобільні опорні рами з фіксувальними роликами. Окремі моделі оснащуються пневматичними чи електричними вакуумними блоками, системами очищення повітря TRAPTANK, фільтрації, зволоження, а також освітленням робочої поверхні до 5000 люкс, що створює оптимальні умови для виконання реставраційних процесів [5].

Доцільним є детальний розгляд технічних характеристик та функціональних особливостей вакуумних комплексів виробництва BELO GmbH та Restauro-Techніка, з огляду на їх широке впровадження у навчальних закладах і реставраційних майстернях, де зазначене обладнання активно застосовується для проведення практичних занять та виконання комплексних реставраційних процесів. Такий підхід

дозволяє оцінити ефективність використання сучасних систем низького тиску в умовах реальної реставраційної практики та визначити їх значення у підвищенні технологічної культури реставраційного процесу.

Загальна характеристика вакуумних столів виробника BELO

Заснування компанії BELO GmbH було зумовлене результатами дипломної роботи її засновника, присвяченої розробленню спеціалізованого нагрівального елемента для вакуумних столів, призначених для реставрації живопису. У подальшому діяльність компанії набула системного розвитку, що сприяло розширенню асортименту вакуумних систем, які охоплюють широкий спектр професійного обладнання для консерваційно-реставраційних робіт із паперовими матеріалами.

Основним функціональним призначенням вакуумних столів BELO є забезпечення рівномірного розподілу низького тиску під робочою поверхнею, що дозволяє надійно фіксувати реставрований об'єкт без створення додаткового механічного навантаження. Такий принцип роботи забезпечує контрольований вплив розчинів, вологи та температури на матеріальну основу документа, що має особливе значення під час виконання реставраційних операцій, спрямованих на збереження структурної цілісності та автентичності об'єкта.

Конструктивна база вакуумних столів виготовляється з антикорозійних матеріалів - анодованого алюмінію або нержавіючої сталі, що забезпечує довготривалу стабільність геометричних і фізико-хімічних параметрів. Робочі поверхні характеризуються рівномірною перфорацією, яка сприяє гомогенному розподілу тиску по всій площині, а наявність фіксованих роликів підвищує ергономіку робочого процесу.

Усі моделі оснащено: електронним блоком керування з безступінчастим регулюванням частоти обертання двигуна вакуумогенератора, що дозволяє точно налаштувати рівень тиску; системою температурного контролю (для моделей з підігрівом робочої поверхні) з діапазоном регулювання від 30 °C до 80 °C; перфорованою робочою плитою з рівномірним розподілом тиску; вакуумним генератором; додатковими розетками 240 В для підключення допоміжного обладнання чи вимірювальних приладів. Серед додаткових елементів виробник пропонує: електромеханічне регулювання висоти робочої поверхні; прозорий плексигласовий захисний купол (оснащений алюмінієвою рамою з ущільнювальною гумовою прокладкою по периметру, що щільно прилягає до зовнішньої рами вакуумного столу); ультразвуковий зволожувач із електронним регулюванням; систему повітряної фільтрації; змінну перфоровану металеву плиту; вакуумогенератор із вугільним фільтром; інтегроване LED або галогенове підсвічування [7].

Столи низького тиску (вакуумні столи) виробника BELO можна класифікувати: вакуумні столи з повною поверхнею застосування (*англ. Vacuum table*), вакуумні столи з інтегрованою системою освітлення (*англ. Illuminated vacuum table*), вакуумні столи з інтегрованою системою нагріву (*англ. Vacuum table heatable*), вакуумні столи з локальною поверхнею застосування (*англ. Partial vacuum table*), спеціалізовані вакуумні столи типу «клин» (*англ. Book wedge*).

Вакуумні столи з повною робочою поверхнею представлені у трьох типорозмірах: 1100×910 мм, 1500×1140 мм та 1800×1200 мм. Конструкція передбачає

інтеграцію мийної ванни, що суттєво розширює функціональні можливості обладнання у сфері реставрації паперу. Такий технічний підхід дозволяє здійснювати повний комплекс технологічних операцій, характерних для реставраційної практики: очищення, вирівнювання основи, анфасерування (доливання волокон), дублювання та закріплення матеріальної основи документа.

Робоча площа виготовлена з нержавіючої сталі з перфорацією, що доходить до крайніх меж поверхні, завдяки чому забезпечується можливість роботи з великоформатними оригіналами. Альтернативно, за потреби, робоча поверхня може бути виготовлена зі спеціального полімерного матеріалу, інертного до дії вологи та хімічних реагентів. Така поверхня характеризується високим ступенем рівномірності тиску, що особливо важливо при анфасеруванні або дублюванні аркушів, забезпечуючи стабільність результатів навіть за тривалої експозиції розчинів.

Вакуумні столи з інтегрованою системою освітлення за своїми розмірами ідентичні моделям із повною робочою поверхнею. Їх обладнано LED-системою підсвічування з регульованою інтенсивністю, що дозволяє здійснювати просвічування матеріалу та можливість візуального контролю волоконної структури (виявленні структурних дефектів або пошкоджень), виявлення підклеюєк, розшарувань, водяних знаків чи попереднього малюнка. Цей тип столів є особливо ефективним у процесах візуальної діагностики стану основи паперу.

Вакуумні столи з інтегрованим нагрівом робочої поверхні оснащені терморегулювальною системою з діапазоном температур від 30 °C до 80 °C, що забезпечує прецизійний контроль термічних процесів. Завдяки поєднанню функцій нагріву та регульованого тиску ці моделі застосовуються для дублювання, усунення деформацій, приклеювання фрагментів, сушіння та закріплення матеріалів. Електронний блок керування оснащено окремим модулем терморегуляції, що дозволяє точно встановлювати та підтримувати необхідні параметри температури.

Вакуумні столи з локальною поверхнею застосування представлені у компактних розмірах 170×170 мм, 180×180 мм та 250×250 мм. Вони призначені для виконання локальних реставраційних втручань - таких як нарощування волокон, видалення плям, локальне дублювання або закріплення делікатних ділянок. Такі столи мають можливість інтеграції у комплексний реставраційний стіл, сконструйований відповідно до індивідуальних технічних вимог користувача. Додатково можливе укомплектування системами LED-освітлення та нагріву.

Спеціалізовані вакуумні столи типу «клин» розроблені для реставраційних і консерваційних втручань у переплетених книжкових блоках без необхідності їх розшиття. Конструкція у формі клина дає змогу обережно вводити перфоровану робочу поверхню з нержавіючої сталі (W.Nr. 1.4501, Ø1,5 мм) між сторінками книги, локалізуючи вплив тиску лише на вибраній ділянці аркуша. Робоча площа має регульований кут нахилу, що забезпечує горизонтальне положення сторінки при процесі. Спеціальна підставка для книги зменшує кут розкриття та знижує навантаження на корінець, а прозора плексигласова пластина утримує аркуші в стабільному положенні [7].

Існує модифікація із вбудованим джерелами холодного LED-освітленням, що забезпечує рівномірне нижнє підсвічування завдяки поліетиленовій синтерованій плиті (PE-Sinterplatte) для точного візуального контролю під час роботи.

Клин монтується на поворотному кронштейні з регулюванням висоти, що забезпечує зручність роботи, а механічний курбельний механізм дозволяє вручну змінювати положення. Для оптимізації робочого простору передбачено полицки з нержавіючої сталі по обидва боки основи.

Конструктивно ергономічне робоче місце адаптоване до роботи в сидячому положенні. Каркас виготовлено з анодованих алюмінієвих профілів, обладнано фіксованими роликками, що полегшують транспортування. Блок керування, розташований збоку в захищеному корпусі, містить регулятор швидкості обертання вакуумогенератора та додаткові розетки. Система плавного регулювання швидкості двигуна (від холостого ходу до максимальної потужності) здійснюється за допомогою потенціометра, що забезпечує прецизійне налаштування рівня тиску.

Загальна характеристика вакуумних столів виробника Restauro-Technika

Столи низького тиску виробництва Restauro-Technika (Польща) належать до професійного реставраційного обладнання, призначеного для виконання складних технологічних процесів, пов'язаних із дублюванням (у холодному та гарячому режимах), вирівнюванням деформацій, консолідацією шарів та стабілізацією структур матеріалів на основі паперу, полотна чи текстилю.

Асортимент продукції охоплює нагрівальні моделі розміром від 750×1000 мм до 2000×3000 мм та столи низького тиску без підігріву розміром від 200×300 мм до 1500×3000 мм (у стандартному виконанні). Така розмірна варіативність дозволяє адаптувати обладнання до потреб різних реставраційних лабораторій - від локальної обробки малих фрагментів до роботи з великоформатними аркушами або об'єктами [8].

Функціональна універсальність конструкції передбачає можливість виконання широкого спектра технологічних операцій, включно з дублюванням, вирівнюванням, сушінням, промиванням та локальною консолідацією фарбового шару. Система рівномірного вакуумування забезпечує контрольований розподіл тиску по всій площині робочої поверхні, що мінімізує ризик деформацій або пошкоджень делікатних матеріалів.

Окрему групу становлять підсвічувані столи низького тиску, оснащені LED-системою, яка дозволяє працювати у режимі просвічування. Така функція є надзвичайно важливою під час реставрації тонких або напівпрозорих матеріалів - рукописів, гравюр, акварельних аркушів, а також для виявлення водяних знаків, підклеюєк, розшарувань чи попереднього малюнка.

Для процесів очищення, промивання та ополіскування використовуються перфоровані ванни-столи, виготовлені з алюмінію або нержавіючої сталі. Їхня конструкція дозволяє ефективно здійснювати мокре очищення паперових матеріалів з можливістю регульованого вакуумного підсушування, що запобігає утворенню деформацій під час висихання.

Одним із найдоступніших та науково обґрунтованих технічних рішень є система, що складається з: столу низького тиску NSD 115, контролеру NSD 11X та промислового пілососу Karcher WD 5 [8]. Ця конфігурація є технічно доцільною альтернативою високоякісним моделям виробництва BELO (Німеччина).

Контролер NSD 11X виконує функції високоточного електронного вимірювання та регулювання основних параметрів - температури та тиску, які є критичними у процесі реставраційних втручань. Регулювання тиску здійснюється в межах 0-800 hPa, а діапазон термостатичного керування температурою становить від 20 °C до 90 °C. Час нагрівання від 20 °C до 90 °C становить близько 20 хвилин, а охолодження від 90 °C до 40 °C - також близько 20 хвилин.

Підключення контролера до столу виконується за допомогою багатожильного ПВХ-кабелю, що забезпечує стабільну передачу даних, а з'єднання з пілососом здійснюється через вбудовану стандартну мережеву розетку. Інтегрована система «VACUUMSTAT» стабілізує рівень вакууму, запобігаючи небезпечним коливанням тиску, які можуть призвести до деформацій або пошкодження реставрованих документів.

Стіл NSD 115 з перфорованою поверхнею із нержавіючої сталі діаметром Ø1,5 мм, встановлений на статичній основі без фіксувальних роликів, що знижує маневреність, однак підвищує стабільність конструкції під час роботи. Відсутність регулювання висоти частково компенсується зручністю доступу до всієї робочої площини. Завдяки поєднанню з контролером NSD 11X комплекс забезпечує точний контроль робочого середовища, що особливо важливо при роботі з цінними музейними та архівними об'єктами.

Додатковим компонентом системи є промисловий пілосос Karcher WD 5, який забезпечує створення та підтримання необхідного рівня вакууму. За бажанням можна замінити даного виробника на паритетну модель іншої компанії. Синхронна взаємодія всіх елементів комплексу гарантує стабільність тиску, рівномірність сушіння та ефективність фіксації поверхні, що відповідає міжнародним стандартам реставраційної практики та вимогам безпеки поводження з оригіналами культурної спадщини.

Рекомендовані вимоги при роботі з системою низького тиску

Після детального аналізу технічних характеристик та функціонально-технологічних особливостей систем низького тиску виробництва BELO GmbH та Restaura-Technik постає необхідність формування уніфікованого підходу до їх практичного застосування. Реалізація такого підходу передбачає дотримання комплексу універсальних техніко-технологічних вимог, спрямованих на забезпечення ефективності, контрольованості та безпечності консерваційно-реставраційних процесів.

На початковому етапі слід здійснити перевірку комплектації системи на наявність необхідних функціональних компонентів, які можуть бути задіяні в конкретній процедурі: інтегровані ванни, нагрівальні елементи, системи підсвічування, зволоження, вентиляції та акриловий купол. Важливо також забезпечити ергономічно правильне налаштування робочої поверхні столу, що сприяє точності процесу і мінімізації фізичного навантаження на реставратора.

За наявності всіх необхідних компонентів проводиться контроль їхнього технічного стану, зокрема перевіряється справність електричних, пневматичних або гідравлічних з'єднань, стабільність роботи системи керування та герметичність вакуумних контурів.

Наступним етапом є налаштування робочих параметрів на контрольному пристрої системи - значень тиску та температури, які мають бути адаптовані до властивостей конкретного об'єкта реставрації. Ці параметри визначаються індивідуально, з урахуванням типу матеріалу, його стану, хімічного складу та стійкості до нагрівання чи охолодження. Особливу увагу слід приділити тривалості процесу нагріву та охолодження, оскільки температурні коливання впливають на фізико-хімічну структуру волокон та ефективність взаємодії з реставраційними матеріалами. Якщо конструкція столу передбачає наявність LED-системи підсвічування, її потрібно активувати для процесів, що потребують контролю просвічування об'єкта.

Далі розміщуємо попередньо підготовлений об'єкт на хімічно інертну основу - це плівка виготовлена з поліетилентерефталату (PET), типу Hostaphan® RN 75 [9], більша за розміром від об'єкта, на ~ 0,5 см від країв. Така плівка біаксіально орієнтована (розтягнута у двох напрямках), термічно стабілізована, з достатньою товщиною та стійкістю до механічних навантажень, що забезпечує стабільність під час процесу. Це має особливе значення у зв'язку з конструктивними особливостями робочої поверхні столу виготовленої із перфорованої нержавіючої сталі, що забезпечує стабільність тиску та рівномірність повітряного потоку. Допускається використання тонших поліестерних плівок для робочих поверхонь з полімеру інертного до вологи й хімічного впливу (можна працювати зі спиртами і кетонами, але не з ароматичними вуглеводнями) та поліетиленової синтерованої плити де є можливість використання LED-системи просвічування.

Позиціонуємо на робочій поверхні столу, та вмикаємо систему. Для створення герметичного середовища під час вакуумного процесу застосовується плівка Hostaphan® RN 15 [10], розміри якої мають перевищувати площу робочої поверхні, або ж плексигласовий купол. Завдяки тонкій структурі RN 15 досягається рівномірне прилягання плівки до площини об'єкта, що забезпечує стабільність та однорідність впливу вакууму. Акриловий купол щільно прилягає до зовнішньої рами столу, а отвори для рук та система вентиляції, розширює спектр можливих технологічних процесів.

Після завершення реставраційних операцій необхідно просушити робочу поверхню столу, видалити залишки використаних матеріалів відповідно до технічних інструкцій виробника, а також вимкнути систему з дотриманням правил техніки безпеки.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що використання систем низького тиску у реставраційній практиці є одним із найефективніших та науково обґрунтованих підходів до забезпечення стабільних, контрольованих умов під час роботи з паперовими об'єктами культурної спадщини. Сучасні моделі вакуумних столів, розроблені європейськими виробниками - BELO GmbH

(Німеччина) та Restauro-Technika (Польща), - поєднують високий рівень технологічної точності, ергономічність, безпечність та адаптивність до різних типів реставраційного втручання.

Дослідження їхніх конструктивних і функціональних особливостей показало, що обладнання даних виробників відповідає міжнародним стандартам у галузі реставрації та збереження культурних цінностей, забезпечуючи оптимальні умови для проведення процесів очищення, дублювання, зволоження, сушки, анфасерування та вирівнювання деформацій паперу. Особливу цінність мають моделі з інтегрованими системами підігріву, підсвічування та зволоження, що дозволяють здійснювати високоточний контроль температурних і вакуумних параметрів без ризику пошкодження об'єкта.

У практичному аспекті встановлено, що вакуумні столи BELO демонструють переваги у багатофункціональності та гнучкості налаштувань, тоді як комплекси Restauro-Technika вирізняються конструктивною простотою, надійністю й економічною доцільністю для навчальних і малих реставраційних майстерень. Обидві системи забезпечують стабільність технологічного процесу, рівномірність розподілу тиску та можливість прецизійного регулювання робочих параметрів, що сприяє підвищенню ефективності й безпечності реставраційних операцій.

Отже, впровадження систем низького тиску у реставраційно-консерваційну практику сприяє не лише підвищенню якості виконання робіт, але й створенню передумов для стандартизації технологічних процесів у галузі збереження документальної та книжкової спадщини. З огляду на отримані результати, доцільним є подальше дослідження довготривалого впливу вакуумних технологій на фізико-хімічний стан паперу та розроблення методичних рекомендацій щодо оптимізації параметрів їх використання в умовах реставраційних лабораторій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Greig A. Use of vacuum in paper conservation. 2000. С. 6-7. URL: https://www.researchgate.net/publication/294846770_Use_of_vacuum_in_paper_conservation (дата звернення: 14.10.2025).
2. Hacke B. Aparat niskociśnieniowy - konstrukcja i zastosowanie. Ochrona Zabytków. 1989. № 1 (164). С. 64-69. URL: https://bazhum.muzhp.pl/media/texts/ochrona-zabytkow/1989-tom-42-numer-1-164/ochrona_zabytkow-r1989-t42-n1_164-s64-69.pdf (дата звернення: 18.10.2025).
3. Mitka W. Przenośny, miniaturowy aparat niskociśnieniowy do konserwacji malowideł. Ochrona Zabytków. 1989. № 1 (164). С. 69-72. URL: https://bazhum.muzhp.pl/media/texts/ochrona-zabytkow/1989-tom-42-numer-1-164/ochrona_zabytkow-r1989-t42-n1_164-s69-72.pdf (дата звернення: 18.10.2025).
4. Weidner M. K. A Vacuum Table of Use in Paper Conservation. Bulletin of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 1974. № 14(2). С. 115-122. <https://doi.org/10.2307/3179328> (дата звернення: 12.10.2025).
5. JEZET Restoration Machines. Вакуумні столи для реставрації паперу. Нідерланди. URL: <https://www.jezet-restoration-machines.com/vacuumeng.html> (дата звернення: 14.10.2025).

6. Willard Conservation Ltd. Фокус на продукції - блог про реставраційне обладнання. Велика Британія. URL: <https://www.willard.co.uk/blog/categories/product-focus> (дата звернення: 14.10.2025).
7. BELO GmbH. Технології реставрації: продуктовий каталог. Німеччина. 2024. URL: <https://belo-restauro.de/papierrestaurierung/unterdrucktische-2> (дата звернення: 12.10.2025).
8. Restauro-Technika. Вакуумні столи для консервації живопису, паперу та тканин: технічний каталог. Польща. 2024. URL: <http://restauro.com.pl/indexpl.htm> (дата звернення: 12.10.2025).
9. Hostaphan® RN 75 Roll. Kremer Pigmente GmbH & Co. KG. URL: <https://www.kremerpigmente.com/en/shop/linen-paper-foils/87221-hostaphan-foil-rn-75-roll.html> (дата звернення: 14.10.2025).
10. Hostaphan® RN 15 Roll. Kremer Pigmente GmbH & Co. KG. URL: <https://www.kremerpigmente.com/en/shop/linen-paper-foils/87220-hostaphan-foil-rn-15-roll.html> (дата звернення: 14.10.2025).
11. ISO 18934:2011. Imaging Materials - Multiple Media Archives - Storage Environment. (дата звернення: 12.10.2025).
12. EN 16893:2018. Conservation of Cultural Heritage - Specifications for Location, Construction and Modification of Buildings or Rooms Intended for the Storage or Use of Heritage Collections. (дата звернення: 12.10.2025).

REFERENCES

1. Greig, A. (2000) Use of Vacuum in Paper Conservation. 6-7. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/294846770_Use_of_vacuum_in_paper_conservation (data zvernennia 14.10.2025) (in English).
2. Hacke, B. (1989) Aparat niskociśnieniowy - konstrukcja i zastosowanie. Ochrona Zabytków. 1 (164), 64-69 Retrieved from https://bazhum.muzhp.pl/media/texts/ochrona-zabytkow/1989-tom-42-numer-1-164/ochrona_zabytkow-r1989-t42-n1_164-s64-69.pdf (data zvernennia 18.10.2025) (in Polish).
3. Mitka, W. (1989) Przenośny, miniaturowy aparat niskociśnieniowy do konserwacji malowideł. Ochrona Zabytków. 1 (164), 69-72 Retrieved from https://bazhum.muzhp.pl/media/texts/ochrona-zabytkow/1989-tom-42-numer-1-164/ochrona_zabytkow-r1989-t42-n1_164-s69-72.pdf (data zvernennia 18.10.2025) (in Polish).
4. Weidner, M. K. (1974) A Vacuum Table of Use in Paper Conservation. Bulletin of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 14 (2), 115-122 <https://doi.org/10.2307/3179328> (data zvernennia 12.10.2025) (in English).
5. JEZET Restoration Machines. Vacuumni stoly dlya restavracii paperu. Retrieved from. Netherlands. <https://www.jezet-restoration-machines.com/vacuumeng.html> (data zvernennia 14.10.2025) (in English).
6. Willard Conservation Ltd. Fokus na produkcii - blog pro restavracyjne obladdannia. Great Britain. Retrieved from <https://www.willard.co.uk/blog/categories/product-focus> (data zvernennia 14.10.2025) (in English).
7. BELO GmbH. (2024) Tekhnologii restavracii: katalog produktiv. Germany. Retrieved from <https://belo-restauro.de/papierrestaurierung/unterdrucktische-2> (data zvernennia 12.10.2025) (in English).

8. Restauro-Technika. (2024) Vakuumni stoly dlya konservacii zyvopysu, paperu ta tkanyn: tekhnichny katalog. Polska. Retrieved from <http://restauro.com.pl/indexpl.htm> (data zvernennia 12.10.2025) (in Polish).
9. Kremer Pigmente GmbH & Co. KG. Hostaphan® Foil RN 75. (2025) Tekhnichny pasport. Retrieved from <https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/linen-paper-foils/87221-hostaphan-foil-rn-75-roll.html> (data zvernennia 14.10.2025) (in English).
10. Kremer Pigmente GmbH & Co. KG. Hostaphan® Foil RN 15. (2025) Tekhnichny pasport. Retrieved from <https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/linen-paper-foils/87220-hostaphan-foil-rn-15-roll.html> (data zvernennia 14.10.2025) (in English).
11. ISO 18934:2011. Imaging Materials - Multiple Media Archives - Storage Environment. (data zvernennia 12.10.2025) (in English).
12. EN 16893:2018. Conservation of Cultural Heritage - Specifications for Location, Construction and Modification of Buildings or Rooms Intended for the Storage or Use of Heritage Collections. (data zvernennia 12.10.2025) (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2025-2-71-227-239

TECHNICAL CHARACTERISTICS AND FUNCTIONAL CAPABILITIES OF LOW-PRESSURE SYSTEMS IN THE RESTORATION OF PAPER MATERIALS

A. Y. Shpak, N. M. Tsutsa

*Lviv Polytechnic National University
Institute of Printing and Media Technologies
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
Shpakarsen@gmail.com*

The article investigates the functional characteristics, technical parameters, and technological capabilities of modern low-pressure systems used in the restoration and conservation of paper-based materials. The current state of vacuum technology application in restoration practice is analyzed, tracing its stages of development and technical improvement, as well as determining its influence on the quality and efficiency of conservation and restoration processes. Particular attention is given to the technical solutions developed by European manufacturers of restoration equipment, notably BELO GmbH (Germany) and Restauro-Technika (Poland), whose products are actively employed in educational institutions and professional restoration workshops.

The study examines the structural features of various types of vacuum tables - with full or localized suction surfaces, integrated heating and lighting systems, and specialized models designed for working with documents, graphic sheets, book blocks, and other paper-based objects. The influence of pressure, humidity, and temperature parameters on the stability of the fibrous structure of paper, as well as on the efficiency of technological operations such as lining, drying, and deformation correction, is determined.

The article emphasizes the relevance of integrating low-pressure systems into contemporary restoration practice as high-precision, technologically controlled tools that combine the effectiveness of mechanical action with minimal risk to the material substrate of the object. It is noted that the use of vacuum technologies contributes to increased accuracy, reproducibility, stability, and safety of restoration procedures, while simultaneously establishing high standards for the technical infrastructure of restoration institutions.

The results of the conducted analysis confirm the significant role of low-pressure systems in the development of modern restoration infrastructure, the optimization of technological processes, and the long-term preservation of paper-based cultural heritage objects.

Keywords: *paper restoration, conservation, vacuum table, low-pressure systems, BELO, Restauro-Technika, auxiliary modules, lining, fibrous structure of paper.*

Стаття надійшла до редакції 15.09.2025.

Received 15.09.2025.