

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

**Механіко-машинобудівний факультет**

(факультет)

**Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну**

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

студентки Арбекової Катерини Олегівни

(ПІБ)

академічної групи 132-21-2 ММФ

(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів

(офіційна назва)

на тему Розробка багатофункціонального настінного аксесуара для приміщень з підвищеною вологістю та обґрунтування матеріалу його виготовлення

(назва за наказом ректора)

| Керівники   | Прізвище,<br>ініціали   | Оцінка за шкалою |               | Підпис |
|---|-------------------------|------------------|---------------|--------|
|   |                         | рейтинговою      | інституційною |        |
| кваліфікаційної<br>роботи                                   | <i>Мацюк І.М.</i>       |                  |               |        |
| розділів:   |                         |                  |               |        |
| Аналіз стану питання<br>та постановка задач<br>роботи       | <i>Мацюк І.М.</i>       |                  |               |        |
| Функціональний<br>аналіз та моделювання<br>об'єкта розробки | <i>Мацюк І.М.</i>       |                  |               |        |
| Інженерно-<br>технологічний                                 | <i>Ротт Н.О.</i>        |                  |               |        |
| Експлуатаційний   | <i>Федоряченко С.О.</i> |                  |               |        |
| Рецензент   |                         |                  |               |        |
| Нормоконтролер  | <i>Гаркавенко Д.В.</i>  |                  |               |        |

Дніпро

2025

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
конструювання, технічної  
естетики і дизайну  
(повна назва)

Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО  
(прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню \_\_\_\_\_ бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентці Арбековій Катерині Олегівні академічної групи 132-21-2  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство  
спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Розробка багатофункціонального настінного аксесуара для приміщень з підвищеною вологістю та обґрунтування матеріалу його виготовлення  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_  
№ \_\_\_\_\_

| Розділ  | Зміст  | Термін виконання |
|---|--|------------------|
| Аналіз стану питання та постановка задач роботи       | Оцінено сучасні рішення та сформульовано задачі для створення вологостійкого настінного аксесуара. |                  |
| Функціональний аналіз та моделювання об'єкту розробки | Проведено аналіз функцій і побудовано 3D-модель аксесуара.   |                  |
| Інженерно-технологічний                               | Обґрунтовано вибір поліпропілену та розроблено технологію FDM-друку.                               |                  |
| Експлуатаційний                                       | Оцінено вологостійкість, міцність і методи контролю якості виробу.                                 |                  |

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Ірина МАЦЮК  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_ 2025

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 2025

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Катерина АРБЕКОВА

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_ с., \_\_\_ рис., \_\_\_ табл., \_\_\_ джерел.

**Об'єкт розроблення** — багатофункціональний настінний аксесуар, призначений для експлуатації в умовах приміщень із підвищеною вологістю.

**Мета роботи** — обґрунтувати вибір матеріалу для виготовлення та розробити конструкцію багатофункціонального настінного аксесуара, адаптовану до умов експлуатації при високій вологості, з урахуванням вимог до ергономіки, довговічності та технологічності виробництва.

У кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз вимог до конструкційних матеріалів для вологих середовищ, функціонально-вартісний аналіз, моделювання тривимірної геометрії аксесуара в CAD-середовищі та чисельне дослідження напружено-деформованого стану методом скінченних елементів. Для виготовлення прототипу використано технологію адитивного виробництва (3D-друк FDM), що дозволяє реалізувати складну форму виробу без потреби у додаткових складальних операціях.

Конструкція аксесуара розроблена з урахуванням особливостей кріплення до стіни, розміщення вентиляційних прорізів, посадкових отворів під кріплення побутових пристроїв, а також з урахуванням зручності догляду та повторного виготовлення у разі потреби. Проведений розрахунок методом МСЕ підтвердив механічну надійність виробу при нормативному навантаженні.

**Практична значимість** роботи полягає у створенні виробу, придатного для виготовлення малими серіями або індивідуально за допомогою 3D-друку. Результати можуть бути використані в інтер'єрному дизайні, у побуті, HoReCa-секторі або в медичних закладах. Запропонована конструкція враховує актуальні вимоги до естетики, функціональності та експлуатаційної надійності, що робить її придатною до впровадження у практичні розробки систем побутового комфорту.

## ЗМІСТ

|            |  |
|------------|--|
| Вступ..... |  |
| 1          | АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ.....                                       |
| 1.1        | Сучасний стан розробки інтер'єрних виробів для вологих приміщень....                       |
| 1.2        | Характеристика умов експлуатації у середовищах з підвищеною вологістю.....                 |
| 1.3        | Аналіз існуючих конструкцій багатофункціональних настінних аксесуарів.....                 |
| 1.4        | Огляд матеріалів, що застосовуються для виготовлення аксесуарів у вологому середовищі..... |
| 1.5        | Постановка задач роботи.....   |
| 2          | ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ.....                                 |
| 2.1        | Функціонально-вартісний аналіз конструктивних елементів.....                               |
| 2.2        | Визначення функціональних вимог до настінного аксесуара.....                               |
| 2.3        | Розробка концепції багатофункціонального аксесуара.....                                    |
| 2.4        | Комп'ютерне 3D-моделювання виробу.....   |
| 2.5        | Висновки за розділом.....  |
| 3          | ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....  |
| 3.1        | Вибір конструкційного матеріалу для FDM-друку.....   |
| 3.2        | Обґрунтування застосування поліпропілену.....  |
| 3.3        | Моделювання напружено-деформованого стану виробу методом МСЕ...                            |
| 3.4        | Технологія виготовлення виробу методом адитивного виробництва.....                         |
| 3.5        | Висновки за розділом.....  |
| 4          | ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....  |
| 4.1        | Оцінка вологостійкості та довговічності виробу в умовах експлуатації...                    |
| 4.2        | Виконання робіт з контролю якості.....   |
| 4.3        | Дослідження фізико-механічних характеристик виробу.....                                    |
| 4.4        | Висновки за розділом.....  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....   |  |
| ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА..... |  |

## Вступ

У сучасному інтер'єрному та промисловому дизайні приміщень з підвищеною вологістю (ванні кімнати, душові, пральні, лазні, медичні приміщення тощо) зростає потреба у практичних, довговічних та ергономічних настінних аксесуарах. Високі вимоги до волого- та термостійкості, хімічної інертності та гігієнічності обумовлюють необхідність використання нових конструкційних підходів і сучасних матеріалів, зокрема полімерів, які можна застосовувати в адитивному виробництві. Водночас споживчий попит на багатофункціональні вироби — ті, що поєднують декілька функцій в одному корпусі (сушарка, тримач, органайзер, кріплення для техніки) — продовжує зростати.

Основними проблемами при створенні таких виробів є забезпечення надійності конструкції в умовах постійного контакту з вологою, стійкість до деформацій і корозії, зручність монтажу та експлуатації, а також доцільність вибору матеріалу з точки зору функціональності, екологічності та вартості. З огляду на сучасні тенденції сталого розвитку та індивідуалізації побуту, актуальним є впровадження технологій 3D-друку (FDM) із використанням полімерів з низькою гігроскопічністю — таких як поліпропілен (PP), що забезпечує високу експлуатаційну надійність виробу.

Метою роботи є розробка конструкції багатофункціонального аксесуара та обґрунтування вибору матеріалу виготовлення з урахуванням експлуатаційних умов підвищеної вологості. Наукова та практична значущість теми полягає у створенні інноваційного, технологічного та адаптивного виробу, придатного для масового або індивідуального виготовлення, з можливістю персоналізації та використання в побутових і професійних умовах.

# РОЗДІЛ 1.

## АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

### 1.1 Сучасний стан розробки інтер'єрних виробів для вологих приміщень

Сьогодні інтер'єр для вологих приміщень, зокрема ванних кімнат, поєднує функціональність, естетику та інженерну досконалість. Спеціалісти у галузі дизайну та архітектури приділяють значну увагу створенню так званих вологих кімнат – універсальних рішень, які об'єднують комфорт, безпеку, довговічність і сучасний стиль. Це такі простори, де душева зона органічно інтегрується в рівень підлоги, без порогів або піддонів, забезпечуючи безбар'єрний доступ та оптимальне використання площі.

Ключовою вимогою до матеріалів для таких приміщень залишається вологостійкість. Завдяки прогресу в технологіях, ринок постійно поповнюється інноваційними матеріалами, конструкціями та дизайнерськими рішеннями. Віддається перевага багатошаровим композиційним матеріалам, загартованому склу, анодованому алюмінію, спеціальним полімерним складам, нержавіючій сталі та вологостійкому дереву, яке проходить спеціальну обробку.

Завдяки розвитку цифрових технологій та матеріалознавства, ринок інтер'єрних рішень постійно поповнюється інноваційними матеріалами та техніками виготовлення, серед яких усе більшого поширення набуває 3D-друк з високотехнологічних полімерів. Особливу увагу привертають термопластичні матеріали, зокрема поліпропілен (PP), PETG та нейлон, які демонструють високу стійкість до впливу вологи, температурних коливань та хімічних речовин .

У дизайні меблів для вологих приміщень усе більше уваги приділяється деталям: від конструктивних особливостей до монтажу. Наприклад, у ванних

кімнатах використовують спеціальні системи кріплення, які запобігають накопиченню вологи в з'єднаннях. Набувають популярності підвісні меблі, які спрощують прибирання і мінімізують контакт із водою. Також важлива якісна фурнітура з антикорозійним покриттям, адже навіть найкращі матеріали втрачають свої властивості за умов наявності слабких місць у конструкції.

Сучасні споживачі прагнуть унікальності у своїх просторах, тому виробники все частіше пропонують модульні системи й вироби з можливістю налаштування під конкретні вимоги клієнтів. Наприклад, меблі для ванних кімнат можуть мати змінні фасади, модулі з варіантами перестановки, вбудоване підсвічування чи інтегровану вентиляцію (рис. 1.1). З екологічного погляду, дедалі більше уваги приділяється використанню безпечних для здоров'я матеріалів і покриттів, які не виділяють шкідливих речовин під дією вологи та тепла. Стандарти якості й сертифікації, наприклад такі як E0/E1 (низький вміст формальдегіду), стали базовими у сфері виготовлення інтер'єрних виробів для таких приміщень.



Рисунок 1.1 – Шафа з вентиляційними отворами для стабілізації вологості

Не менш важливим є аспект інклюзивності – сучасний дизайн інтер'єру орієнтується на створення безбар'єрного середовища, включаючи зручні рішення для людей похилого віку або з обмеженою мобільністю. Це позначається на конструктиві виробів, зокрема у вигляді зручних ручок, безпечних кутів, протиковзких покриттів та елементів автоматизації (наприклад, відкривання шухляд чи дзеркал із підсвічуванням на сенсорному управлінні).

Сучасний стан розробки інтер'єрних виробів для вологих приміщень демонструє активну взаємодію між функціональністю, дизайном, технологіями та потребами кінцевого споживача. Це багатогранна галузь, яка продовжує динамічно розвиватися під впливом новітніх матеріалів, змін у стилі життя та глобальних вимог до сталого і комфортного середовища.

## **1.2 Характеристика умов експлуатації у середовищах з підвищеною вологістю**

Інтер'єрні вироби, призначені для приміщень з підвищеною вологістю потребують особливого підходу як до функціонального проектування, так і до вибору матеріалів. Ванні кімнати, душові, санвузли, пральні або кухні, характеризуються високим рівнем вологості, частим конденсатом, перепадами температур, а також регулярним впливом пари та води. Унаслідок цього матеріали, які використовуються в таких умовах, мають відповідати комплексу вимог, що охоплюють не лише фізико-механічні, а й хімічні, санітарно-гігієнічні та естетичні показники..

Вологе середовище створює підвищене навантаження на конструктивні елементи виробів. Перепади температури, конденсація, вплив пари й агресивне середовище засобів догляду – усе це вимагає від матеріалів виняткової стійкості. Окрім цього, вироби, що встановлюються на стінах (зокрема, полицки, тримачі, органайзери, дзеркала з функціональними доповненнями), повинні гармонійно інтегруватися в простір, не порушуючи

водонепроникності оздоблення, зберігаючи ергономічність та естетичну виразність.

Насамперед матеріал має бути вологостійким, не деформуватися при тривалому контакті з нею та зберігати свою структуру й зовнішній вигляд протягом тривалого часу. Важливою є також стійкість до конденсату та до багаторазових циклів зволоження і висихання. У вологому середовищі відбувається постійне коливання температури, що викликає термічне розширення матеріалів. Тому важливо, щоб матеріал був термостабільним і не зазнавав руйнувань чи тріщин унаслідок таких змін (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Вплив вологості середовища на деревину (утворення плісняви)

Ще одним важливим критерієм є стійкість до корозії. Якщо інтер'єрний виріб містить металеві елементи, вони повинні бути виготовлені з матеріалів, які не піддаються окисленню та не іржавіють навіть за умов прямого контакту з водою. Це стосується таких матеріалів, як нержавіюча сталь (особливо марка AISI 316, яка має підвищену стійкість до вологи), анодований алюміній або металеві сплави з антикорозійним покриттям. У разі неправильного вибору металу можливе не лише естетичне погіршення зовнішнього вигляду виробу, а й небезпека механічного руйнування [2].

Особливу роль відіграє і хімічна стійкість матеріалу. У вологих приміщеннях регулярно застосовуються мийні засоби, дезінфектори, косметика, шампуні, мило тощо, які можуть вступати в реакцію з поверхнею виробу. Матеріал повинен бути інертним до таких речовин, не змінювати колір, не утворювати плям чи осаду, не втрачаючи при цьому своїх декоративних і технічних властивостей. Оскільки користувачі очікують довготривалого збереження привабливого вигляду, хімічна стабільність матеріалу є критично важливою.

Важливо зазначити, що вибір матеріалів для вологих середовищ також має спиратися на відповідність встановленим стандартам, які регламентують умови експлуатації, гігієнічність, безпечність, стійкість до вологи, грибків, корозії та інших факторів. Одним із таких основоположних документів є ГОСТ 15150-69, який класифікує умови експлуатації виробів залежно від кліматичних факторів, зокрема вологості, температури, наявності конденсату. Згідно з цим стандартом, для вологих приміщень рекомендовано застосовувати обладнання категорій УХЛ (умови холодного клімату) або Т (тропічний клімат), з урахуванням додаткового захисту від корозії та вологи.

У контексті санітарії та довговічності важливо враховувати також ISO 846, що встановлює методи випробувань матеріалів на біологічну стійкість до дії грибків і бактерій. Це є критичним для приміщень з постійною вологістю, де існує ризик розвитку мікробіологічного забруднення.

Окрім функціональних якостей, інтер'єрні вироби мають відповідати гігієнічним вимогам. Матеріал не повинен утримувати вологу або сприяти розвитку плісняви, грибків чи бактерій. Ідеальним вважається гладка, щільна, непориста поверхня, яку легко очищати без застосування агресивних хімікатів. У деяких випадках доцільним є використання матеріалів із антибактеріальними властивостями або спеціальними захисними покриттями, які зменшують ризик біологічного забруднення.

Не менш значущим критерієм є екологічна безпека матеріалу. В умовах постійної вологості деякі матеріали можуть виділяти шкідливі речовини,

особливо під впливом температури. Тому при виборі сировини важливо орієнтуватися на наявність відповідних сертифікатів, які підтверджують низький рівень емісії (наприклад, клас E0 або E1 за вмістом формальдегіду у деревинно-стружкових плитах). Також вітається застосування перероблених матеріалів або тих, що мають тривалий життєвий цикл без шкоди для довкілля.

Естетична складова також залишається невід'ємною частиною вибору. Сучасні інтер'єри тяжіють до мінімалізму, чистих ліній, природних текстур та нейтральної палітри. Матеріал має не лише витримувати умови експлуатації, але й візуально відповідати загальній стилістиці приміщення. Популярними виборами є матові поверхні, гладке загартоване скло, структурований метал, дерево з ламінованим або акриловим покриттям, кольорові композити. Матеріали повинні мати можливість фінішної обробки, яка зберігатиме стабільний зовнішній вигляд протягом усього періоду використання.

### **1.3 Аналіз існуючих конструкцій багатофункціональних настінних аксесуарів**

Сучасний підхід до облаштування приміщень із підвищеною вологістю приділяє значну увагу багатофункціональним настінним аксесуарам. Вони виконують роль не лише декоративних чи допоміжних елементів інтер'єру, а й сприяють ефективному використанню обмеженого простору, підвищують комфорт і спрощують підтримання порядку.

Розгляньмо головні типи таких аксесуарів, які поширені у вологих приміщеннях та мають найбільшу практичну користь.

Одним із провідних конструктивних підходів є поєднання декількох функцій в одному виробі. Наприклад, дзеркало може слугувати одночасно шафкою, мати вбудоване LED-підсвічування та спеціальне антипарове покриття (рис. 1.3). Це дозволяє зменшити кількість елементів інтер'єру, збережучи водночас їх функціональність та естетику. Інший приклад —

настінна полиця, оснащена рейлінгом для рушників, гачками для халатів, магнітними чи прихованими тримачами для косметики або навіть контейнером із дозатором для мила чи антисептика [3]. Такі аксесуари зазвичай відрізняються простою установкою без свердління (наприклад, на клей чи присоски) і безпечні у використанні у вологих умовах.



Рисунок 1.3 – Настінне дзеркало з підсвіткою та антипаровим покриттям

Інтегровані настінні органайзери також є популярним рішенням, оскільки дозволяють розміщувати необхідні дрібниці – косметику, зубні щітки, електробритви — в одному місці, часто із передбаченим відведенням води та вентиляцією, щоб уникнути накопичення вологи. Для виготовлення таких виробів використовуються вологостійкі полімери, загартоване скло, анодований алюміній або нержавіюча сталь. Часто у виробках поєднуються

кілька матеріалів, що дозволяє оптимізувати як технічні, так і декоративні характеристики аксесуара (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Органайзер для ванної кімнати

Варто зазначити, що одним із ключових напрямів розвитку конструкцій багатофункціональних настінних аксесуарів є їх адаптивність та персоналізація. Такі модульні системи дозволяють користувачам самостійно змінювати конфігурацію: переміщувати полиці, додавати гачки, інтегрувати світильники чи навіть розетки для електроприладів (рис. 1.5). Це особливо корисно в урбаністичних інтер'єрах, де кожен сантиметр простору має велике значення.

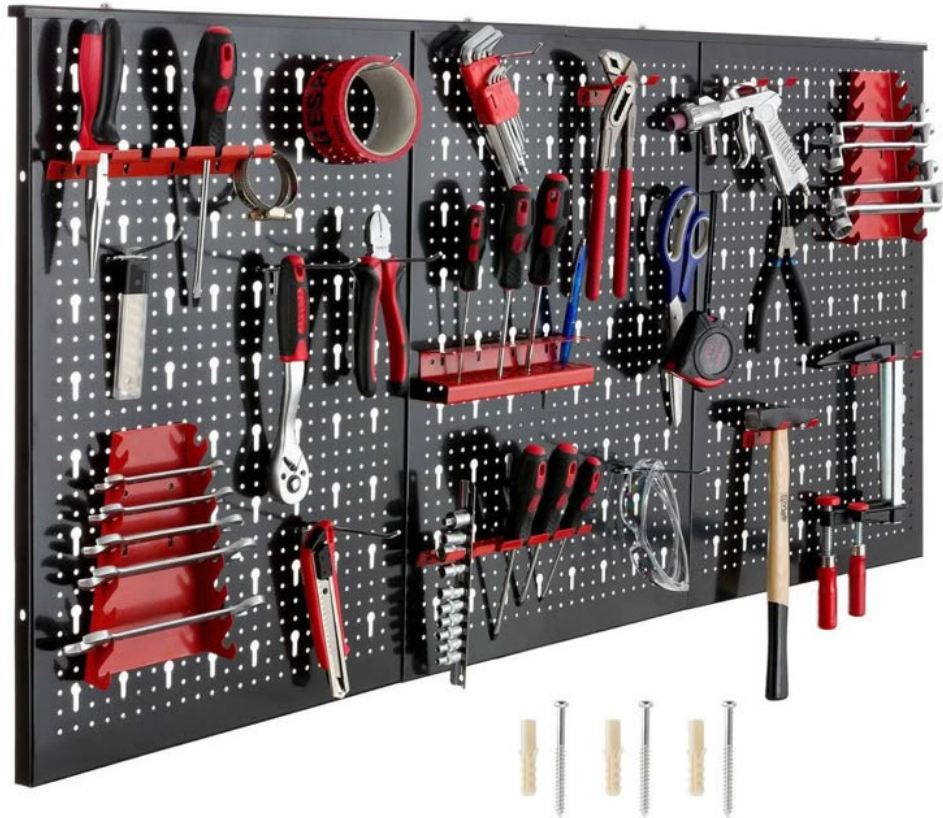


Рисунок 1.5 – Універсальний настінний органайзер

Загалом, багатофункціональні настінні аксесуари вирізняються здатністю вирішувати низку завдань – від зберігання і гігієни до освітлення та вентиляції. Цей підхід задає новий стандарт у дизайні аксесуарів для ванних кімнат та інших вологих приміщень, орієнтуючись на гармонійне поєднання функціональності із взаємодією користувача в реальному життєвому просторі.

#### **1.4 Огляд матеріалів, що застосовуються для виготовлення аксесуарів у вологому середовищі**

У процесі розробки багатофункціонального настінного аксесуара для приміщень з підвищеною вологістю варто вибрати правильний матеріал, який буде здатний витримувати специфічні умови експлуатації. Ці умови включають постійну присутність вологи, перепади температур, вплив пари та

агресивних мийних засобів, тож матеріали повинні бути не лише вологостійкими, але й довговічними, гігієнічними та естетично привабливими.

Одним із найпоширеніших матеріалів для виготовлення аксесуарів у вологих середовищах є нержавіюча сталь. Цей матеріал відомий своєю стійкістю до корозії, механічною міцністю та довговічністю. Особливо популярною є марка AISI 304, яка забезпечує оптимальний баланс між вартістю та експлуатаційними характеристиками. Нержавіюча сталь легко очищується, не піддається впливу вологи та зберігає свій вигляд протягом тривалого часу. Нержавіюча сталь є одним із найкращих виборів для ванних аксесуарів завдяки своїй довговічності та стійкості до корозії (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Підставка для рушників з нержавіючої сталі

Кераміка є класичним матеріалом для виготовлення мильниць, стаканів для зубних щіток, дозаторів для мила тощо. Вона має гладку, непористу

поверхню, яка не вбирає вологу та легко очищується, що робить її ідеальним варіантом для гігієнічного середовища. Сучасні керамічні аксесуари проходять етап глазурування, що додає їм додаткову міцність і захист від подряпин. Однак недоліком кераміки є її крихкість – у разі удару вона може тріснути або розбитися, тому потребує обережного поводження, особливо в громадських просторах або у квартирах із дітьми (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Керамічна поличка в душову кімнату

Скло, особливо загартоване, застосовується для створення стильних аксесуарів, які поєднують мінімалістичну естетику з високою функціональністю. Загартоване скло має підвищену міцність, стійкість до температурних перепадів і механічних навантажень [4]. Воно не піддається впливу вологи, не вицвітає, не вступає у хімічну реакцію із засобами гігієни. Скляні полички, мильниці, декоративні вставки мають сучасний вигляд і підходять до інтер'єрів у стилі хай-тек, скандинавському або мінімалізмі.

Недоліком є вразливість до ударів і відносно висока вартість у порівнянні з пластиковими аналогами (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Полиці зі скла та кріплень з нержавіючої сталі

Деревина, незважаючи на свою природну крихкість у вологому середовищі, залишається популярною у дизайнерських рішеннях завдяки своїй естетичній виразності та здатності створювати затишну атмосферу в інтер'єрі (рис. 1.9). Для використання у вологих умовах деревина повинна бути попередньо оброблена спеціальними захисними складами. Найпоширенішим методом є глибоке просочення антисептичними розчинами на водній або масляній основі, які проникають у структуру деревини та забезпечують її стійкість до біологічного ураження (грибків, цвілі, комах). Зокрема, ефективно себе зарекомендували засоби на основі бору, мідного купоросу або четвертинних амонієвих сполук.

Окрім антисептичного просочення, деревину додатково обробляють гідрофобізуючими агентами – силіконовими імпрегнатами або восковими емульсіями, які створюють водовідштовхувальний бар'єр. Для зовнішнього шару застосовуються вологостійкі поліуретанові, акрилові або алкідні лаки,

які утворюють захисну плівку, стійку до стирання, води та побутової хімії. Альтернативним варіантом є використання натуральних або модифікованих олій (наприклад, тунгової або лляної), які глибоко проникають у деревину та створюють еластичне покриття з водостійкими властивостями.



Рисунок 1.9 – Дерев'яна полиця

Пластикові матеріали, зокрема ABS-пластик, поліпропілен (PP) та полікарбонат, активно використовуються у виготовленні ванних аксесуарів завдяки їхній вологостійкості, легкості, низькій собівартості та простоті формування. Сучасні полімери мають додаткові захисні покриття, що запобігають вицвітанню, пожовтінню та пошкодженню поверхні від мийних засобів. Завдяки широкому спектру кольорів і текстур пластик дозволяє втілювати оригінальні дизайнерські рішення.

Особливу перспективу для виготовлення пластикових аксесуарів відкривають адитивні технології – 3D-друк. Використання FDM- або SLA-принтерів дає змогу створювати індивідуалізовані аксесуари з високим рівнем деталізації та ергономічності. Одним із полімерів, що дедалі частіше використовується в 3D-друці для вологих умов, є поліпропілен (PP). Цей матеріал має унікальне поєднання властивостей, яке дозволяє йому зберігати стабільність під дією вологи, температурних змін і хімічних речовин. Його хімічна інертність запобігає поглинанню вологи, а гнучкість у поєднанні з ударостійкістю робить його придатним для виробів, що зазнають механічного

навантаження або встановлюються у місцях з високим ризиком падіння предметів.

Завдяки тому, що PP не тріскається при деформації та не втрачає кольору, його вироби залишаються функціональними й привабливими навіть після тривалого використання у вологому середовищі. Крім того, поліпропілен є одним із найлегших термопластів, що знижує навантаження на кріплення аксесуара, а його перероблюваність робить матеріал екологічно привабливим вибором (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Пластикова надрукована полиця для ванни

Вибір матеріалу для багатофункціонального настінного аксесуара повинен базуватися на комплексному врахуванні функціональних потреб, умов експлуатації, естетичних вимог та екологічних чинників. Кожен із описаних матеріалів має свої переваги та обмеження, а їх поєднання у межах одного виробу може стати оптимальним рішенням для досягнення балансу між довговічністю, вартістю та візуальною привабливістю.

## 1.5 Постановка задач роботи

У межах кваліфікаційної роботи виконано огляд сучасного стану інтер'єрних рішень для вологих приміщень, проаналізовано вимоги до конструкцій, матеріалів та експлуатаційних умов, а також окреслено напрямки вдосконалення існуючих виробів. На підставі проведеного аналізу сформульовано комплекс основних завдань, які реалізуються в межах дослідження:

1. Провести огляд сучасних конструкцій настінних аксесуарів для ванних кімнат та інших вологих приміщень, визначити їхні функціональні характеристики, переваги й обмеження.

2. Обґрунтувати вимоги до матеріалів, що використовуються у вологих середовищах, із урахуванням гігієнічності, волого- та термостійкості, екологічності, зносостійкості та здатності до переробки.

3. Розробити концепцію багатофункціонального настінного аксесуара, що включає можливість адаптації під індивідуальні потреби користувача, модульність, зручність монтажу та простоту очищення.

4. Виконати підбір оптимального матеріалу з урахуванням технічних вимог до експлуатації у вологому середовищі, можливості виробництва методом 3D-друку та відповідності стандартам екологічної безпеки (наприклад, класам емісії E0/E1).

5. Побудувати тривимірну модель виробу у програмному середовищі Autodesk Fusion 360 або аналогічному ПЗ, що дозволяє враховувати ергономіку та інженерні обмеження виробництва.

6. Розробити інженерно-конструкторську документацію для виготовлення аксесуара та провести базовий техніко-економічний аналіз проєкту з оцінкою витрат на матеріали та виробництво, з урахуванням малосерійної реалізації.

7. Запропонувати рекомендації щодо використання аксесуара в інтер'єрах ванних кімнат різного типу, а також можливі сценарії

масштабування чи комерціалізації виробу з орієнтацією на сталий розвиток та індивідуальні запити споживачів.

## РОЗДІЛ 2.

# ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

### 2.1 Функціонально-вартісний аналіз конструктивних елементів

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) є ефективним інструментом системного інженерного підходу до оцінки доцільності застосування окремих конструктивних елементів з точки зору їх функціонального призначення, вартості виготовлення, технічної складності та експлуатаційної ефективності. Такий аналіз дає змогу оптимізувати конструкцію виробу, знизити витрати на виготовлення без втрати його функціональної спроможності, а також обґрунтовано приймати рішення щодо вдосконалення або модифікації окремих вузлів.

Об'єктом аналізу виступає модульний настінний аксесуар для ванного простору, виготовлений методом FDM-друку з поліпропілену. Конструкція містить ряд елементів з різними функціональними навантаженнями, до яких належать: основна опорна панель, монтажні вушка, функціональні модулі (відсіки для зберігання), тримач фена.

Функціональна роль опорної панелі полягає у забезпеченні жорсткого кріплення до вертикальної площини стіни, а також сприйнятті навантаження від решти модулів. Її функціональна значущість є високою, адже вона визначає несучу здатність усього виробу, а вартість виготовлення перебуває в межах середньої — зважаючи на великі габарити, але просту геометрію.

Кріпильні вушка мають високу важливість через безпосередню участь у фіксації виробу. Вони є малогабаритними елементами, і витрати на їх виготовлення мінімальні, отже, їх функціонально-вартісна ефективність вважається високою [5].

Функціональні модулі (відсіки для зберігання шампунів, бальзамів, інших засобів гігієни) виконують ключову роль у забезпеченні цільового

призначення виробу. Проте їх виготовлення потребує значного об'єму матеріалу і складнішої геометрії з додатковими внутрішніми порожнинами. Це зумовлює підвищену собівартість виготовлення, що дещо знижує співвідношення «функція–вартість» у порівнянні з іншими елементами.

Тримач фена має високу функціональну значущість, оскільки забезпечує зручне й безпечне розміщення електроприладу у вертикальному положенні. При цьому геометрія тримача є помірно складною, а вартість матеріалу — помірною, тому ефективність його застосування є задовільною.

Проведений аналіз дозволяє виділити конструктивні елементи, які мають високий потенціал до оптимізації або спрощення, зокрема масивні відсіки для зберігання, які можна реалізовувати за модульним принципом або адаптувати під фактичні потреби користувача. Натомість функціонально значущі елементи з низькою вартістю, як-от кріпильні вузли, мають бути збережені в повному обсязі. Отримані висновки створюють основу для техніко-економічного удосконалення конструкції на наступних етапах розробки та підвищення її рентабельності у серійному виготовленні.

## **2.2 Визначення функціональних вимог до настінного аксесуара**

Сучасні вимоги до побутових аксесуарів, призначених для експлуатації у приміщеннях з підвищеною вологістю (ванні кімнати, санвузли, пральні тощо), формуються на перетині кількох ключових чинників: функціональність, вологостійкість, ергономіка, довговічність та технологічність виготовлення. У таких умовах настінний багатофункціональний аксесуар має виконувати роль організаційного центру — водночас служити місцем для зберігання предметів гігієни, фіксації електроприладів (фена, тримера), утримання рушників, засобів догляду тощо.

Ключовою особливістю конструкції є її здатність зберігати геометричну стабільність у середовищах з високою відносною вологістю (до 90–100%), забезпечуючи при цьому достатню механічну міцність та естетичний вигляд

протягом тривалого періоду експлуатації. Конструктивна основа аксесуара повинна бути жорсткою, але при цьому легкою, міцною та адаптивною до різних конфігурацій приміщення. Значну роль відіграє модульність — можливість змінювати кількість і розташування функціональних блоків відповідно до потреб користувача [6].

До основних функціональних вимог до такого виробу належать:

Стійкість до вологи та хімічних реагентів. Матеріал та форма аксесуара повинні запобігати поглинанню вологи, корозії або розтріскуванню внаслідок частого контакту з водяною парою, краплями води та побутовими мийними засобами.

Функціональне зонування. Конструкція має включати відсіки, полицки, тримачі, що дозволяють зручно та безпечно розміщувати предмети різної маси та розмірів.

Механічна стабільність. Виріб повинен витримувати локальні динамічні навантаження (наприклад, установку фена чи шампуню) без деформацій або розхитування.

Оптимізація маси. Зменшення ваги аксесуара важливе з точки зору зручності монтажу, зменшення навантаження на кріпильні елементи та зниження собівартості виготовлення.

Естетика та адаптація до інтер'єру. Поверхня має бути рівною, гігієнічною, стійкою до забруднення, кольорово стабільною при експлуатації у вологому середовищі.

Технологічність виготовлення. Конструкція повинна бути придатною для серійного або індивідуального виготовлення методом FDM-друку, що вимагає обмеження складної геометрії, мінімізації підвісів і оптимального використання матеріалу.

Для оцінки доцільності застосування та вдосконалення окремих компонентів конструкції багатофункціонального настінного аксесуара було проведено функціонально-вартісний аналіз. Метою аналізу є встановлення відповідності між функціональною значущістю елементів виробу та їх

вартісною часткою у загальній структурі витрат. Це дозволяє виявити елементи з низькою ефективністю (тобто такі, що мають невисоку функціональну значимість при високій вартості реалізації) і, навпаки, визначити конструктивно важливі вузли з мінімальними витратами.

На основі структурного аналізу конструкції аксесуара були виділені ключові елементи та функції, які вони реалізують. Їх узагальнено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Елементи конструкції аксесуара та їх функції

| Елементи   |                      | Функції            |   |
|------------|----------------------|--------------------|---|
| Позначення | Назва елемента       | Позначення функції | Опис функції  |
| $E_0$      | Основа аксесуара     | $\Phi_0$           | Забезпечення загальної цілісності, жорсткості та кріплення до стіни |
| $E_1$      | Контейнери / відсіки | $\Phi_1$           | Зберігання побутових предметів, засобів гігієни, електроприладів    |
| $E_2$      | Тримач для фена      | $\Phi_2$           | Фіксація фена у безпечному положенні, зручність доступу             |
| $E_3$      | Кріпильні елементи   | $\Phi_3$           | Механічне з'єднання виробу з вертикальною поверхнею                 |

|       |                              |          |   |
|-------|------------------------------|----------|---|
| $E_4$ | Водовідвідні/дренажні отвори | $\Phi_4$ | Запобігання накопиченню вологи, зниження ризику розвитку мікробіологічного середовища |
|-------|------------------------------|----------|---|

Для кожного з виділених елементів було оцінено відносну функціональну значимість (%), частку вартості (%), яку він формує в загальній структурі виробу, та розраховано коефіцієнт ефективності як відношення значимості до вартості. Отримані результати наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значимість, вартість та ефективність елементів

| Елемент              | Функція  | Значимість,<br>% | Вартість,<br>% | Ефективність |
|----------------------|----------|------------------|----------------|--------------|
| Основа аксесуара     | $\Phi_0$ | 35               | 30             | 1.17         |
| Контейнери / відсіки | $\Phi_1$ | 30               | 35             | 0.86         |
| Тримач для фена      | $\Phi_2$ | 15               | 15             | 1.00         |
| Кріпильні елементи   | $\Phi_3$ | 10               | 5              | 2.00         |
| Дренажні отвори      | $\Phi_4$ | 10               | 5              | 2.00         |

Аналіз показав, що найбільшу ефективність мають кріпильні елементи та дренажні отвори – при невисокій собівартості вони виконують критично важливі функції з точки зору монтажу та вологостійкості. Основа аксесуара має високу значимість і відносно помірну вартість, що свідчить про її оптимальність у поточному вигляді. Натомість контейнери / відсіки, незважаючи на свою важливу роль у забезпеченні функціональності, є відносно вартісними елементами конструкції через більший обсяг матеріалу

та складність виготовлення. Це вказує на доцільність подальшої оптимізації їхньої геометрії або реалізацію модульного підходу до компоновання.

Загалом результати функціонально-вартісного аналізу підтверджують доцільність обраної структури аксесуара та дозволяють сформулювати рекомендації щодо техніко-економічної оптимізації конструкції на подальших етапах розробки.

### 2.3 Розробка концепції багатofункціонального аксесуара

Розробка концепції багатofункціонального настінного аксесуара для приміщень із підвищеною вологістю є вихідним етапом інженерного проектування, що передбачає формулювання функціональних вимог, обґрунтування конструктивної архітектури виробу, а також вибір матеріалу виготовлення з урахуванням умов експлуатації.



Рисунок 2.1 – Органайзер для ванної кімнати

Особливістю виробів, призначених для використання у вологому середовищі, є необхідність одночасного забезпечення механічної надійності,

стійкості до впливу вологи, побутової хімії, а також збереження гігієнічності й геометричної стабільності протягом усього строку служби. Ці вимоги зумовлюють потребу в комплексному підході до проектування, який поєднує ергономічні, техніко-функціональні та матеріалознавчі аспекти.



Рисунок 2.2 – Настінний органайзер для ванної кімнати

На початковій стадії було виконано аналіз експлуатаційних умов, у яких передбачається використання виробу [7]. Аксесуар призначено для монтажу в середовищах із підвищеним рівнем відносної вологості (90–100 %), зокрема у ванних кімнатах, санвузлах, пральнях, технічних приміщеннях тощо. За таких умов матеріал і конструкція виробу мають забезпечувати стійкість до корозії, гідролізу, деформацій внаслідок вологопоглинання, а також опір дії мийних засобів на основі кислот, лугів чи спиртів.

З урахуванням цього було сформульовано перелік основних технічних вимог до виробу:

- забезпечення зручного, компактного та надійного зберігання засобів особистої гігієни, побутових дрібних предметів та електроприладів;
- стійкість до тривалого контакту з водяною парою, конденсатом, краплями води та побутовою хімією;

- здатність витримувати локальні імпульсні навантаження, що виникають під час розміщення або вилучення предметів;
- наявність водовідвідних елементів (дренажних отворів або зон зниженого збирання вологи) для запобігання застою рідини;
- збереження просторової жорсткості та геометричної стабільності за умов циклічних навантажень і змін мікроклімату.

Для реалізації зазначених вимог було запропоновано концепцію модульного настінного аксесуара, що передбачає використання уніфікованих конструктивних елементів, які можна адаптувати до конкретних умов встановлення. Основними елементами конструкції є:

- центральна основа з отворами для вертикального настінного монтажу;
- контейнерний блок для зберігання засобів гігієни та косметики;
- боковий тримач для фена або інших приладів циліндричної форми;
- додаткові симетричні й асиметричні бокові модулі для розміщення аксесуарів;
- посилене нижнє ребро, яке сприймає основне монтажне навантаження;
- інтегровані дренажні отвори, які запобігають накопиченню вологи в контейнерах.

Для перевірки працездатності запропонованого рішення було створено тривимірну модель конструкції у CAD-середовищі, яку згодом проаналізовано методом кінцевих елементів у модулі Static Structural програмного комплексу ANSYS Workbench 2019 R3. У моделі було встановлено граничні умови типу Fixed Support у зонах фіксації до стіни, а також прикладено навантаження величиною 200 Н, яке імітує сукупну дію маси засобів гігієни, фена, косметики та динамічних зусиль користувача під час експлуатації. Отримані результати стали основою для попереднього підтвердження ефективності запропонованої конструкції та обраного матеріалу.

## 2.4 Комп'ютерне 3D-моделювання виробу

Розробка тривимірної моделі багатофункціонального настінного аксесуара здійснювалася у ліцензійному середовищі SolidWorks, що є одним із найпоширеніших CAD-інструментів для параметричного моделювання. Процес побудови був реалізований у вигляді послідовності операцій, що охоплюють етапи ескізування, об'ємного формоутворення, розгалуження структури, інтеграції функціональних модулів і підготовки до подальшого аналізу.

Проектування розпочато з побудови ескізу прямокутної основи із заокругленими кутами (скругленням  $R = 10$  мм) у фронтальній площині. Далі ескіз було використано в операції Extruded Boss/Base для створення основного контейнера висотою 100 мм. Товщина стінки задавалася на рівні 5 мм із урахуванням технологічних можливостей FDM-друку.

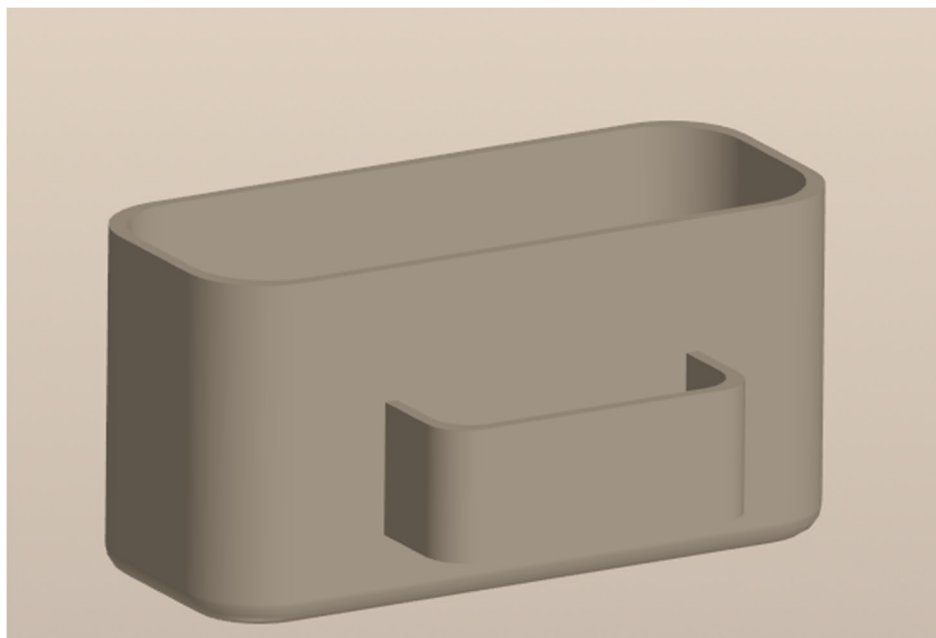


Рисунок 2.3 – Етап побудови багатофункціонального аксесуара

У наступному етапі створено отвори для кріплення діаметром 6 мм методом Cut-Extrude у верхній зоні задньої стінки. Далі реалізовано бокові циліндричні тримачі — по обидва боки аксесуара, з допомогою операцій Boss-

Extrude з прив'язкою до зовнішніх граней та відповідним наскрізним висвердленням (опція Thin Feature для контролю товщини).

Один із тримачів було спроектовано з урахуванням розміщення фена (діаметр  $\sim 70$  мм), інший — для меншого флакона (діаметр  $\sim 50$  мм). Їхня вісь зміщена по вертикалі задля зменшення моменту від навантаження [8].

У фронтальній площині аксесуара створено виступаючий нижній тримач, який сформовано за допомогою Sketch + Boss-Extrude + Fillet. Форма U-подібна, призначена для зберігання зубної пасти або мильниці.

Після цього в нижній частині контейнера виконано вставки дренажних прорізів (операція Cut-Extrude) з еліптичним перетином для виведення вологи. Вони розташовані з рівномірним кроком уздовж дна для запобігання застою рідини.

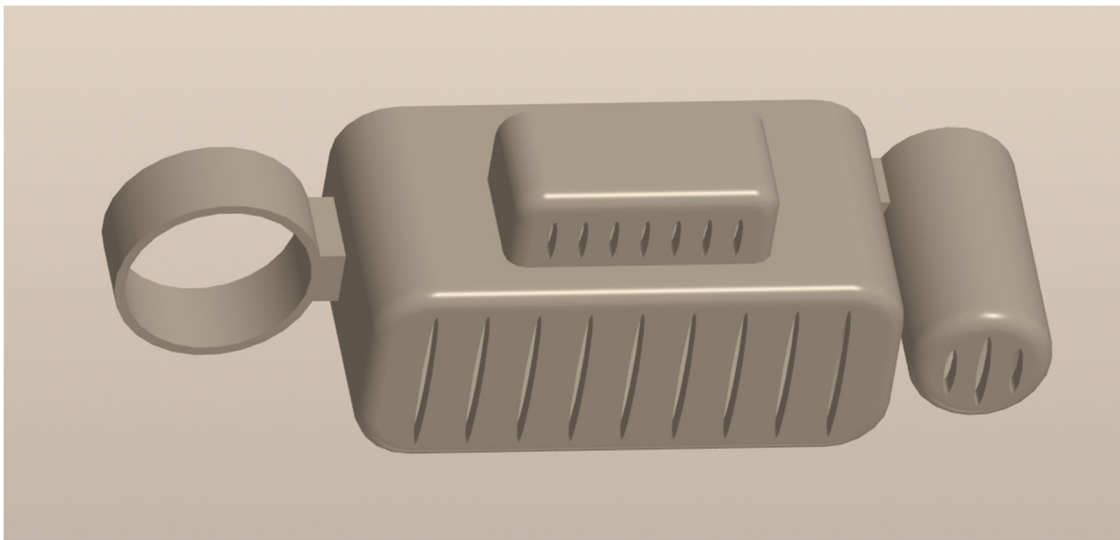


Рисунок 2.4 – Етап побудови багатофункціонального аксесуара

На завершальному етапі модель оброблено засобами Fillet і Chamfer з радіусами 1,5–3 мм у зонах контакту з руками користувача для підвищення ергономіки та зниження травмонебезпечності. Особливу увагу приділено внутрішнім радіусам тримачів і краям монтажних отворів.

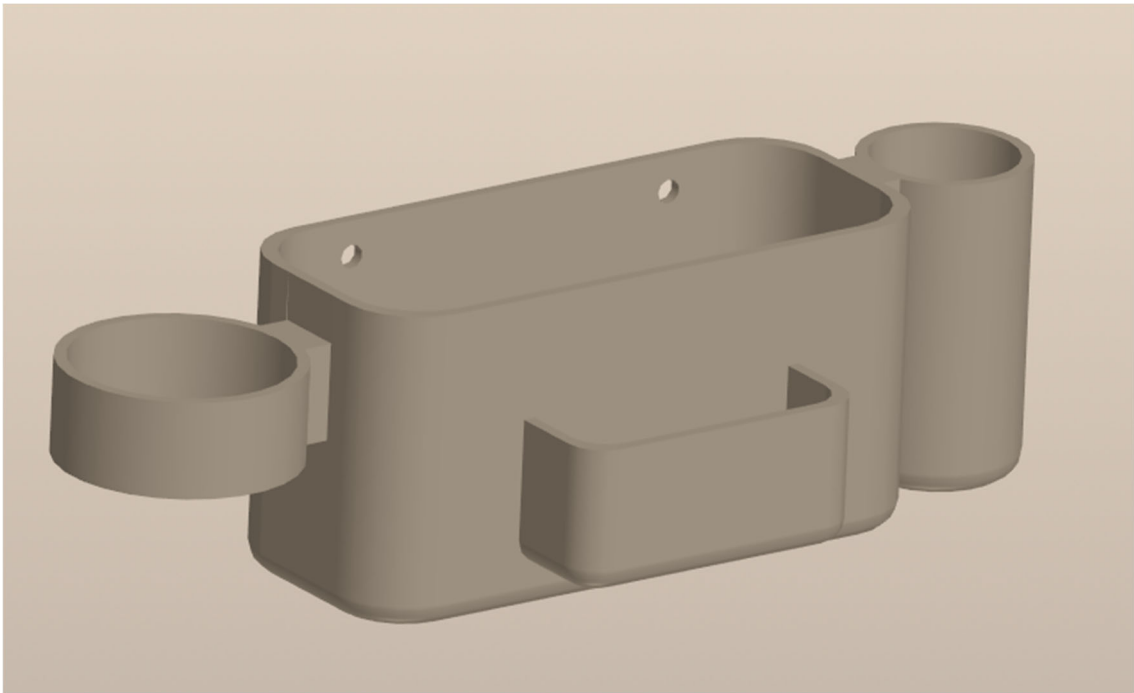


Рисунок 2.5 – Фінальний вигляд багатофункціонального аксесуара

Після завершення геометричного моделювання виріб було збережено у форматі .SLDPRT, а також експортовано у .STEP та .STL для подальшого імпорту до середовища ANSYS для виконання структурного аналізу, а також у слайсер-програму для 3D-друку.

## 2.5 Висновки за розділом

У межах розділу було проведено функціонально-вартісний аналіз конструктивних елементів багатофункціонального настінного аксесуара для приміщень із підвищеною вологістю. Аналіз заснований на визначенні співвідношення між функціональною значущістю кожного елемента конструкції та витратами, пов'язаними з його виготовленням. Такий підхід дозволив комплексно оцінити ефективність окремих елементів та сформувавши підґрунтя для подальшої оптимізації виробу.

За результатами аналізу встановлено, що найбільш ефективними з погляду функціонально-вартісного співвідношення є кріпильні елементи та дренажні отвори. Вони виконують критично важливі функції для забезпечення

монтажної стабільності та вологостійкості при мінімальних витратах матеріалу та обробки. Основна частина аксесуара, яка забезпечує конструкційну жорсткість і цілісність, також демонструє високу ефективність і є оптимальною за рівнем витрат.

Натомість контейнери/відсіки, попри високу функціональну значущість, мають підвищену вартість реалізації, що знижує їхню ефективність. Це зумовлено більш складною геометрією, потребою у більшому об'ємі матеріалу та збільшеним часом друку. Відповідно, доцільним є впровадження принципу модульності, що дозволяє адаптувати кількість та форму відсіків до конкретних потреб користувача, а також спрощення їх внутрішньої структури для зниження витрат на виготовлення.

Проведений ФВА довів доцільність обраної загальної конструктивної схеми аксесуара, підтвердив необхідність збереження високоефективних базових елементів (опори, кріплення, дренажу), та виявив потенціал для подальшого вдосконалення формотворення найбільш ресурсозатратних вузлів. Таким чином, результати аналізу створюють передумови для подальшого техніко-економічного удосконалення конструкції виробу з урахуванням сучасних вимог до багатофункціональних побутових аксесуарів, орієнтованих на виготовлення методом FDM-друку.

## РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 3.1 Вибір конструкційного матеріалу для FDM-друку

У процесі розробки багатофункціонального настінного аксесуара, призначеного для експлуатації у вологих середовищах (ванні кімнати, санвузли, побутові технічні зони), ключовим етапом є обґрунтування вибору конструкційного матеріалу. Враховуючи, що виготовлення виробу передбачається методом FDM-друку, до матеріалу висувається комплекс вимог, який охоплює як фізико-хімічні, так і технологічні характеристики.

Полімери, які застосовуються для тривимірного друку, є класом термопластичних матеріалів, що характеризуються можливістю багаторазового плавлення без суттєвої деградації структури. Для експлуатації в умовах підвищеної вологості конструкційний матеріал має відповідати таким критеріям:

- Низька гігроскопічність — здатність протистояти поглинанню вологи, що запобігає деформаціям і втраті функціональності;
- Стійкість до гідролізу — важлива при контакті з водою, мийними засобами або водяною парою;
- Хімічна інертність — опір впливу побутових кислот, лугів, солей, миючих компонентів;
- Термостійкість — збереження розмірної стабільності при температурних коливаннях;
- Механічна міцність та жорсткість — здатність витримувати навантаження, зокрема, у точках кріплення чи під вагою побутових предметів;
- Адгезія між шарами при друці — забезпечення цілісності структури виробу після виготовлення.

Серед найбільш розповсюджених FDM-сумісних матеріалів, що можуть бути використані для виготовлення настінного аксесуара, доцільно виділити наступні:

PLA (полілактидна кислота) — біополімер із низькою температурою друку та гарною жорсткістю, однак має високу гігроскопічність і низьку термостійкість, що обмежує його застосування у вологому середовищі.

ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол) — аморфний термопластик із високою ударною в'язкістю і стійкістю до температур, однак схильний до деформацій під час друку й має порівняно високу гігроскопічність.

PETG (гліколь-модифікований поліетилентерефталат) — термопластик із хорошим балансом між гнучкістю, міцністю й вологостійкістю. Має стабільну адгезію між шарами й відносно низьку гігроскопічність, що робить його придатним для вологих умов.

ASA (акрилонітрил-стирол-акрилат) — термостійкий полімер з підвищеною стійкістю до УФ-випромінювання, що має високу стабільність форми та довговічність, проте потребує закритої камери друку та вентиляції.

PC (полікарбонат) — інженерний термопластик із надзвичайною міцністю та термостійкістю, але складний у друці через високу температуру плавлення та усадку.

PP (поліпропілен) — легкий, хімічно стійкий матеріал із дуже низьким водопоглинанням, але потребує спеціального обладнання для забезпечення адгезії до платформи та стабільного друку [9].

З позицій експлуатаційної доцільності для проєкту, що передбачає функціонування у вологому мікрокліматі, найбільш перспективними є PETG, ASA та PP. Ці матеріали поєднують волого- та хімічну стійкість із достатньою механічною міцністю, термостабільністю та придатністю до FDM-друку. Кінцевий вибір матеріалу залежатиме від співвідношення вартості, складності друку та вимог до довговічності виробу.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця полімерних матеріалів PETG, ASA та PP

| <b>Критерій</b>                            | <b>PETG</b>                                 | <b>ASA</b>   | <b>PP (поліпропілен)</b>  |
|--|---|--|---|
| <b>Гігроскопічність</b>                    | Низька<br>( $\approx 0.2$ –<br>0.3%)        | Дуже низька  | Дуже низька<br>( $\approx 0.01\%$ )                                   |
| <b>Хімічна стійкість</b>                   | Висока<br>(стійкий<br>до кислот<br>і лугів) | Висока (особливо<br>до УФ та<br>атмосферних<br>чинників)       | Дуже висока<br>(стійкий до<br>більшості хімікатів)                    |
| <b>Термостійкість<br/>(Tg)</b>             | $\sim 80$ °C                                | $\sim 95$ – $105$ °C   | $\sim 0$ – $10$ °C (низьке<br>склування, але добра<br>експлуатаційна) |
| <b>Механічна<br/>міцність</b>              | Добра                                       | Дуже добра   | Помірна (гнучкий,<br>але менш жорсткий)                               |
| <b>Стійкість до УФ-<br/>випромінювання</b> | Середня                                     | Висока<br>(спеціалізований<br>для зовнішнього<br>використання) | Низька  |
| <b>Складність друку</b>                    | Легка–<br>середня                           | Середня (потрібна<br>закрита камера,<br>вентиляція)            | Висока (низька<br>адгезія до<br>платформи, велика<br>усадка)          |
| <b>Адгезія між<br/>шарами</b>              | Висока                                      | Висока   | Низька без<br>модифікацій   |
| <b>Жорсткість</b>                          | Висока                                      | Висока   | Низька–середня  |
| <b>Гнучкість /<br/>ударна в'язкість</b>    | Добра                                       | Добра  | Висока (стійкий до<br>ударів і деформацій)                            |
| <b>Біологічна<br/>інертність</b>           | Добра                                       | Добра  | Відмінна<br>(використовується в                                       |

|  |  |  |                              |
|--|--|--|------------------------------|
|  |  |  | харчовій та медичній сферах) |
|--|--|--|------------------------------|

Далі буде детально розглянуто матеріал, що обраний як основний для виготовлення настінного аксесуара, з урахуванням практичного досвіду, доступності матеріалу та можливостей технологічної реалізації.

### 3.2 Обґрунтування застосування поліпропілену

Поліпропілен (PP) є термопластичним полімером, що активно застосовується в побутовій, медичній та хімічній промисловості завдяки своїм хімічним, фізико-механічним і технологічним властивостям. У контексті створення настінного багатофункціонального аксесуара для приміщень з підвищеною вологістю, вибір поліпропілену як матеріалу для адитивного виробництва методом FDM є технічно обґрунтованим з кількох ключових причин.

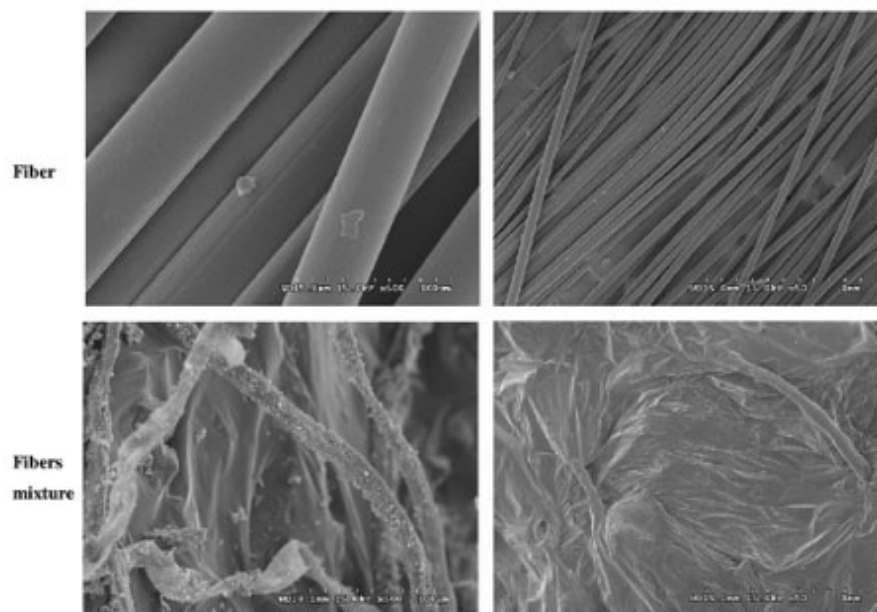


Рисунок 3.1 – Мікроструктури SEM для поліпропіленового волокна та суміші ВОЛОКОН

1. Хімічна та вологозахисна стійкість. Поліпропілен має практично нульову гігроскопічність (менше 0.01%), тобто не вбирає вологу з навколишнього середовища, навіть за умов підвищеної вологості (90–100%). Це дозволяє зберігати його геометричну стабільність та механічні характеристики протягом тривалого часу в умовах експлуатації у ванних кімнатах, кухнях, пральнях тощо.

Крім того, матеріал демонструє високу хімічну стійкість до дії кислот, лугів, миючих засобів, а також деяких органічних розчинників. Це робить поліпропілен ідеальним вибором для виготовлення аксесуарів, що можуть контактувати з побутовою хімією або дезінфікуючими речовинами.




2. Механічна гнучкість та ударна міцність. Попри середню жорсткість, поліпропілен характеризується високою ударною в'язкістю та гнучкістю, що дає змогу використовувати його для виготовлення елементів, які піддаються деформаційним навантаженням або мають інтегровані рухомі частини (наприклад, тримачі, гачки, кронштейни). Завдяки цьому знижується ризик тріщин та поломок при ударі або вигині.

3. Біоінертність і безпека. Поліпропілен є гіпоалергенним, біоінертним і термостійким до 100–110 °С, що дозволяє його використання у контакті зі шкірою, харчовими продуктами, водою та паром. Це особливо важливо для аксесуарів, що застосовуються у вологих приміщеннях побутового або медичного призначення.

4. Технологічна складність та її вирішення. Попри очевидні переваги, поліпропілен має низьку адгезію до платформи друку і тенденцію до деформацій при охолодженні. Проте ці недоліки можуть бути компенсовані за рахунок:

- використання підігрітої платформи (100–110 °С),
- нанесення адгезивних шарів (PP-смушки, каптонове покриття),
- друку в замкнутій камері зі стабільною температурою.

Крім того, на ринку з'явилися модифіковані марки поліпропілену, адаптовані до FDM-друку, що мають покращену адгезію між шарами та знижений коефіцієнт усадки [10].

 Plastic, PP (10% carbon fiber)  

Data compiled by the [Granta Design](#) team at ANSYS, incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS Inc. provides no warranty for this data.




|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Density   | 9,392e-10 tonne/mm <sup>3</sup>     |
| <b>Structural</b>  |                                     |
| ▼ Isotropic Elasticity  |                                     |
| Derive from   | Young's Modulus and Poisson's Ratio |
| Young's Modulus   | 3398,0 MPa                          |
| Poisson's Ratio   | 0,37620                             |
| Bulk Modulus  | 4574,6 MPa                          |
| Shear Modulus   | 1234,6 MPa                          |
| Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion   | 4,297e-05 1/°C                      |
| Tensile Ultimate Strength   | 29,580 MPa                          |
| Tensile Yield Strength  | 22,440 MPa                          |
| <b>Thermal</b>   |                                     |
| Isotropic Thermal Conductivity  | 0,00026900 W/mm·°C                  |
| Specific Heat Constant Pressure   | 1,845e+06 J/tonne·°C                |
| <b>Electric</b>  |                                     |
| Isotropic Resistivity   | 3,162e+06 ohm·mm                    |

Рисунок 3.2 – Характеристики PP матеріалу

Таким чином, поліпропілен — це оптимальний матеріал для виготовлення функціонального настінного аксесуара, що експлуатується у вологому та хімічно агресивному середовищі. Його низька гігроскопічність, хімічна інертність, механічна витривалість та біологічна безпека перевершують багато альтернатив у своєму класі. За належної організації технологічного процесу друку поліпропілен забезпечує надійність, довговічність і універсальність готового виробу.

### 3.3 Моделювання напружено-деформованого стану виробу методом МСЕ

З метою оцінки механічної надійності багатофункціонального настінного аксесуара для приміщень з підвищеною вологістю було проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану методом скінченних елементів (МСЕ) у програмному середовищі ANSYS Workbench 2019 R3. Аналіз виконувався для виробу, виготовленого з поліпропілену (PP) методом FDM-друку, за умов реального навантаження [11].

Моделювана конструкція має стінки товщиною 5 мм. Для підвищення точності розрахунків було створено тривимірну тетраедричну сітку з локальним ущільненням у критичних зонах – поблизу місць фіксації та елементів з криволінійною геометрією. Загальна кількість вузлів склала понад 12 000, що забезпечило збалансоване співвідношення між точністю та ресурсами обчислення.

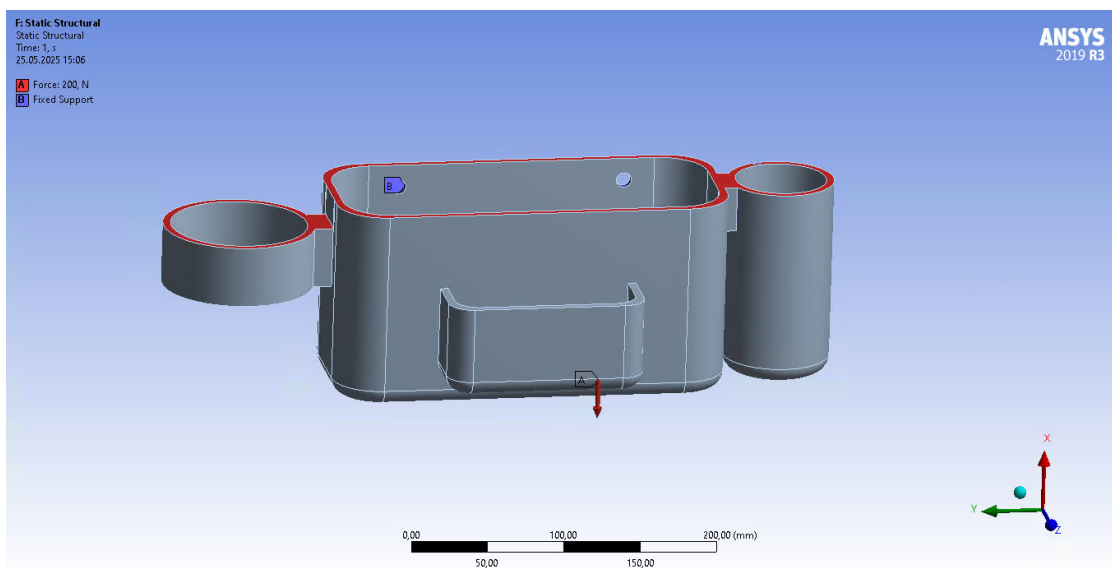


Рисунок 3.3 – Умови моделювання

Для відтворення реальних умов експлуатації моделі було застосовано наступні граничні умови:

Фіксація здійснювалась через два посадкові отвори на задній площині аксесуара, які в умовах експлуатації використовуються для настінного кріплення. У моделі ці отвори жорстко закріплено (умова Fixed Support).

Навантаження імітує вагу предметів побутового використання (пляшки, рушники, фен тощо) та дорівнює 20 кг. Воно було розподілено рівномірно по внутрішній полиці аксесуара у вигляді сили тяжіння, прикладеної вертикально вниз.

Максимальне значення напружень становить 30,32 МПа, що зосереджується в зонах кріплення, де відбувається передача навантаження від корпусу до стіни (рис. 3.5). Усі значення залишаються нижчими за межу міцності поліпропілену, яка для FDM-друку складає близько 35 МПа, що свідчить про відсутність ризику руйнування за нормальних умов експлуатації.

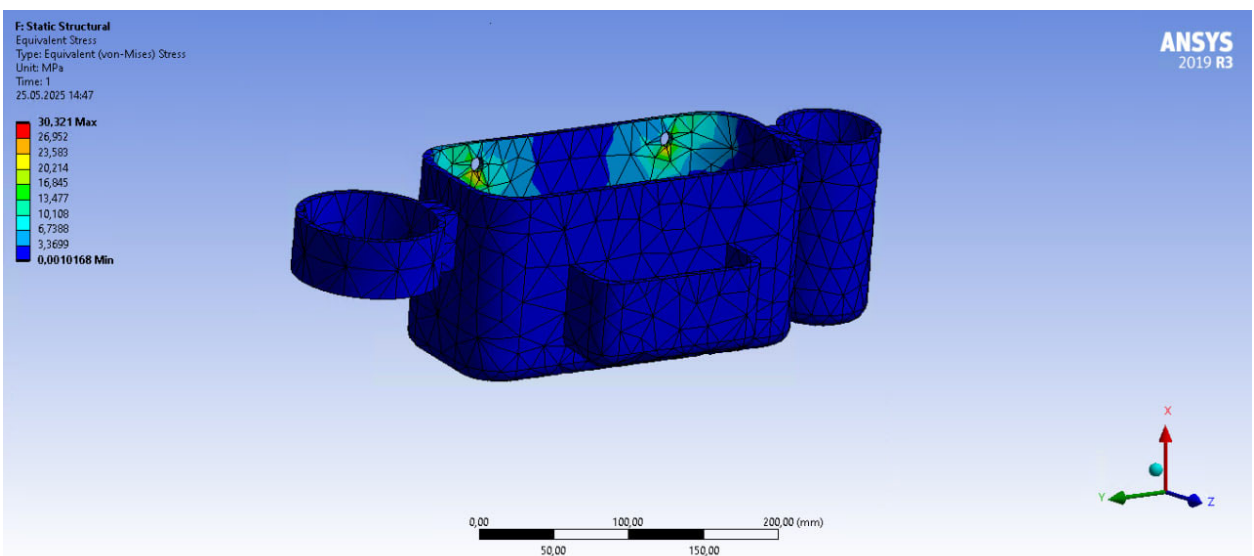


Рисунок 3.4 – Розподіл еквівалентних напружень

Максимальне лінійне переміщення у конструкції становить 5,80 мм (рис. 3.6), що зафіксовано в передній частині виробу, віддаленій від місць кріплення. Деформації не перевищують гранично допустимі значення для полімерних виробів і не впливають на функціональність або стабільність форми аксесуара.

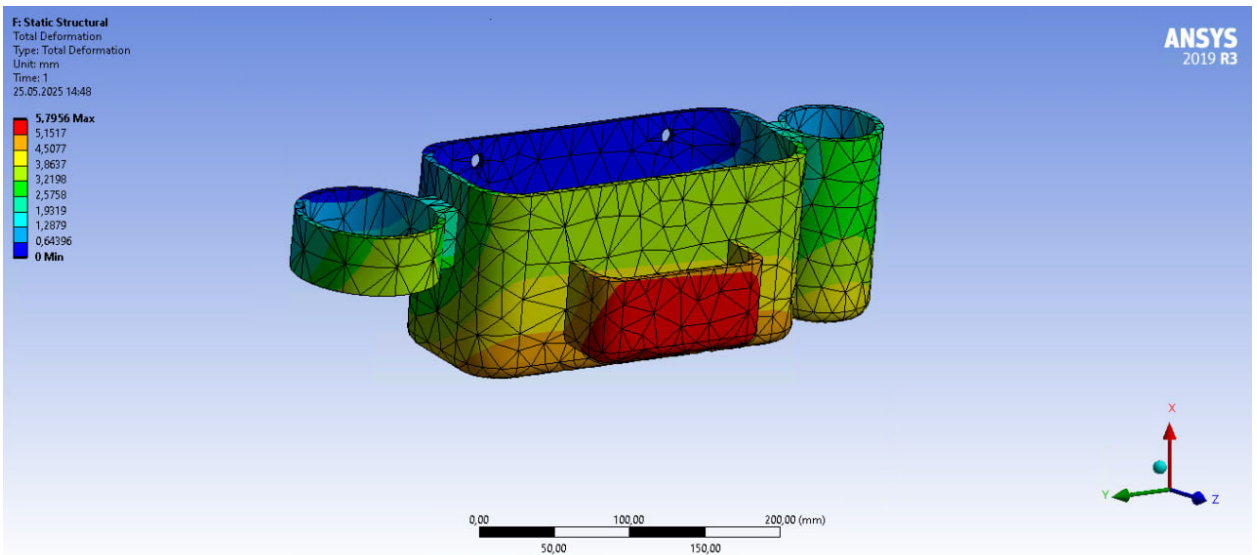


Рисунок 3.5 – Розподіл повних деформацій

На основі проведеного моделювання встановлено, що настінний аксесуар, виготовлений з поліпропілену методом адитивного виробництва, демонструє достатню механічну надійність при навантаженні 20 кг. Конструкція забезпечує задовільні показники міцності та жорсткості, а максимальні напруження та деформації не перевищують критичних меж. Це підтверджує доцільність застосування обраного матеріалу й геометрії для умов експлуатації у вологих приміщеннях.

### 3.4 Технологія виготовлення виробу методом адитивного виробництва

У межах кваліфікаційної роботи для реалізації фізичного прототипу багатофункціонального настінного аксесуара, призначеного для експлуатації у приміщеннях з підвищеною вологістю, було обґрунтовано використання методу адитивного виробництва, а саме FDM-друку (Fused Deposition Modeling). В якості конструкційного матеріалу обрано поліпропілен (PP) — матеріал, що поєднує водостійкість, стійкість до корозії, хімічну інертність та достатні механічні характеристики.

Вибір методу FDM був зумовлений рядом переваг, зокрема: низькою собівартістю виготовлення одиничних виробів, можливістю швидкого прототипування, відсутністю потреби у виготовленні прес-форм, а також сумісністю з гігроскопічно стійкими полімерними матеріалами.

Підготовка тривимірної моделі виробу. Конструкція аксесуара була змодельована в програмному середовищі SolidWorks з урахуванням функціонального навантаження, ергономіки та особливостей FDM-друку. Конструкція передбачає товщину стінок 5 мм, що дозволяє забезпечити достатній запас міцності при експлуатації. Модель було експортовано у формат STL для подальшої обробки в САМ-програмному забезпеченні.

Слайсинг і підготовка до друку. Для підготовки до друку використано програмне забезпечення Ultimaker Cura.

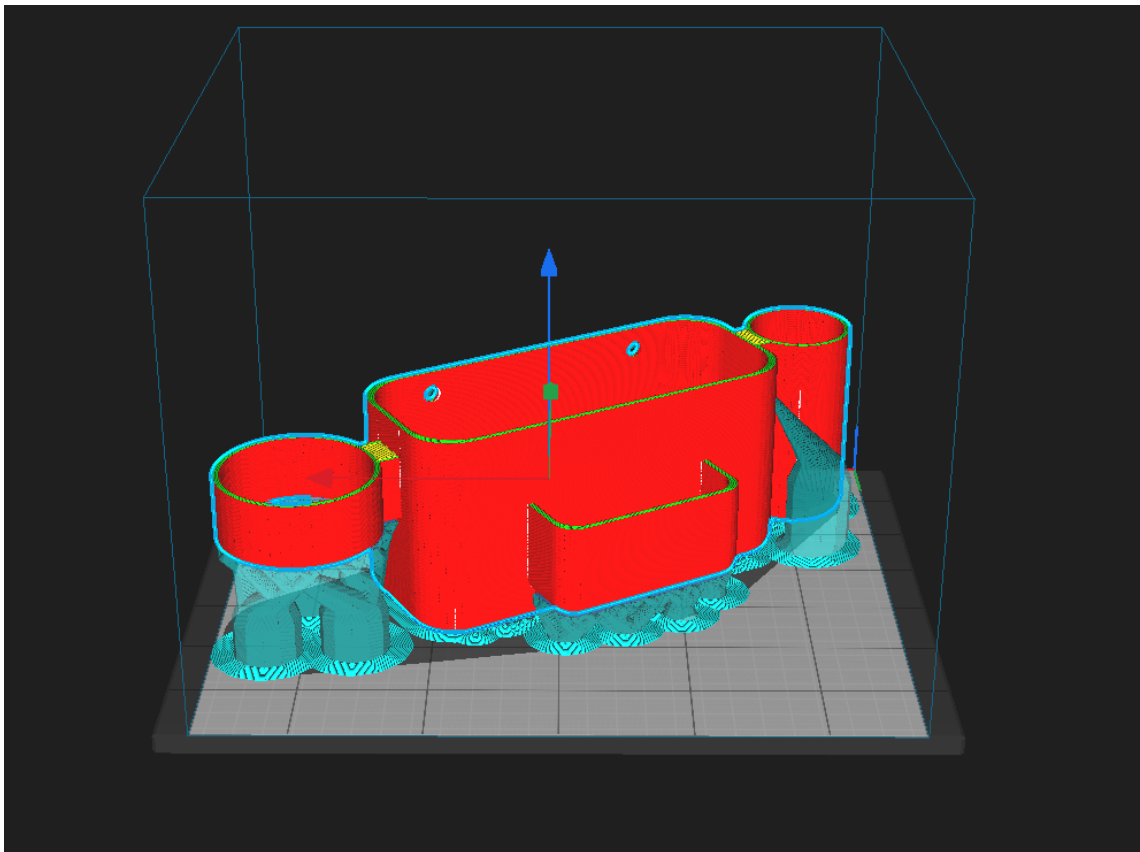


Рисунок 3.6 – Підготовка моделі до прототипуванню

Друк виробу. Процес друку здійснювався на 3D-принтері закритого типу, що забезпечує стабільність температурного режиму та знижує ризик деформації. Модель орієнтовано у просторі таким чином, щоб зменшити кількість підтримуючих структур і забезпечити оптимальний розподіл напружень. Після завершення друку виріб залишався на платформі до повного охолодження [12].



Рисунок 3.7 – Бабина поліпропілена для 3D-принтера

Використання адитивної технології FDM-друку з поліпропілену забезпечило можливість створення повнофункціонального прототипу настінного аксесуара без застосування ливарних чи пресових методів. Обрана технологія дозволяє реалізувати індивідуальні дизайнерські рішення, адаптувати геометрію під конкретні умови експлуатації, а також оперативно вносити зміни до конструкції. Виготовлений виріб має потенціал подальшого використання у виробництві серійних або малосерійних продуктів для вологих середовищ – ванних кімнат, пралень, лабораторій або промислових приміщень зі специфічним мікрокліматом.

### 3.5 Висновки за розділом

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексне обґрунтування конструкційного матеріалу, методів розрахунку та технології виготовлення багатофункціонального настінного аксесуара, призначеного для експлуатації у вологих середовищах.

Обраний матеріал поліпропілен (PP) є найбільш доцільним матеріалом для виготовлення виробу методом FDM-друку. Його низька гігроскопічність, висока хімічна інертність, механічна витривалість і біологічна безпечність задовольняють вимоги експлуатації в умовах підвищеної вологості. Порівняльна оцінка PETG, ASA та PP підтвердила конкурентоспроможність поліпропілену з позиції довговічності та стійкості до вологи.

Проведене моделювання напружено-деформованого стану виробу методом МСЕ показало, що при навантаженні 20 кг максимальні напруження не перевищують допустимих меж для FDM-друкованого поліпропілену. Конструкція з товщиною стінок 5 мм забезпечує необхідний запас міцності та геометричну стабільність.

Виготовлення аксесуара здійснено методом FDM-друку з урахуванням усіх технологічних нюансів, зокрема особливостей адгезії поліпропілену, температурного режиму та параметрів друку. Результат підтвердив ефективність обраної технології для створення функціонального виробу, придатного для серійного або індивідуального застосування у побутових умовах.

Таким чином, реалізований підхід до розробки, моделювання та виготовлення виробу забезпечив досягнення основних цілей розділу: оптимізацію матеріального вибору, перевірку міцнісних характеристик і впровадження виробу у прототипну форму із забезпеченням придатності до експлуатації у вологому середовищі.

## РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ

### 4.1 Оцінка вологостійкості та довговічності виробу в умовах експлуатації

Поліпропілен є напівкристалічним термопластом, який характеризується дуже низькою гігроскопічністю (коефіцієнт водопоглинання за 24 години  $< 0,01\%$ ), що забезпечує його високу стійкість до дії вологи. Його структура, що складається з щільно упакованих полімерних ланцюгів з неполярною хімічною природою, унеможливує проникнення води або водяної пари всередину матеріалу.

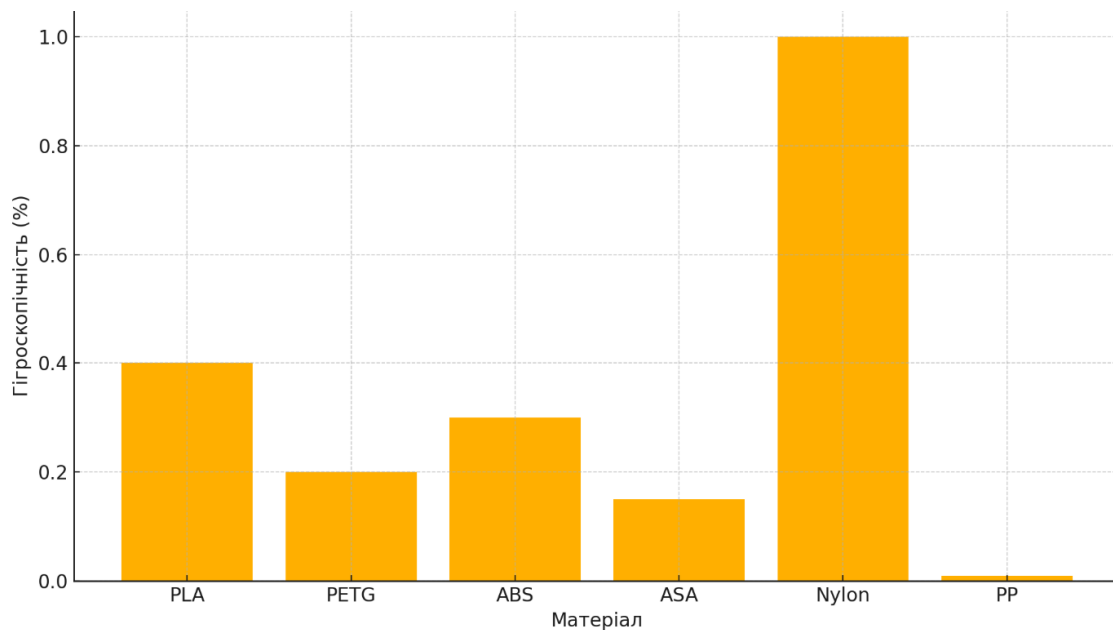


Рисунок 4.1 – Порівняльна діаграма гігроскопічності полімерних матеріалів

В умовах експлуатації у ванних кімнатах або санітарно-побутових приміщеннях, де відносна вологість може досягати 90–100%, поліпропілен зберігає розмірну стабільність, не набухає, не утворює мікротріщин і не втрачає своїх механічних характеристик. Саме ці властивості роблять його

придатним для виготовлення довготривалих конструктивних елементів та аксесуарів у вологому середовищі.

1. Термічна стабільність. Поліпропілен демонструє високу термічну стабільність у межах робочих температур від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує збереження експлуатаційних властивостей навіть за умов частих перепадів температур. Температура розм'якшення за Віка становить близько  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що є достатнім запасом для побутових умов.

2. Хімічна стійкість. PP має високу інертність до більшості побутових мийних засобів, кислот, лугів і сольових розчинів. У результаті контакту з побутовою хімією не спостерігається деструкції полімеру, зміни кольору або порушення цілісності поверхні.

3. УФ-стійкість. Поліпропілен сам по собі має помірну стійкість до ультрафіолетового випромінювання, що може призводити до фотодеструкції під прямим сонячним світлом. Проте, при введенні УФ-стабілізаторів або застосуванні пігментованих композицій (наприклад, чорного PP), довговічність на відкритому повітрі значно зростає.

4. Механічна витривалість. Завдяки своїй в'язко-пружній природі поліпропілен має добру опірність до ударних навантажень і втоми матеріалу. Його межа витривалості дозволяє використовувати виріб у умовах багаторазових механічних впливів (відкривання, згинання, прикладання навантаження) [13].

Поліпропілен є раціональним вибором для виготовлення виробів, призначених для експлуатації у вологих середовищах, завдяки низькому водопоглинанню, хімічній інертності, термостійкості та механічній стабільності. За умови дотримання технологічних параметрів FDM-друку (оптимальна температура екструзії  $210\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , повне заповнення шарів, обробка шорсткої поверхні), конструкція з PP демонструє тривалий ресурс служби — не менше 5 років при звичайному побутовому навантаженні. Для забезпечення УФ-захисту бажано використовувати стабілізовані або пігментовані модифікації матеріалу.

## 4.2 Виконання робіт з контролю якості

Контроль якості готових виробів з поліпропілену є завершальним етапом технологічного процесу і має на меті підтвердження відповідності продукції технічним вимогам, кресленням та умовам експлуатації. Якісний контроль повинен охоплювати геометричні, механічні, візуально-дефектоскопічні, фізико-хімічні та функціональні параметри.

Візуальний контроль є первинною формою дефектоскопії, що передбачає огляд зовнішньої поверхні виробу з метою виявлення видимих дефектів, пов'язаних із порушенням технології друку. Для цього використовується денне або штучне освітлення, оптичні лупи (5–10×) або мікроскопи зі збільшенням до 50×. Оцінці підлягають такі параметри, як: однорідність структури, наявність шорсткості, розшарування, тріщин, здуттів або пор. Особливу увагу приділяють якості міжшарових з'єднань і відсутності ознак неповного спікання матеріалу.

Для перевірки точності виготовлення використовуються стандартні вимірювальні інструменти: штангенциркулі з точністю  $\pm 0,05$  мм та мікрометри з точністю  $\pm 0,01$  мм. Здійснюється вимірювання контрольних розмірів: довжини, ширини, висоти, товщини стінок та діаметрів отворів. Отримані значення порівнюються з номінальними параметрами 3D-моделі або креслення. У разі потреби також застосовується 3D-сканування виробу з подальшим цифровим порівнянням з еталонною CAD-моделлю [14].

Механічна міцність і якість міжшарової адгезії перевіряються методом триточкового згину відповідно до стандарту ISO 178. Зразок або елемент виробу розміщується на двох опорах, після чого на нього прикладається навантаження в центральній точці. Визначаються такі параметри, як межа пружності, границя міцності на згин та характер зламу (хрупкий, пластичний, міжшаровий). Руйнування по межах шарів свідчить про недостатню якість адгезії, що може бути результатом порушення температурного режиму друку.

Для оцінки ударної в'язкості використовуються методи маятничого удару за ISO 179 або ASTM D256 (Шарпі/Ізод). Зразок закріплюється на опорах, після чого по ньому наноситься удар маятничим молотом. Визначається кількість енергії, витраченої на руйнування матеріалу, а також фіксується характер зламу. Цей тест дозволяє оцінити поведінку поліпропіленового виробу при короткочасному навантаженні, що моделює експлуатаційні удари або падіння.

Для оцінки термічної стабільності виробів проводиться випробування у сушильній шафі при температурі 80–100 °С. Виріб витримується у заданих умовах протягом 2–8 годин, після чого охолоджується до кімнатної температури. Здійснюється повторне вимірювання геометричних параметрів, а також огляд на предмет деформацій, усадки чи зміни кольору. У межах допустимих температур поліпропілен має демонструвати стабільність розмірів та відсутність зовнішніх пошкоджень.

Для визначення вологостійкості вироби або зразки зважуються з точністю до 0,001 г, після чого поміщаються в камеру з підвищеною вологістю ( $RH > 90\%$ ) та температурою 25–40 °С на 7–14 діб. По завершенні експозиції проводиться повторне зважування та вимірювання розмірів. Водопоглинання визначається за формулою:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

де  $m_1$  – початкова маса;

$m_2$  – маса після випробування.

Для поліпропілену типове значення цього показника не перевищує 0,01%, що підтверджує його високу вологостійкість.

Сукупність наведених методів контролю дозволяє комплексно оцінити якість виготовлених виробів з поліпропілену та підтвердити їх відповідність вимогам експлуатації у вологих побутових умовах. Проведені випробування

спрямовані на перевірку функціональної придатності, довговічності та геометричної стабільності прототипованих компонентів, що є необхідною умовою їх надійного використання у виробках технічного призначення.

### 4.3 Дослідження фізико-механічних характеристик виробу

Контроль втомної міцності виробів, виготовлених із полімерних матеріалів, зокрема поліпропілену (PP), здійснюється шляхом оцінки їхньої здатності витримувати багаторазове циклічне навантаження без руйнування. Одним з основних методів такого контролю є використання  $S-N$  діаграм, які описують залежність амплітуди змінного напруження ( $\sigma_a$ ) від кількості циклів до руйнування ( $N$ ).

Метод ґрунтується на експериментальних даних, отриманих шляхом багаторазових випробувань зразків при різних рівнях навантаження. Побудована діаграма дозволяє передбачити ресурс виробу в циклах при відомому рівні механічного навантаження. У розрахунках застосовуються аналітичні апроксимації, що дають змогу кількісно оцінити довговічність.

Цей метод особливо актуальний для деталей, які зазнають динамічних або імпульсних навантажень, як-от при експлуатації побутових аксесуарів, що піддаються частому заповненню, переміщенню або навантаженню (наприклад, полиці для шампунів, тримачі фенів тощо). Аналіз за діаграмою Вельфлера дозволяє підтвердити, що навіть при багаторазовому навантаженні напруження залишаються в межах втомної витривалості матеріалу, а отже, виріб не зазнає руйнування протягом заданого терміну служби [15].

Виконаємо розрахунок амплітуди та середнього напруження.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{6 - 0}{2} = 3 \text{ МПа} \quad (4.1)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{6 + 0}{2} = 3 \text{ МПа} \quad (4.2)$$

Виконаємо перевірку за критерієм Гудмана. Критерій Гудмана враховує вплив середнього напруження на втомну міцність. Для пластиків використовується спрощена лінійна апроксимація.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{fatigue}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_T} \leq 1$$

$$\frac{3}{8} + \frac{3}{30} = 0.375 + 0.1 = 0.475 \leq 1 \quad (4.3)$$

У разі коли умова виконується  $\rightarrow$  довговічність забезпечена при кількості циклів понад  $10^5$ .

Виконаємо оцінку кількості циклів за  $S-N$  діаграмою. Для поліпропілену діє експериментальна залежність (апроксимація).

$$\sigma_a = A \cdot N^{-b}$$

де  $A \approx 20$ , а  $b \approx 0,1$

$$3 = 20 \cdot N^{-0,1} \rightarrow N^{-0,1} = \frac{3}{20} = 0,15 \rightarrow \log N = \frac{\log\left(\frac{1}{0,15}\right)}{0,1} = 8,24 \rightarrow N \approx 1,74 \cdot 10^8 \text{ циклів}$$

Конструкція є безпечною для довготривалого використання. Для додаткової надійності можна врахувати зменшення ресурсу через старіння, ультрафіолет або термоциклічність, запровадивши коефіцієнт довговічності 0.8.

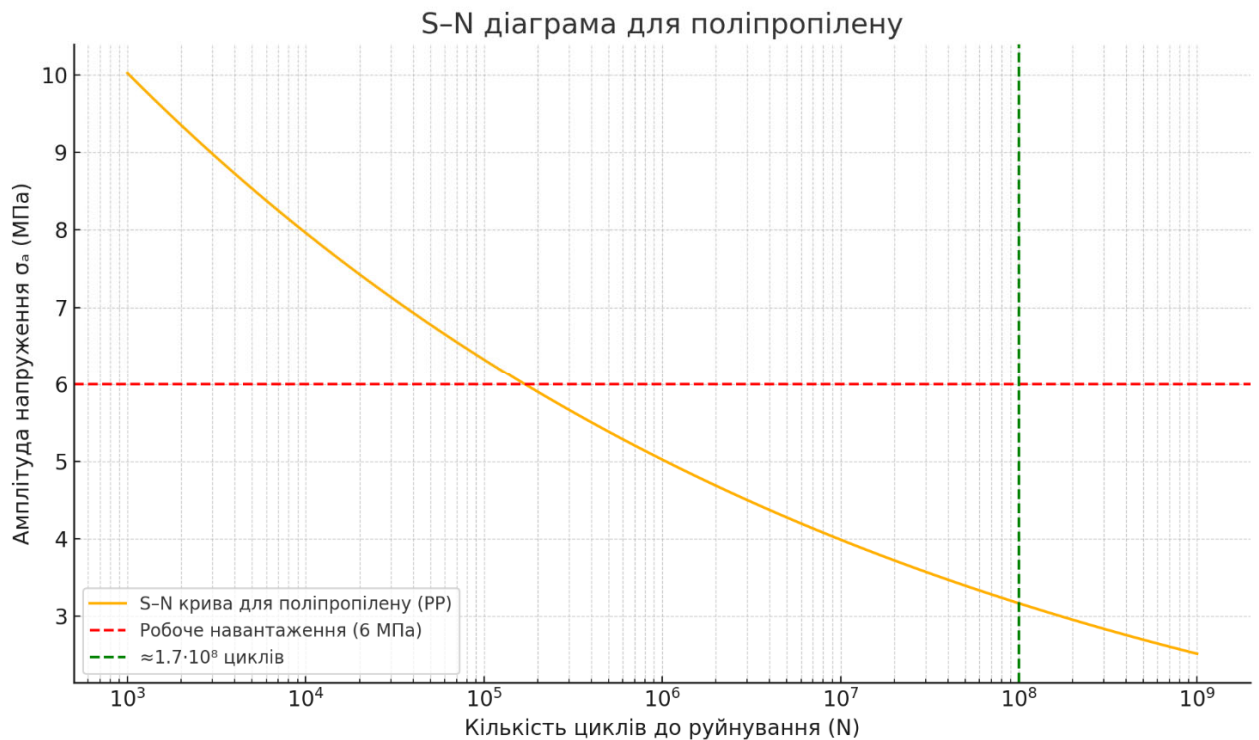


Рисунок 4.2 – S–N діаграми для поліпропілену

Таким чином, метод контролю за допомогою S–N діаграми є ефективним інженерним інструментом для прогнозування ресурсу полімерних конструкцій, що підвищує надійність виробів у реальних умовах експлуатації.

#### 4.4 Висновки за розділом

Проведене дослідження довело доцільність застосування поліпропілену як конструкційного матеріалу для виготовлення багатофункціонального настінного аксесуара, призначеного для експлуатації у вологих побутових середовищах. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям поліпропілен забезпечує тривалу експлуатацію виробу без втрати геометричної стабільності, механічної цілісності та естетичного вигляду.

Встановлено, що поліпропілен має наднизький рівень водопоглинання ( $< 0,01\%$ ), що гарантує його високу волого- та гідролізостійкість. Матеріал зберігає свої властивості при температурних коливаннях у межах від  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+100\text{ }^\circ\text{C}$ , що підтверджує його термічну стабільність у побутових умовах. Крім

того, поліпропілен є хімічно інертним до побутових мийних засобів, кислот і лугів, що виключає його руйнування під дією агресивного середовища.

У результаті комплексного підходу до контролю якості прототипованих виробів, який включав візуальну інспекцію, геометричні вимірювання, механічні випробування (на згин, удар, термостійкість), було підтверджено відповідність виготовлених деталей технічним вимогам. Зокрема, міжшарова адгезія при FDM-друці виявилася задовільною, межа міцності на згин залишалася в межах допустимих значень, а ударна в'язкість забезпечувала збереження виробу при короткочасних навантаженнях.

Особливу увагу приділено оцінці довговічності виробу за умов циклічних навантажень. Застосований метод втомного аналізу на основі S–N діаграми (діаграми Вельфлера) дозволив кількісно оцінити ресурс виробу при багаторазовій експлуатації. Розрахунки показали, що при амплітудному напруженні 3 МПа ймовірна кількість циклів до руйнування перевищує  $1,7 \times 10^8$ , що підтверджує високу втомну міцність поліпропіленової конструкції. Критерій Гудмана також продемонстрував виконання умови безпечної експлуатації при заданих рівнях навантаження.

Таким чином, проведена оцінка вологостійкості, хімічної інертності, термостійкості, механічної витривалості та довговічності конструкції дозволяє зробити висновок про високу надійність і технологічну придатність поліпропіленового аксесуара для тривалого використання у побутовому середовищі з підвищеною вологістю. Отримані результати можуть бути використані як обґрунтування при впровадженні виробу у серійне виробництво.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах виконаної кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне інженерно-технологічне обґрунтування розробки багатофункціонального настінного аксесуара, призначеного для експлуатації у приміщеннях із підвищеною вологістю. Робота поєднала функціонально-вартісний аналіз конструкції, вибір раціонального матеріалу, верифікацію міцнісних характеристик методом кінцевих елементів, а також виготовлення та контроль якості прототипу з використанням технології FDM-друку.

Результати функціонально-вартісного аналізу продемонстрували доцільність обраної архітектури виробу. Було встановлено, що найбільш ефективними з позиції співвідношення «функція – вартість» є кріпильні елементи та дренажні отвори, які при мінімальних витратах забезпечують критично важливі експлуатаційні функції. Водночас елементи з підвищеною матеріалоемністю, такі як контейнери/відсіки, вимагають подальшої оптимізації — передусім через впровадження модульного компонування та раціоналізацію внутрішньої геометрії.

У рамках третього розділу було обґрунтовано вибір поліпропілену (PP) як конструкційного матеріалу, що повністю відповідає умовам експлуатації у вологому середовищі. Його низька гігроскопічність ( $< 0,01\%$ ), висока хімічна інертність, термічна стабільність у діапазоні  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а також ударна міцність і втомна витривалість визначають придатність до довготривалого використання у побуті. Порівняльна оцінка з PETG та ASA підтвердила переваги поліпропілену з позиції довговічності, водостійкості й технологічності обробки.

Моделювання напружено-деформованого стану виробу за допомогою методу скінченних елементів (MSC) в середовищі ANSYS Workbench показало, що максимальні робочі навантаження (до 200 Н) не перевищують межі міцності поліпропілену. Конструкція з товщиною стінок 5 мм забезпечує геометричну стабільність та механічну надійність.

Контроль якості виготовлених зразків, включно з візуальним, геометричним, механічним і термостійким тестуванням, підтвердив відповідність виробу технічним вимогам. Оцінка втомної довговічності методом S–N діаграм (Вельфлера) показала ресурс понад  $1,7 \cdot 10^8$  циклів при експлуатаційному навантаженні 3 МПа, що вказує на високу надійність виробу навіть за умов багаторазової дії навантажень.

Загалом реалізований підхід до конструювання, матеріального вибору, чисельного аналізу та практичного виготовлення забезпечив досягнення поставлених цілей і довів технічну та економічну доцільність запропонованого виробу. Отримані результати можуть бути використані як база для серійного впровадження конструкції у виробництво та її подальшої модифікації відповідно до потреб користувачів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інтер'єр ванної кімнати: тренди дизайну. Посилання на джерело: <https://kupistul.ua/ua/blog/interer-vannoy-komnaty-trendy-dizayna-2024-2025?srsltid=AfmBOoqjn59nCwcd6UGAVQycOkmoTEilhsCnDEMsgIaTzgSTqeefvWpP>
2. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
3. Design And Optimization Of An Automated Modular System For Distribution, Movement And Storage Of Goods. Посилання на джерело: <https://ojs.svako.lt/PSTP/article/view/16/17>
4. Полімерні матеріали: нагрів и деформація пластмас. Посилання на джерело: <https://ten24.com.ua/ua/blog/polimernye-materialy-nagrev-i-deformatsiya-plastmass/>
5. Функціонально-вартісний аналіз. Посилання на джерело: <https://studfile.net/preview/5082685/page:19/>
6. The DESIGN of EVERYDAY THINGS. Посилання на джерело: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/4bb8d08a9b309df7d86e62ec4056ceef.pdf>
7. Основи проектної діяльності. Методи проектування: метод фокальних об'єктів. Посилання на джерело: <https://naurok.com.ua/osnovi-proektno-diyalnosti-metodi-proektuvannya-metod-fokalnih-ob-ektiv-418760.html>
8. Конспект лекцій з дисципліни «3D моделювання та візуалізація» для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство». Посилання на джерело: [https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/lecture-course/3DMV\\_132\\_Lectures\\_ed4.pdf](https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/lecture-course/3DMV_132_Lectures_ed4.pdf)
9. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Посилання на джерело: [https://www.researchgate.net/publication/281538011\\_Additive\\_Manufacturing\\_Technologies\\_3D\\_Printing\\_Rapid\\_Prototyping\\_and\\_Direct\\_Digital\\_Manufacturing\\_2nd\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/281538011_Additive_Manufacturing_Technologies_3D_Printing_Rapid_Prototyping_and_Direct_Digital_Manufacturing_2nd_Edition)

10. Study on the Application and Properties of Plastic Materials in Modern Architecture. Посилання на джерело: [https://www.researchgate.net/publication/390719517\\_Study\\_on\\_the\\_Application\\_and\\_Properties\\_of\\_Plastic\\_Materials\\_in\\_Modern\\_Architecture](https://www.researchgate.net/publication/390719517_Study_on_the_Application_and_Properties_of_Plastic_Materials_in_Modern_Architecture)
11. Що таке Ансіс. Посилання на джерело: <https://autocad-lessons.com/uk/shcho-take-ansis-video-ohliad/>
12. Stereolithography: Materials, Processes and Applications. Посилання на джерело: [https://www.researchgate.net/publication/321607808\\_Stereolithography\\_Materials\\_Processes\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/321607808_Stereolithography_Materials_Processes_and_Applications)
13. Оцінка довговічності. Проблеми екології виробництва та застосування полімерних матеріалів. Посилання на джерело: <https://studfile.net/preview/7201795/page:48/>
14. Introduction Statistical Quality Control. Посилання на джерело: [https://www.academia.edu/11635932/Introduction\\_Statistical\\_Quality\\_Control\\_6e\\_d](https://www.academia.edu/11635932/Introduction_Statistical_Quality_Control_6e_d)
15. Аналіз моделей та методів оцінки міцнісних характеристик полімерних композиційних матеріалів. Посилання на джерело: [https://www.researchgate.net/publication/374532083\\_ANALIZ\\_MODELEJ\\_TA\\_METODIV\\_OCINKI\\_MICNISTNIH\\_HARAKTERISTIK\\_POLIMERNIH\\_KOMPOZICIJNIH\\_MATERIALIV](https://www.researchgate.net/publication/374532083_ANALIZ_MODELEJ_TA_METODIV_OCINKI_MICNISTNIH_HARAKTERISTIK_POLIMERNIH_KOMPOZICIJNIH_MATERIALIV)
16. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132Матеріалознавство ОПП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» / К.А. Зіборов, Н.О. Ротт, Т.О. Письменкова, С.О. Федоряченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ«ДП», 2022. – 40 с.