

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну

Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Оцінка життєвого циклу масок для захисту обличчя в умовах пандемії COVID-19, як інструмент забезпечення кругової економіки та принципів зеленої інженерії

Галузь знань 16 – «Хімічна та біоінженерія»

Спеціальність 161 – «Хімічна технологія та інженерія»

Освітня програма – «Хімічна технологія та інженерія»

ДПХТІ .016063.20.03. ПЗ

Виконав : здобувач 2 курсу група ХТІм-20-1	_____	О.О. Гнатів
Керівник ,к.т.наук,доцент	_____	Т.В. Іванішена
Нормоконтролер	_____	О.І. Стремецький

До захисту допускаю:

Зав.кафедри _____ Т.В. Іванішена

_____ 2021р.

Зміст

Вступ.....	3
1 Огляд джерел науково-технічної інформації.....	4
1.1 Характеристика ринку масок для захисту обличчя.....	4
1.2 Аналіз методів проведення оцінки життєвого циклу масок для індивідуального захисту	12
2 Об'єкти та методи дослідження	23
2.1 Характеристика об'єктів дослідження	23
2.2 Методики визначення якісних та кількісних характеристик матеріалів для виготовлення масок.....	26
2.3 Методика проведення досліджень по оцінці життєвого циклу масок для індивідуального захисту	31
3 Оцінка життєвого циклу масок для індивідуального захисту	40
3.1 Експериментальні дослідження складу, фізико-хімічних та санітарно- гігієнічних властивостей матеріалів для виготовлення масок.....	40
3.2 Дослідження життєвого циклу масок.....	48
3.2.1 Інвентаризаційний аналіз.....	48
3.2.2 Оцінка впливу масок	66
3.2.3 Інтерпретація результатів ОЖЦ	74
Висновки.....	78
Перелік джерел посилання	80
Додаток А Результати ідентифікації зразків в полум'ї.....	79

Вступ

Спалах пандемії Covid-19 призвів до безпрецедентного споживання масок для обличчя у всьому світі. У нинішній глобальній надзвичайній ситуації зі здоров'ям маски для обличчя відіграють ключову роль у обмеженні розповсюдження пандемії Covid-19, діючи як фізичні бар'єри, щоб уникнути крапель та фільтрації видиху від інфікованих суб'єктів.

Маска – це засіб персонального захисту від інфекцій, що передаються повітряно-крапельним шляхом. Як засіб індивідуального захисту, маска на обличчя покликана захистити осіб, а також зменшити ймовірність поширення інфекцій, вірусів від хворої людини [1].

Тому саме оцінка життєвого циклу масок буде актуальною, для покращення, удосконалення та мінімізації використанню шкідливих речовин. Оцінка життєвого циклу масок індивідуально захисту вкаже, які саме маски ефективніші і менше шкодять навколишньому середовищі.

Мета роботи полягає у дослідженні екологічності масок для захисту обличчя, з використанням методики оцінки життєвого циклу для визначення потенційного впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з виробництвом, використанням та утилізацією таких засобів, виготовлених на основі різної сировини.

Основними завданнями є:

- аналіз ринку масок індивідуального захисту;
- визначення об'єктів та методів проведення оцінки життєвого циклу масок;
- проведення порівняльної оцінки життєвого циклу масок для захисту на основі різної сировини.

Об'єктом дослідження є маски для захисту обличчя, які використовуються в умовах пандемії Covid-19. Предметом дослідження є процеси виготовлення, використання та утилізації масок для обличчя.

1 Огляд джерел науково-технічної інформації

З метою проведення досліджень на першому етапі доцільно було б розглянути ринок масок для захисту обличчя у світі, а також проаналізувати останні дослідження, що стосувалися оцінки їх життєвого циклу.

1.1 Характеристика ринку масок для захисту обличчя

Медичні маски – один із найперших елементів для захисту від вірусу. Сьогодні, цей товар є одним із найбільш затребуваних. Одноразова медична маска складається з шару фільтра, який розташовується між двома зовнішніми шарами.

За інформацією Pro-Consulting, Китай є найбільшим світовим виробником масок. В звичайних умовах тут виробляється близько 20 млн масок кожного дня. Найбільшими імпортерами наразі є США, країни Європейського Союзу Франція, Німеччина, Нідерланди, Бельгія, Польща та Велика Британія.

Попит на маски з поширенням вірусу зростає в усіх країнах кожного дня. У зв'язку з цим, розширюється виробництво або відкриваються нові потужності. Так, в Китаї компанія VydCoLtd недавно відкрила один із найбільших заводів у світі з виробництва масок.

Частково дефіцит на ринку привів до зростання попиту на респіратори та інші немедичні маски. Така ситуація спостерігається в США, Україні, та більшості країн Європейського Союзу.

Проте різке збільшення виробництва призводить до появи неякісної продукції на ринку. Так, приміром, Нідерланди відкликали закуплені в Китаї 600 тис. масок, через те, що вони не відповідають встановленим нормам.

За даними Державної митної служби, в 2019 році Україна імпортувала масок на 36 млн доларів, з початку 2020 – на 52 млн доларів. Основний експортер в Україну – Китай.

В Україні, за даними міністерства економічного розвитку і торгівлі, є 8 виробників медичних хірургічних масок, що за день можуть виробляти 186,6 тис. масок, а також близько 20 виробників марлевих масок загальною потужністю 313,4 тис. масок на день [2].

Ринок масок для індивідуального захисту обличчя складається з різних її видів масок:

1 Маски медичні (хірургічні) .

Дана маска повинна відповідати таким вимогам:

- бути виготовлена з гіпоалергенного нетканого матеріалу без запаху;
- зовнішня та внутрішня поверхні повинні бути різного кольору, на резинках, з фіксатором на переніссі;
- не повинна перешкоджати вільному диханню;
- повинні відповідати ДСТУ EN 14683:2014 Маски хірургічні. Вимоги та методи випробування [3].

2 Процедурні маски.

Це одноразові маски, які слід носити щонайбільше дві години. Вони складаються з трьох шарів: два зовнішніх і один фільтрувальний. Маска захищає того, хто її носить, і людей, що оточують, від передачі збудників хвороби, але, як і хірургічна маска, не забезпечує надійного захисту від вірусів.

3 Саморобні маски.

Якщо купити захисну маску немає можливості, залишається зробити її самому. Потрібно три захисних шари: два зовнішніх (не менш чотирьох шарів марлі кожен) і один фільтрувальний із вати. Таку маску можна носити не більш ніж дві години, і захистить вона тільки від дрібних повітряних частинок і несприятливих погодних умов.

4 Респіраторні маски №95.

Багаторазова маска з клапаном видихання для виведення рідини. Ці маски міцніші і захищають від дрібних повітряних частинок і передачі збудників захворювання повітряно-крапельним шляхом (але тільки носія маски, а не оточення). Користуватися ними кілька разів можна за умови правильної

дезінфекції (але не більш ніж дві години за один раз): маску можна залишити на відкритому повітрі в суху погоду на 3–4 дні або простерилізувати в духовці. Респіраторні маски використовують для роботи з підвищеним впливом шкідливих речовин, а також під час епідемії.

Є кілька видів таких респіраторів. Маски FFP1 захищають від пилу, FFP2 – затримують до 95% шкідливих речовин і частково захищають від вірусів, FFP3 – затримують до 95% шкідливих речовин і вірусів.

5 Тканинні маски.

Якщо їх правильно дезінфікувати, то можна використовувати повторно. Такі маски знадобляться для використання під час епідемії і захищають носія і оточення від передачі збудників хвороби, але не від вірусів [4].

6 Захисний щиток повинен відповідати таким вимогам:

- повністю закривати обличчя, зокрема, з боків та по довжині;
- бути виготовлений з прозорого пластикового матеріалу з покриттям від запотівання та захистом від подряпин;
- ремінець, що регулюється, потрібен для щільного прилягання до голови та зручного носіння;
- бути стійким до очищення та дезінфекції;
- відповідати ДСТУ EN 166:2017 Засоби індивідуального захисту очей.

Технічні умови [3].

7 Маска пластикова прозора

Прозорі маски не прилягають до обличчя, тим самим не утрудняють дихання, під ними не жарко і в них зручніше спілкуватися. Регулюються пластикові захисні маски під будь-який розмір голови м'якими вушними петлями. Пластикові маски базуються для багаторазового використання і легко дезінфікуються мильним розчином, антисептиком або дезінфектором [5].

Види масок описаних вище зображені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Види масок

Вид маски	Зображення
Хірургічна	
Процедурна	
Саморобна	
Респіраторні №95	
Тканинна	
Захисний щиток	
Пластикова прозора	

В Україні відомі 5 лідерів, за поставками державним замовникам масок на найбільшу суму і ця кількість, що становить майже 67% від загальної суми та 48% від кількості. Це ТОВ "Софі-Мед", ТОВ "Транспортна компанія "Автолайн", КП "Одесфарм", ФОП Положій Євген Олександрович та ТОВ "Дімакс ВБК".

Отже, перше місце посідає ТОВ “Софі-Мед”, яке продало 1 млн медичних масок на суму 14 млн грн Харківській міській клінічній лікарні № 13, тобто по 14 грн за маску.

На другому місці з сумою понад 1 млн грн та кількістю 60 тисяч масок розташувалося ТОВ “Транспортна компанія “Автолайн”. З січня 2018 по березень 2020 фірма брала участь у 55 закупівлях, лише 9 з яких були конкурентними. Інші 46 — це прямі договори з замовниками. Фірма продавала маски по 17 та 18 грн за штуку.

Трійку лідерів замикає КП “Одесфарм”, що продало замовникам 53 тисячі масок на суму 785 тис. грн. З 16 по 27 березня КП “Одесфарм” продавало маски від 17 до 24,50 грн за штуку.

Четверте місце в списку топ-постачальників масок посідає ФОП Положій Євген Олександрович, який провів одну закупівлю в Prozorro, продав КП “Харківські теплові мережі” 40 тисяч масок на загальну суму 600 тис грн, тобто по 15 грн за 1 маску.

Останнє місце в п’ятірці лідерів займає ТОВ “Дімакс ВБК”. Товариство продало державним замовникам 21,5 тисяч масок на суму в 366 тисяч грн. Медичні маски продавали за ціною по 17 грн за штуку [6].

Відображені всі закупівлі масок з 1 січня 2020 року до 5 травня 2021 року. За цей період через Prozorro придбали 179 млн медичних масок на 685,6 млн грн. Піковими місяцями стали:

- серпень 2020 — тоді придбали 16,5 млн штук
- вересень 2020 — 18,1 млн штук
- грудень 2020 — 58,2 млн штук

На рисунку 1 зображена динаміка закупівель масок в Prozorro.

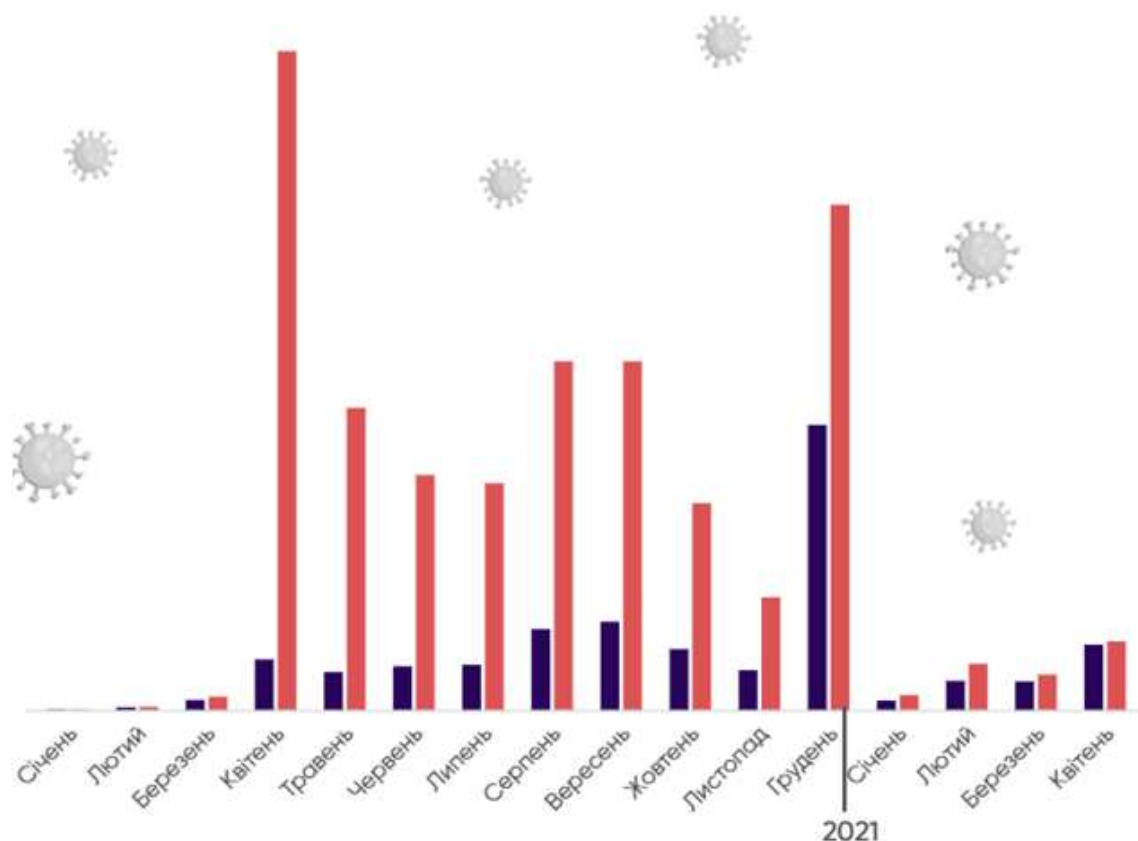


Рисунок 1 – Динаміка закупівель масок в Prozorro

До початку пандемії бюджетні установи могли спокійно купити медичні маски через Prozorro по 0,58–1,1 грн. Однак, у березні 2020 року відбувся різкий стрибок цін. Постачальники продавали медичні маски по 10, а подекуди і по 25–27 грн за штуку. Медіанна ціна протягом цього місяця становила 1,6–15 грн.

У квітні, порівняно з попереднім місяцем, медіанна ціна медичної маски зросла ще і становила вже 9,7–16,8 грн. Тоді можна було спостерігати шалений розліт цін. Найдешевші маски обійшлися у 3 грн за одиницю, тоді як найдорожчі коштували у 9 разів більше — 27 грн за одиницю. Ймовірно, таку значну різницю можна пояснити величезним попитом. Тоді ж особливо сильно зросли ризики переplat — часу аналізувати ринок не було, товару у

постачальників не вистачало, і замовники були ладні платити будь-які кошти. Однак такий ажіотаж минув досить скоро. Уже в травні ціни на медичні маски почали знижуватися. Тоді медіанна ціна становила 3,0–11,8 грн.

Таке здешевлення продовжилося і в наступні місяці. У червні медіанна ціна медичної маски становила 6–11,1 грн, у липні – 5,17–8,16 грн, у серпні – 4,07–7,53 грн, а у вересні вона впала до 3,3–6,89 грн. Ринок вгамувався, а медичні маски перестали бути дефіцитними.

Надалі медіанна ціна теж лише спадала. Наприклад, наприкінці 2020 року вона становила 2,13–3,79 грн. А у квітні 2021 вона досягла рівня вже у 1,23–1,85 грн за одиницю. І хоча медіанні ціни ще не стали такими ж, як були до карантину, ми впевнено до цього рухаємося.

На рисунку 2 зображена медіанна ціна на маски Prozorro.

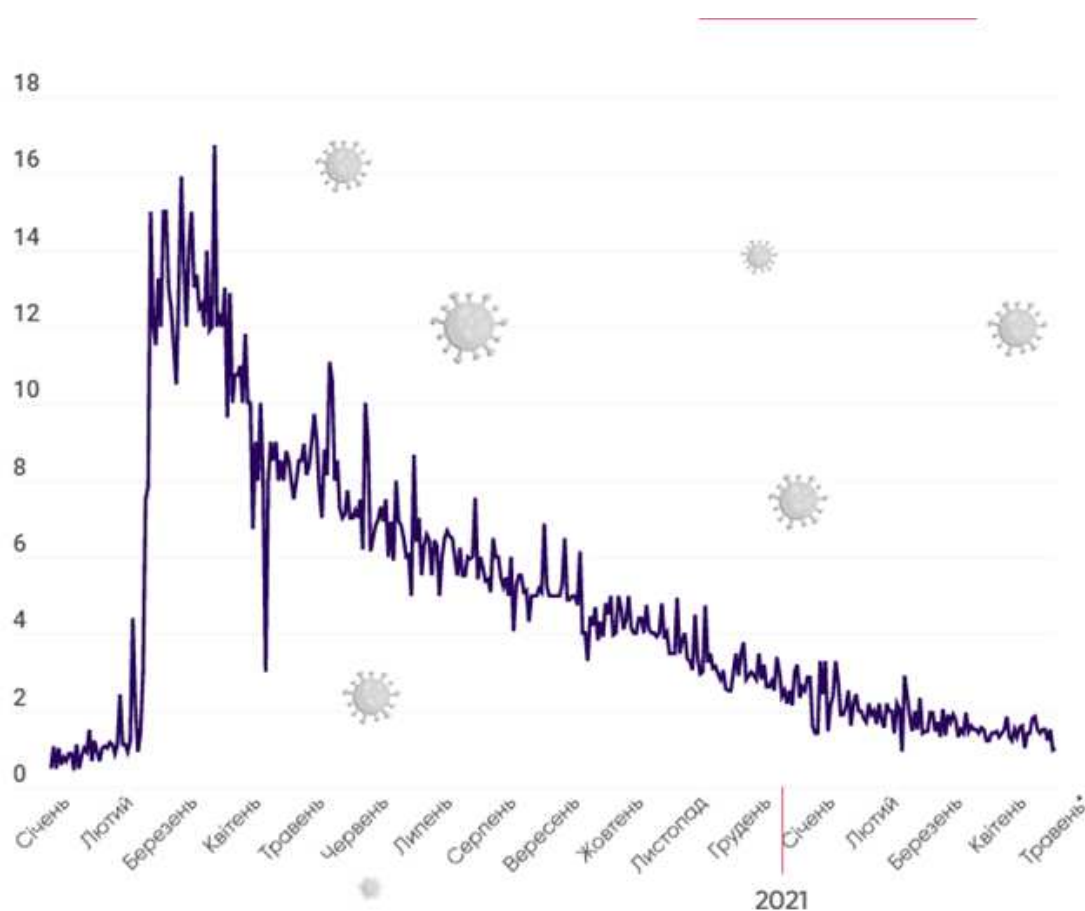


Рисунок 2 – Медіанна ціна на маски Prozorro

Вище було описано Український ринок масок, якщо розглядати ринок масок у світі, то так за даними Євростату держави з великим населенням імпортували більше масок, ніж держави з невеликим населенням. Однак при розгляді імпорту на душу населення між державами спостерігаються помітні відмінності, відзначають в Євростаті.

У Люксембурзі, де проводилася державна політика поширення масок по всій країні, був найвищий імпорт масок на душу населення – 121 євро на людину. Бельгія, Німеччина і Франція були єдиними країнами, в яких імпорт перевищував 50 євро на людину.

Водночас, імпорт був менше ніж 10 євро на людину на Кіпрі, в Польщі, Швеції, Хорватії, Греції і Болгарії.

В абсолютних цифрах найбільше за пів року на маски витратила Німеччина – 4,4 млрд євро. Далі йдуть Франція – 3,4 млрд євро і Італія – 1,7 млрд євро. Найменше витратили Кіпр – 7 млн євро, Мальта – 9 млн євро і Естонія – 14 млн євро.

Китай був основним партнером Європейського союзу (ЄС) із імпорту масок для обличчя, поставивши 92% масок в першому півріччі 2020 року, що на 30 процентних пунктів більше, ніж у першому півріччі 2019 року.

За винятком Гонконгу, інші шість партнерів ЄС з імпорту втратили частку ринку. У першому півріччі 2020 року тільки В'єтнам і Гонконг поставили понад 1% від загального обсягу імпорту масок ЄС. На частку Сполученого Королівства, Туреччини та Тунісу прийшлося 0,7% [7].

Проаналізувавши ринок масок українські підприємства частково покривають потребу в медичних масках, повідомили в Міністерстві розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, імпорт медичних масок суттєво вищий.

1.2 Аналіз методів проведення оцінки життєвого циклу масок для індивідуального захисту

Оцінка життєвого циклу (LCA, аббревіатура подається англійською мовою так, як вона визначається в міжнародному стандарті ISO 14040), разом з екобалансами й аналізом екологічного ресурсу є методом оцінювання екологічних наслідків продукції або процесу від моменту їх утворення до повного захоронення .

Оцінка життєвого циклу фокусується на аналізі повного життєвого циклу продукції. Найбільші дослідницькі зусилля фокусуються на стадії інвентаризації. На цій стадії створюється структурна схема процесу, ототожнюються входи і виходи матеріалів та енергії, що залучаються до життєвого циклу продукції, і визначаються їхні кількісні показники [8].

До основних особливостей оцінки життєвого циклу продукції належать:

- системна й адекватна оцінка екологічних аспектів продукції на стадіях її життєвого циклу, тобто оцінка екологічних аспектів продукції систем, що являють собою модель життєвого циклу продукції — від одержання сировини, матеріалів до переробки або захоронення відходів ;
- залежність глибини деталізації і часових меж оцінки життєвого циклу від поставлених цілей, і завдань;
- певні заходи щодо захисту конфіденційності й доречності використання результатів оцінки життєвого циклу залежно від їх передбачуваного застосування.

Зміст аналізу, якість даних, методологія та вихідні результати оцінки життєвого циклу продукції мають бути прозорими й зрозумілими. Процес оцінки життєвого циклу слід обговорювати, джерела даних — документувати [9].

Схема життєвого циклу продукції зображена на рисунку 3.



Рисунок 3 – Схема життєвого циклу продукції

Був проведений аналіз різних джерел інформації, що стосується оцінки життєвого циклу масок для індивідуального захисту обличчя.

Наприклад, у статті [10], дослідники розібрали маску для обличчя, щоб отримати вагу кожного окремого компонента на прецизійній вазі з каліброваною неточністю 1,5%. Проведений окремий експеримент для встановлення складу в масці, також проведений аналіз чутливості та порівняння собівартості перероблених масок.

Результати чутливості показують, що навіть при відносно значних відмінностях у зміні параметрів, перероблені маски для обличчя продовжують мати менший вплив у всіх категоріях порівняно з використанням нових одноразових масок.

Основне у цьому дослідженні, озираючись на дослідницькі питання, демонструє, що при повторній обробці масок для обличчя FFP2 існує значна екологічна користь. Тому повторна обробка може сприяти досягненню кругової

економіки, оскільки оцінка життєвого циклу показує приблизно 42% зменшення викидів CO₂, визначених та виміряних у кг CO₂ екв. Крім того, при переробці масок для обличчя є цінова вигода порівняно з використанням нових одноразових масок, вартість переробленої маски менша в 5 разів ніж нової. Системна межа нових і перероблених масок для обличчя зображена на рисунку 4.

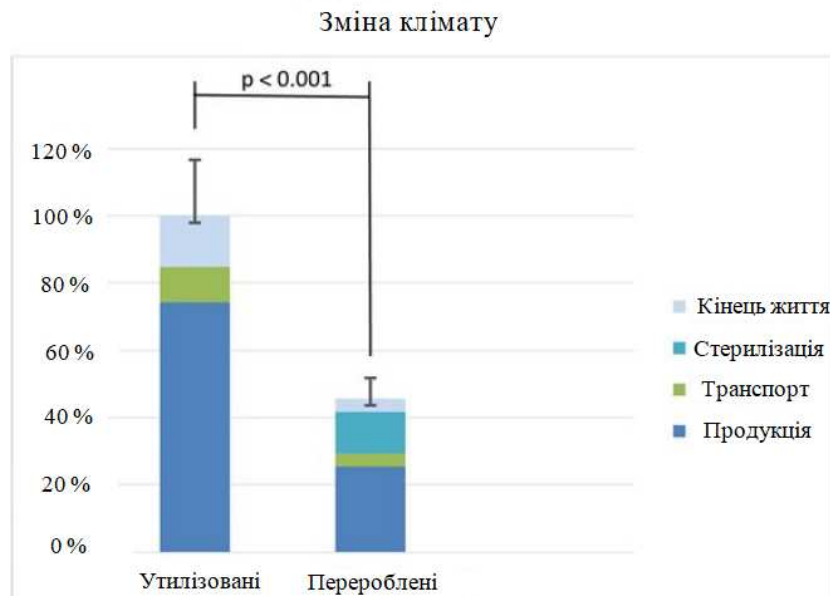


Рисунок 4 – Системна межа нових і перероблених масок для обличчя

Результати цього дослідження показали явну користь від повторної обробки масок для обличчя. Продемонстрували значно менший вплив на навколишнє середовище для перероблених медичних масок для обличчя, ніж для нових одноразових масок без шкоди. Крім того, переробка призводить до зниження витрат.

Іншими авторами [11], було проведено порівняльне дослідження п'яти різних масок для обличчя, які можна використовувати в період пандемії Covid - 19: M1 – 3D-друкована маска зі змінними фільтрами, M2 – хірургічна маска, M3 – маска FFP2 з клапаном, M4 – маска FFP2 без клапана, і M5 – маска, що миється. Роботи були проведені з використанням методології, що відповідає ISO (ISO 14040 – 14044).

Результати підкреслюють, що найбільший вплив з точки зору на навколишнє середовище несуть маски – ті, які потрібно викинути після їх використання (тобто хірургічна маска, маска FFP2 з клапаном, маска FFP2 без клапана). Зокрема, маски FFP2 з клапаном та без клапана менш стійкі, ніж хірургічні маски, через те, що кількість матеріалу, що використовується для їх виготовлення, є більш впливовіші в порівнянні із загальною кількістю масок, необхідних у певні часові рамки. Це питання дає важливе уявлення про розвиток заходів екологічного проектування, орієнтованих на виробництво FFP2, що вимагає меншої кількості сировини поліпропілену(ПП) та поліестеру (ПЕ). І навпаки, загальновідомо, як маска FFP2 має кращі показники для запобігання поширенню вірусу порівняно з хірургічною маскою. Іншим важливим зауваженням, щодо матеріалу, що використовується для виробництва фільтрів та масок, є можливість використання одного матеріалу (тобто лише ПП або лише ПЕ) для виробництва нетканого матеріалу. Зокрема, прийняття лише матеріалу ПП для нетканих матеріалів дозволить зменшити екологічне навантаження для масок хірургічних, FFP2 з клапаном та FFP2 без клапана. Крім того, літературні дані демонструють, що ПП діє краще з точки зору ефективності блокування крапель. З іншого боку, багаторазові маски, як 3D-друкована маска зі змінними фільтрами, так і маска, що миється, показують дуже важливі переваги з точки зору екологічного навантаження порівняно з іншими.

Також були проведені дослідження двох типів масок таких, як хірургічна та бавовняна за двома сценаріями. Для порівняння обох типів масок використовували, як функціональну одиницю одну людину в Швейцарії, яка носила маски протягом одного робочого тижня, коли їздила на роботу в громадському транспорті та тричі заходила в магазин. Два різних сценарії поведінки користувачів (суворий і менш суворий сценарій) були змодельовані, щоб показати вплив людської поведінки.

У суворішому сценарії людина має, як мінімум 2 бавовняні маски, щоб носити чисту маску щодня. Протягом одного тижня це призводить, з одного

боку, до прання двох масок 6 разів, припускаючи, що кожен раз це відбувається в напівповній пральній машині при 60 °С, як рекомендовано Швейцарською національною науковою групою з Covid-19. З іншого боку, можна носити 13 хірургічних масок (1 маска в дорогу на роботу і 1 маска, коли йде в магазин).

Менш суворий представляє потенційну поведінку людей, навіть якщо це не рекомендується з точки зору здоров'я. У цьому випадку, людина або носить одну бавовняну маску протягом тижня, таку ж саму, і в кінці тижня в напівповній пральній машині при 40 °С відбувається її прання, або носить 6 хірургічних масок 1 на день.

У більш жорсткому сценарії бавовняні маски мають вищий вплив на навколишнє середовище, ніж хірургічні маски, з точки зору споживання води та екологічного впливу тоді як у менш суворому, лише споживання води бавовняної маски вище. Хоча менш суворий випадок, має загалом менший вплив на навколишнє середовище, на сьогодні така поведінка не рекомендується з точки зору здоров'я.

Високі показники споживання води, екологічного впливу та зміни клімату бавовняних масок, в основному викликані середніми глобальними даними щодо виробництва бавовняного волокна, що включає інтенсивне зрошення, а також велику кількість пестицидів і добрив. Етапи виробництва хірургічної маски щодо зміни клімату, nr -CED, поглинання води та екологічного дефіциту зображена на рисунку 5.

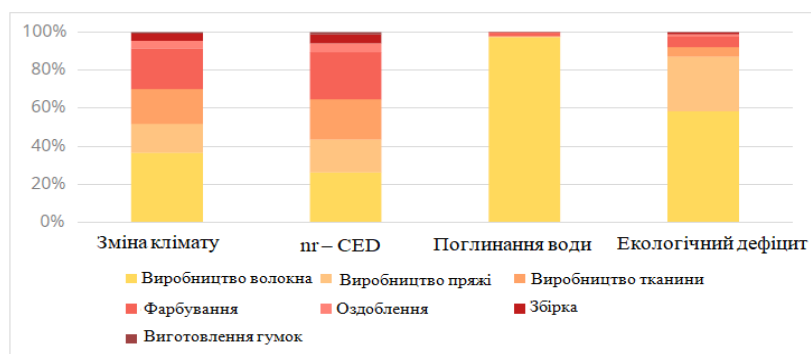


Рисунок 5 – Етапи виробництва хірургічної маски щодо зміни клімату, nr -CED, поглинання води та екологічного дефіциту

Проте, з проведеним аналізом чутливості, розглянуті варіації дають певну безпеку для базової інтерпретації цих результатів та перші ознаки щодо покращення екологічних характеристик багаторазових масок. Деякі компанії вже змогли збільшити кількість циклів прання. Це показує, що можна досягти точки беззбитковості для екологічного дефіциту. Щоб маски були стійкими, вони повинні бути ефективними, безпечними та дихаючими, та екологічно ефективними [12].

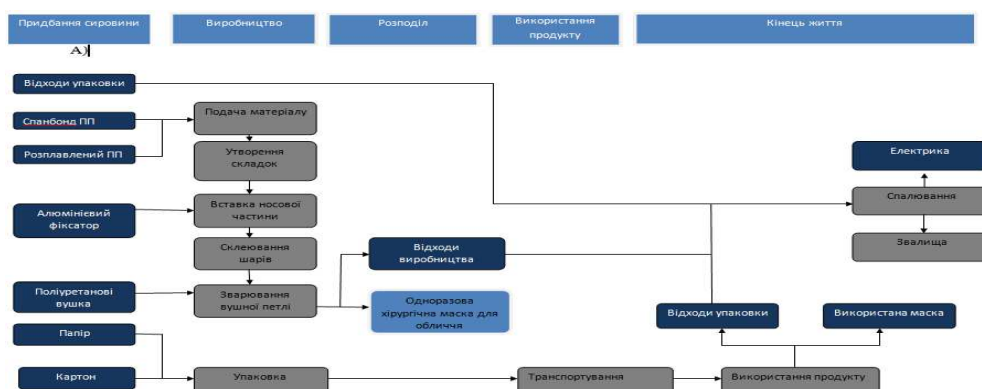
Також була проведена оцінка життєвого циклу багаторазової маски для обличчя та одноразової хірургічної. Описані принцип дії та характеристики даних масок. У цьому дослідженні представлений весь ланцюжок створення вартості від придбання матеріалу до кінця терміну служби.

Метою дослідження є розуміння довгострокового впливу на довкілля, впливу на водойми та використання ресурсів від споживання масок для обличчя. Проведений аналіз впливу викидів, аналіз чутливості та аналіз Монте-Карло.

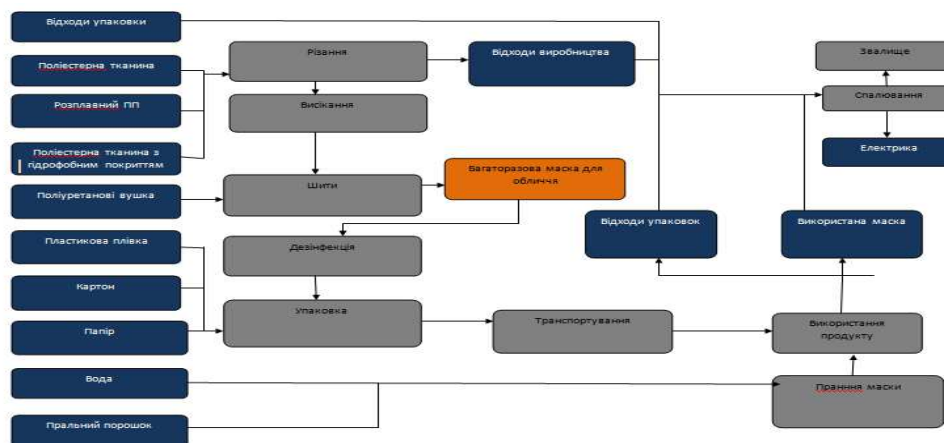
При аналізі чутливості вхідний коефіцієнт викидів та кількість використаного матеріалу вибраних елементів змінювалися на $\pm 10\%$ від базового значення для визначення гарячих точок викидів для кожної маски для обличчя. Проведений аналіз коефіцієнта вхідних викидів для придбання сировини визначає області, де вдосконалення процесу придбання сировини матиме найбільший вплив на сукупний викид маски для обличчя. Одночасно, аналіз вхідної кількості матеріалів визначає вхідні матеріали, які мають найбільший вплив на сукупний викид маски для обличчя.

Результати обох масок для обличчя показують, що використання багаторазової маски для обличчя генерує менше відходів і матиме менший вплив щонайменше на 30% серед категорій впливу, порівняно з використанням одноразової хірургічної маски для обличчя. Аналіз внеску на кожній стадії життєвого циклу приходить до висновку, що викиди відбуваються переважно на етапі придбання сировини для більшості категорій впливу обох масок для

обличчя [13]. На рисунку 6 зображений інвентаризаційний аналіз, маски одноразової та багаторазової.



а)



б)

а) Одноразова хірургічна маска для обличчя; б) Маска для обличчя багаторазового використання

Рисунок 6 – Інвентаризаційний аналіз

Наприклад, у статті [14], було розглянуто три типи масок, призначених для загального користування: медичні маски, громадські маски та громадські маски з маркуванням. У цьому дослідженні не розглядаються фільтруючі респіратори для обличчя, такі як N95 (США) і FFP2 (ЄС), які в основному використовуються медичними працівниками. Розглянуто кілька індикаторів впливу на навколишнє середовище:

- Індекс потенціалу глобального потепління (GWP100), який виражає вплив виробництва, транспортування та переробки масок на викиди парникових газів. GWP100 виражає інтегрований у часі ефект потепління за 100 – річний період через виділення даного парникового газу в сучасній атмосфері порівняно з двоокисом вуглецю (в одиниці маси, кг).
- Метод UBP спирається на методологічну концепцію екологічного дефіциту та виражає вплив на навколишнє середовище в термінах екоточок. Він охоплює, наприклад, поглинання води виробництва бавовни, а також вплив виробництва енергії на біорізноманіття під час фази використання.
- Витік пластику (PL) виражає кількість пластику, що залишає техносферу і накопичується в природному середовищі. PL вимірює кількість пластику, який остаточно викидається в океан або в інші відсіки (прісна вода, ґрунти та інші наземні середовища), включаючи як мікропластик, так і макропластик.

Розглянувши вище наведені індикатори впливу на навколишнє середовище, зробили висновок, що використання медичних масок із стратегією очікування та повторного використання видається найбільш доцільним, оскільки це хороший компроміс між впливом на навколишнє середовище та ефективністю захисту, та доступне з економічної точки зору. Марковані маски спільноти також є цікавою альтернативою зі збільшенням кількості циклів використання.

Загалом, результати підкреслюють необхідність розробки процедур та правової/оперативної бази для розширення використання засобів захисту під час пандемії. Такий підхід зменшить вплив масок на навколишнє середовище та зробить систему охорони здоров'я більш стійкою у разі дефіциту обладнання. Також підкреслюється необхідність вивчення використання матеріалів, які менш забруднюють довкілля, ніж пластик, для виготовлення фільтруючого матеріалу.

В оцінці життєвого циклу переробки масок для обличчя під час пандемії COVID -19, було досліджено :

- Аналіз інвентаризації життєвого циклу (LCI);
- Оцінка впливу на життєвий цикл, зміна клімату;
- Аналіз невизначеності;
- Аналіз чутливості;
- Порівняння собівартості.

Основні дослідження демонструють, що при повторній обробці масок для обличчя існує значна екологічна користь. Тому повторна обробка може сприяти досягненню кругової економіки, оскільки оцінка життєвого циклу свідчить про скорочення зміни клімату на 58%. Крім того, при переробці масок для обличчя є цінова вигода порівняно з використанням нових одноразових масок. На рисунку 7 наведені джерела відносно категорії впливу зміни клімату.



Рисунок 7 – Джерела відносно категорії впливу зміни клімату

Аналіз чутливості, проведений у цьому дослідженні, показує, що як завантаження меншої кількості масок для обличчя в автоклав, так і зміна частоти відторгнення, має значний вплив на кінцевий результат. Відносно високий вплив процесу стерилізації відповідає іншим дослідженням, які показали, що процес стерилізації є критичним процесом для екологічного відбитку стерильних продуктів. Тому лікарня повинна враховувати оптимальне

завантаження автоклаву, оскільки обсяг має значний вплив на собівартість та вплив зміни клімату на продукт. Поряд зі стерилізацією паром, доступні інші методи стерилізації масок для обличчя, такі як стерилізація плазмою, стерилізація гамма-випромінюванням або УФ - опроміненням. На рисунку 8 зображений аналіз чутливості

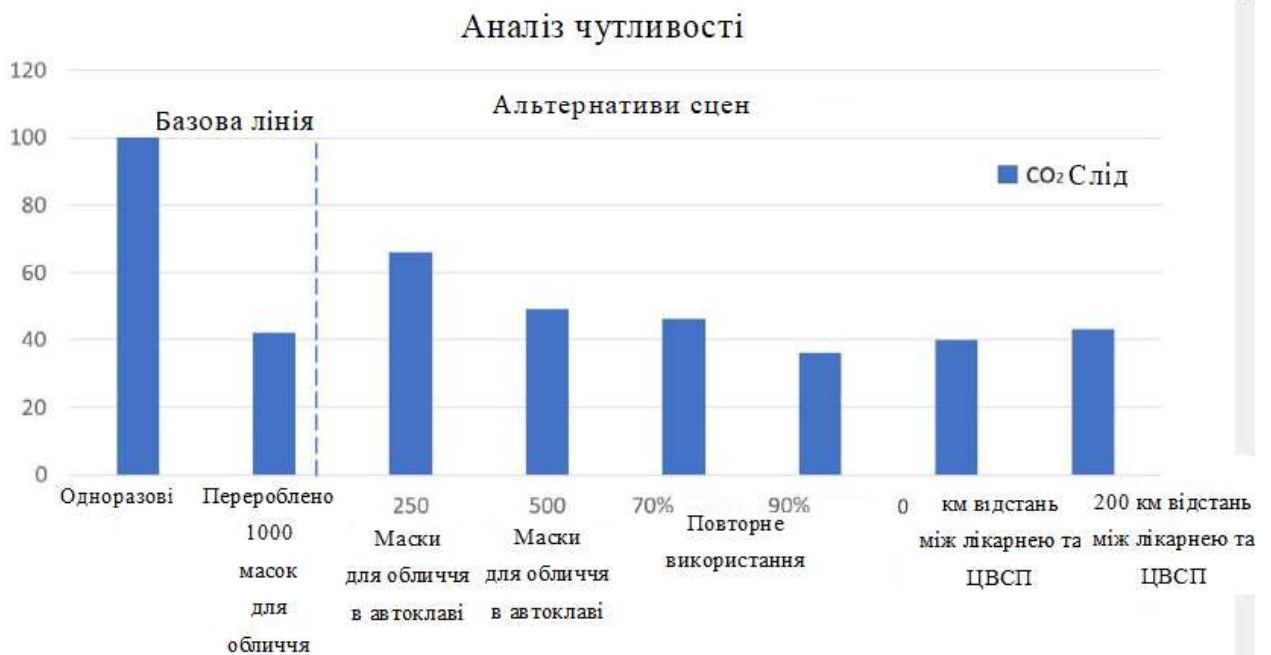


Рисунок 8 – Аналіз чутливості

Зліва від пунктирної лінії, базові одноразові (маски використовуються лише один раз) порівняно з переробленими масками для обличчя з еталонною автоклавною завантажувальністю 1000 масок, коефіцієнтом відмови 20% та транспортною дистанцією 46,1 км. Праворуч від пунктирної лінії, вплив на зміну клімату різної завантажувальної здатності автоклаву, різну швидкість відторгнення та різну транспортну відстань від лікарні до місця стерилізації.

LCA було проведено на основі 20% відхилення в результаті використання масок для обличчя, які більше не можна було використовувати повторно через деформації та зламані гумки. Однак, якщо краще подбати про використану маску для обличчя, так як в інструкції щодо того, як правильно носити, зберігати та поводитися з масками, ймовірно, що відсоток відмови ще більше

впаде. Це призведе до кращого результату в кількості масок, які потрібно переробити, а отже, ще більше покращить значення зміни клімату.

Інвентаризація життєвого циклу маски хірургічної для захисту обличчя зображена на рисунку 9.

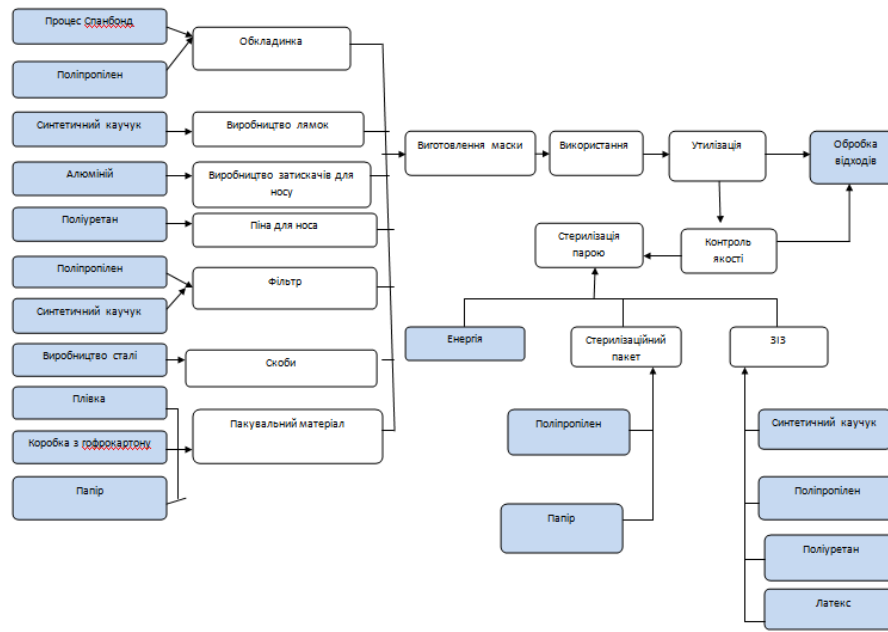


Рисунок 9 – Інвентаризація життєвого циклу маски хірургічної

Результати цього дослідження показали явні переваги повторної обробки масок для обличчя. LCA продемонструвала значно менший вплив зміни клімату на перероблені медичні маски для обличчя порівняно з новими. Крім того, переробка призводить до зниження витрат. Це дослідження може послужити натхненням для дослідження переробки інших медичних виробів через потенційний великий вплив зміни клімату та скорочення витрат. Тому це дослідження виступає за те, що при розробці медичних виробів слід враховувати принципи інженерного проектування кругового проектування [15].

Узагальнюючи огляд джерел науково-технічної інформації, було описано ринок масок для захисту обличчя, та представлено основних постачальників. Охарактеризовано аналіз методів проведення оцінки життєвого циклу масок та наведені приклади.

2 Об'єкти та методи дослідження

2.1 Характеристика об'єктів дослідження

Розглянувши та описавши ринок масок для індивідуального захисту обличчя було вибрано такі види масок, які представлені в таблиці 2. Тому, що саме ці види масок найбільше розповсюджені в магазинах, аптеках та використовуються в повсякденному побуті.

Таблиця 2 – Характеристика вибраних масок

Назва	Фото	Компоненти	Матеріал	Виробник
1	2	3	4	5
Хірургічна маска		Перший шар (спанбонд) Другий шар (мельтблаун) Третій шар (спанбонд) Носовий фіксатор Вушка	Поліпропілен Поліпропілен Поліпропілен Алюміній Поліуретан	ТОВ “Партнер Декор”, ДСТУ EN 14683:2014
Тканинна маска		Перший шар Другий шар (флізелін) Вушка	Бавовна Поліпропілен Поліуретан	ТОВ “Партнер Декор”, ДСТУ EN 149:2017

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5
Респіраторна маска з клапаном (N95/FFP2 NR)		Перший шар (спанбонд) Другий шар (мельтблаун) Третій шар (спанбонд) Носовий фіксатор Захист для носу Клапан Вушка	Поліпропілен Поліпропілен Поліпропілен Алюміній Пінополіуретан Поліпропілен Поліуретан	ТОВ “Партнер Декор”, ДСТУ EN 149:2017

Медична маска (також відома як хірургічна маска, або маска для медичних процедур) є одноразовою та підлягає утилізації після використання.

Найбільш ефективною дія маски є впродовж перших півгодини до години носіння, залежно від інтенсивності забруднення. Практично через 2 години маска стає вологою від того повітря, що видихає особа, та перестає ефективно захищати.

Завдання маски – значно зменшити кількість краплинок слини, мокротиння від хворої людини, зменшити відстань, на яку пошириться вірус від хворої особи. Оскільки розміри коронавірусу є надзвичайно малі, звичайно, медична маска не дасть абсолютного захисту від інфекції. Медична маска в даному випадку радше допомагає зменшити ризик зараження інших (здорових осіб) від хворого. Носіння медичних масок є ефективними додатковими заходами, що уповільнюють поширення спалаху інфекції, епідемії.

Маска хірургічна :

1 Повинна бути виготовлена з гіпоалергенного нетканого матеріалу без запаху.

2 Зовнішня та внутрішня поверхні повинні бути різного кольору, на резинках, з фіксатором на переніссі.

3 Не повинна перешкоджати вільному диханню.

4 Повинні відповідати ДСТУ EN 14683:2014 Маски хірургічні. Вимоги та методи випробування [16].

Тканинна маска для обличчя — маска на ніс та рот, що виготовляється з текстильних матеріалів, як правило з бавовни. Хоча вони менш ефективні, ніж медичні маски, вони широко використовуються для захисту від інфекційних захворювань, також й від забрудненого повітря. Рекомендуються органами охорони здоров'я лише для захисту від можливих джерело поширення хвороб під час епідемій.

Маску можна використовувати кілька разів, зберігаючи ефективність фільтрації щонайменше 50 прань. У цьому випадку обслуговування передбачає ручне прання при рекомендованій температурі 40 °С [17].

Респіратор N95/FFP2 NR:

1 Повинен бути призначений для захисту від дрібнодисперсних аерозолів.

2 Повинен надавати максимальний захист від твердих та рідких аерозолів при концентрації не нижче 12 гранично допустимих концентрацій (ГДК).

3 Клас захисту респіратору FFP2 NR згідно з вимогами міжнародних стандартів.

4 Респіратор повинен бути виготовлений з нетканого фільтрувального матеріалу.

5 Повинен бути оснащений носовим фіксатором (носовою кліпсою), носовим обтюратором. Внутрішня частина респіратора має бути виготовлена з м'якого гіпоалергенного нетканого матеріалу.

6 Повинен відповідати вимогам ДСТУ EN 149:2017 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування». Технічного регламенту засобів індивідуального захисту, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року № 761.

7 Наявність сертифікатів системи управління якістю ISO 9001, ISO 13485 буде перевагою.

Респіратор N95 — це пристрій захисту органів дихання, розрахований на щільне прилягання до обличчя та ефективну фільтраційну здатність. Позначення «N95» вказує на здатність респіратора блокувати щонайменше 95% часточок розміром 0,3 мікрона [18].

2.2 Методики визначення якісних та кількісних характеристик матеріалів для виготовлення масок

Одним з етапів проведення оцінки життєвого циклу є визначення якісних та кількісних характеристик матеріалів, які використовуються для виготовлення основного продукту (маски).

Перший етап полягає в оцінці експлуатаційних властивостей таких, як поверхнева щільність, повітропроникність, паропроникність та водопроникність.

Нетканий матеріал може виготовлятися різними способами, мати неоднакову товщину, зовнішній вигляд і призначення. Однак основною характеристикою таких полотен в більшості випадків є міцність. Остання, у свою чергу, залежить від поверхневої щільності матеріалу. Цей параметр в різних за призначенням групах може коливатися в межах $10 - 600 \text{ г/м}^2$ [19].

Вирізається проба у вигляді квадрата або кола площею 100 см^2 . Якщо структура матеріалу така, що проба площею 100 см^2 не представляє всіх характеристик матеріалу, для випробувань використовують пробу великих розмірів [20].

Перед зважуванням зразок матеріалу витримують у продовж 10–24 годин в нормальних атмосферних умовах (відносна вологість повітря – $65 \pm 2\%$, температура повітря – $20 \pm 2^\circ\text{C}$). Зважують зразок з точністю до $0,01 \text{ г}$ і розраховується поверхнева щільність по формулі наведеній нижче [21].

Поверхневу щільність M_A , г/м², обчислюють за формулою :

$$M_A = \frac{m \cdot 10000}{A}, \quad (1)$$

де m – маса проби, г;

A – площа проби, см².

Також використовується тест повітропроникності матеріалів маски, вимірявши, наскільки далеко можна продути невеликий предмет (висока повітропроникність на найбільших відстанях).

Методика визначення повітропроникності:

- 1 На велику плоску поверхню, встановлюється малярська стрічка.
- 2 Кожний зразок матеріалу закріплюється на один кінець картонної трубки гумкою.
- 3 Використовується кулька, ворсу або ватного диска з розміром в горошину.
- 4 Кулька кладеться на дальній край стрічки, це положення є нульовою точкою.
- 5 Кінець картонної трубки, обгорнутої матеріалом, на інший край стрічки (ближній бік стрічки).
- 6 Для продування, використовується один звичайний вдих.
- 7 Вимірюється відстань, яку прокотилася кулька і фіксується.
- 8 Кулька поміщається на нульовий маркер і повторюється вимірювання для кожного матеріалу, доки всі матеріали не будуть перевірені [22].

Паропроникність характеризує здатність виробів пропускати водяну пару з середовища, підвищеною вологості повітря в середу з меншою вологістю.

Паропроникність – процес випаровування, дифузія може здійснюватися шляхом конвекції пари через відкриті пори, а також шляхом сорбції і десорбції.

Паропроникність залежить від гігроскопічних властивостей полотен і різниці між температурою і відносною вологістю повітря по обидві сторони проби полотна [23].

Методика визначення паропроникності:

1 Склянку заповнену водою, щільно покривають пробкою випробуваного матеріалу і зважують з точністю до 0,001 г.

2 Заповнену водою склянку (відкриту) також зважують з точністю 0,001 г.

3 Дві склянки поміщають в сушильну шафу, де встановлена температура 80°C.

4 Через 1 годину обидві склянки виймають з сушильної шафи і повторно зважують.

5 Визначення абсолютної паропроникності B_h , мг/(м²·с):

$$B_h = \frac{A}{S\tau}, \quad (2)$$

де A – зменшення маси із закритого посуду, мг;

S – площа, через яку проходило випарювання води (для циліндричної посуду $S = \pi d^2/4$), м²;

τ – час дослідження матеріалу, с.

6 Визначення відносної паро проникності B_e , у відсотках [24]:

$$B_e = \frac{A}{B} \cdot 100, \quad (3)$$

B – зменшення масо води з відкритої посудини, мг.

Водопроникність B_n характеризується кількістю вологи, яка поглинається матеріалом при його повному зануренні у воду. Для визначення

водопроникність три зразки розміром 30×30 мм занурюють в стакан з водою на 10 хв.

Пробу витягнути з посудини і видавити між аркушами фільтрувального паперу вальцями масою 1 кг.

Водопроникність розраховують за формулою :

$$V_{\text{п}} = \frac{m_{\text{в}} - m}{m} \cdot 100 \quad (4)$$

де $V_{\text{п}}$ – водопроникність, %;

$m_{\text{в}}$ – маса зразка після замочування його у воді, г;

m – початкова маса зразка, г.

Другий етап полягає в ідентифікації матеріалів, використовуючи поляризаційний мікроскоп для дослідження структури, ІЧ-Фур'є-спектрометр для складу матеріалу та ідентифікація горіння полімеру.

За допомогою поляризаційного мікроскопу Axioskop 40 Pol, здійснювали дослідження структури даних матеріалів. Використовували поляризаційний мікроскоп прохідного і відбитого світла зображений на рисунку 10. Виробник: CarlZeiss.



Рисунок 10 – Поляризаційний мікроскоп Axioskop 40 Pol

Поляризаційний мікроскоп Axioskop 40 Pol поєднує сучасні вимоги до форми, ергономіки, функціональності та технічної якості.

Можливості мікроскопу:

- Об'єктив CP-"Achromat" 5x/0.12 Pol;
- Об'єктив CP-"Achromat" 50x/0.8 Pol;
- ЕС "Plan-Neofluar" 100x/1.30 OilPol [25].

ІЧ-Фур'є-спектрометр IRAffinity-1 фірми Shimadzu використовують для отримання ІЧ-спектрів, і по характерних смугах визначається склад матеріалу.

ІЧ-Фур'є-спектрометр IRAffinity-1 зображений на рисунку 11.



Рисунок 11 – ІЧ-Фур'є-спектрометр IRAffinity-1

Інфрачервона спектроскопія — різновид молекулярної оптичної спектроскопії, оснований на взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням в ІЧ діапазоні: між червоним краєм видимого спектра (хвильове число 14000 см^{-1}) і початком короткохвильового радіодіапазону (20 см^{-1}) [26].

Спектральний діапазон спектрометра становить від 7800 см^{-1} до 350 см^{-1} , співвідношення сигнал/шум становить $>30000:1$, розширення – $0,5\text{ см}^{-1}$, 1 см^{-1} , 2 см^{-1} , 4 см^{-1} , 8 см^{-1} , 16 см^{-1} . Пробу матеріалу потрібно нанести між пластинами кювети, яку помістити в прилад та реєструвати характерні смуги [27].

Приготування проби полягає у відборі невеликих (10 мм) круглих зразків, кожного шару вибраних масок.

Ідентифікація, яка проводиться для визначення виду досліджуваних матеріалів, може передбачати і визначення характеру горіння, залишку і запаху, так і перевірку розчинності зразків.

Для визначення горіння полімеру невеликий зразок закріплюють на платиновому дроті і вносять у полум'я газового пальника на 5–10 хвилин. Відмічають забарвлення полум'я, ступінь горючості зразка, топиться чи ні, а також запах продуктів горіння. Одержані зразки волокон підпалюють та досліджують характер горіння.

При визначення розчинності, 1 г досліджуваного зразку вміщують у пробірку з притертим корком, приливають 10 мл розчинника і залишають стояти 30 хв. при кімнатній температурі, час від часу струшуючи вміст пробірки. Через 30 хв відмічають характер розчинності зразку (розчинний, нерозчинний та ін.) [28].

2.3 Методика проведення досліджень по оцінці життєвого циклу масок для індивідуального захисту

Аналіз життєвого циклу – один із найбільш розвинених засобів індустріальної екології. Він складається з об'єктивної і кількісної оцінок потоків матеріалів і енергії та впливів на довкілля, які пов'язуються з певним процесом або продукцією, або індустріальною діяльністю. Назва вказує, що аналіз має включати повний життєвий цикл діяльності, починаючи з видобування і обробки сировини, виробництва, транспортування, розповсюдження, використання, утримання (обслуговування та ремонт) і переробки вторинної сировини або прикінцевого розташування (заховання) відходів. Однак у конкретних випадках аналіз зосереджується тільки на деяких з цих стадій.

Структура оцінки життєвого циклу зображена на рисунку 12:

1 Мета і межі LCA;

2 Інвентаризаційний аналіз (тобто аналіз потоків матеріалів і енергії);

3 Екологічна оцінка впливів;

4 Інтерпретація результатів, аналіз удосконалення і рекомендацій.

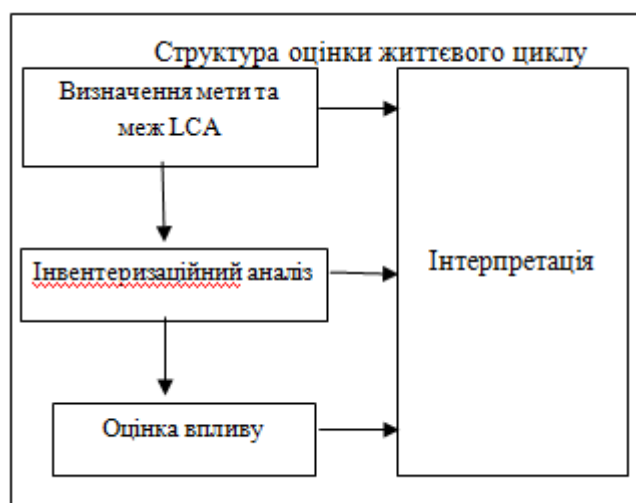


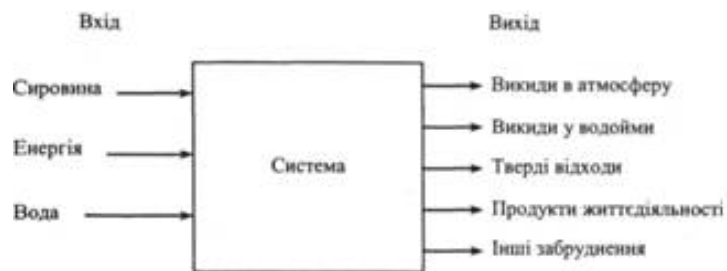
Рисунок 12 – Структура оцінки життєвого циклу

Мета LCA – гарантувати, що відповідні впливи альтернативних процесів, продуктів і видів діяльності на навколишнє середовище повністю досліджуються (аналізуються та оцінюються), так само як оцінюються і здійснюються можливості мінімізувати несприятливі впливи.

Інвентаризаційний аналіз – найкраще розроблений на сьогодні етап, він дотримується лінії традиційного технічного й економічного аналізу нових процесів і продуктів: створюються баланси матеріалів і енергії, що включають сировину, реактиви, продукти, субпродукти і також тверді, рідкі та газові емісії (відходи). Мета інвентаризаційного аналізу полягає у визначенні на основі баз даних вимог до необхідної кількості енергії і необроблених матеріалів (сировини), емісій в атмосферне повітря, скидів у воду, твердих відходів та інших екологічних впливів, зазначаних протягом життєвого циклу продукції, процесу або діяльності.

Система починається видобуванням з доквілля всієї необхідної сировини і завершується результатами, у тому числі відходами і емісіями, які

повертаються назад до навколишнього середовища схема зображена на рисунку 13.



Рисунку 13 – Входи та виходи системи аналізу LCA

У середині найбільших систем можуть бути визначені три головні групи дій:

1 Дії з виробництва, використання, транспорту і розповсюдження продукції.

2 Дії з виробництва додаткових матеріалів, наприклад пакування.

3 Виробництво енергії, що потрібна для забезпечення роботи системи.

Чітко визначена мета може удосконалити результати наступних кроків, коли повний процес розділяється на підсистеми. Приклад типових категорій підсистеми показаний на рисунку 14.



Рисунку 14 – Підсистеми життєвого циклу продукту

Інвентаризація має також включати всі входи енергії, матеріалів і обладнання, необхідного для видобування кожного виду сировини зображено

на рисунку 15. Через те, що це суттєво ускладнює аналіз, мають бути визначені критерії, щоб ліквідувати несуттєві та малосуттєві внески.



Рисунок 15 – Використання сировини підсистемами

Зокрема збираються дані про екологічні емісії та відходи, які відбуваються протягом процесів виробництва. Цей процес може бути повторним як для кількох потоків ресурсів, так і кількох проміжних циклів перед кінцевим виробництвом продукції.

Інвентаризація видів діяльності з транспортування продукції до складів і кінцевих користувачів може бути спрощена за допомогою стандартів, які використовують усереднені значення відстаней і типові методи транспортування зображені на рисунку 16. Інвентаризація процесу розповсюдження включає складання, управління запасами і повторне пакування. Екологічні елементи управління, наприклад охолодження, є компонентами як транспортування, так і розповсюдження.



Рисунок 16 – Транспортування та розповсюдження продуктів

Використання та утилізація відходів. Дані, які збираються для цієї підсистеми, містять такі види діяльності споживача, як використання (споживання, зберігання та експлуатація продукції), утримання (ремонт) і багатократне (повторне) використання зображено на рисунку 17. Розглядаються такі параметри, що визначають межі підсистеми:

- час використання (ресурс) продукції перед тим, як вона утилізується (викидається);
- входи, які використовуються в процесі супроводу;
- типова частота ремонту;
- потенційні варіанти багатократного використання продукції або її окремих компонентів.



Рисунок 17 – Використання та утилізація продукції

Удосконалення в технології повторного використання збільшить як кількість коефіцієнтів, так і кількість продуктів, які будуть перероблятися, змінюючи варіанти переробки вторинної сировини як у незамкнений, так і замкнений цикл зображена на рисунку 18.



Рисунок 18 – Підсистема повторного використання продукту або окремих його компонентів

Наступний етап LCA – оцінка впливу на навколишнє середовище – використовує результати аналізу інвентаризації, а саме:

- Застосування даних інвентаризації для визначення різних категорій впливу (наприклад, впливів на здоров'я, пошкодження екосистем, збереження природних ресурсів).

- Визначення кількісних показників впливів (якогома більше) і потім їх суми всередині конкретної категорії впливу (тобто, характеристика всередині категорії впливу на здоров'я або пошкодження екосистем, або збереження природних ресурсів).

- Спроба об'єднати впливи різних категорій в одне число, яке становитиме загалом "екологічну вартість" продукту; це може бути зроблено тільки в деяких випадках і коли доступні значимі коефіцієнти навантаження (для кожної категорії, приміром здоров'я людини і якість екосистеми).

Тож оцінка впливу – це процес системного аналізу та кількісної оцінки екологічних ефектів, які ототожнюються з компонентами інвентаризації. Оцінка впливу має адресуватись як до загального екологічного впливу, так і здоров'я людини (як до окремої соціальної категорії), так само як і до соціальних, культурних, економічних наслідків впливу.

Одна з найбільш видатних і значимих реалізацій методології LCA є Екоіндикатори-99 (Есо-99). Вони були оригінально розроблені Гоедкопом (Goedkop, 1995) і відтак ним і фірмою Pre Consultants у Голландії. Основна ідея створення Есо-99 полягає в тому, що тепер можливо інженерам незалежно провести оцінювання життєвого циклу для того, щоб проаналізувати впливи їхнього проекту на довкілля.

Цей метод використовується для підрахунку стандартних індикаторних коефіцієнтів для часто використовуваних матеріалів і процесів. Вони доступні у формі підручника "Екоіндикатор-99 для конструкторів" і в пакетах програми ECO-it - Design for Environment. Результати Есо-99 ґрунтуються на методології оцінки впливу, що перетворює дані таблиці інвентаризації в результати збитку, які можуть бути залучені, залежно від потреб і альтернативи

споживача, до результатів збитку для кожного з трьох категорій збитку, а затим використані для загального результату, що виражається єдиною величиною (екологічним показником) для специфічної продукції або процесу. У виданні 1995 (Екоіндикатор-95) були доступні понад 100 таких стандартних індикаторних значень.

Заради простоти в Есо-99 шкідливі ефекти на довкілля поділяють на три широкі за змістом категорії: здоров'я людини, якість (флора і фауна) екосистем і природні ресурси планети.

За цією категорією Есо-99 розраховує кількість людей, важкість хвороби і кількість років, які втрачаються через екологічні ефекти внаслідок передчасної смерті. Такі впливи включають зміну клімату, виснаження шару озону, канцерогенні впливи, респіраторні (дихальні) впливи й іонізуюче випромінювання (ядерне).

В Есо-99 збитки якості екосистем виражаються як відсоток видів, які зникли в конкретній області через екологічне навантаження (частка, що потенційно зникає, або PDF). PDF потім збільшується за розміром зони і періодом експозиції часу, щоб дістати кінцевий збиток. Якість екосистеми складається з трьох головних категорій: екотоксичність, кислотність/заболочуваність і використання/перетворення земель.

Екотоксичність виражається як відсоток усіх екологічних видів, що живуть під токсичним тиском (частка потенційного ураження, або PAF). Збиток якості екосистеми визначається через частку потенційного ураження (PAF) видів. Використовується відношення доза-відповідь для суміші субстанцій у довкіллі, що йде за логістичною кривою. Концентрації окремих субстанцій стандартизуються (нормуються) до одиниць небезпеки (HU), що являють собою фонову суміш субстанцій.

Кислотність/заболочуваність проводяться в Есо-99 як єдина категорія впливу. Збиток цільовим видам моделюється в природних зонах. Ця модель ґрунтується на даних Нідерландів і вона не підходить до моделювання впливу, наприклад, фосфатних добрив.

Використання і перетворення землі ґрунтується на емпіричних даних поширення судинних рослин, як функції типу використання землі та розміру зон. Беруться до уваги як місцеві, так і регіональні збитки екосистемам.

Есо-99 визнають, що можуть бути й інші впливи на довкілля, приміром естетичні збитки, збитки для культурної спадщини тощо, котрі не розглядаються вищезазначеними трьома категоріями. Однак вважається, що сьогодні можна охопити головні впливи цими трьома категоріями зображено на рисунку 19.



Рисунок 19 – Структурна схема життєвого циклу в Есо-99

Як уже зазначалося, в оцінці життєвого циклу загальна сума впливів на навколишнє середовище продукції, всі стадії життя мають бути досліджені і визначені кількісно [29].

Інтерпретація — це фаза LCA, в якій дані аналізування інвентаризації та оцінювання впливу поєднуються разом, або, у разі досліджування інвентаризації життєвого циклу поєднуються лише дані аналізування інвентаризації, узгоджені з визначеною метою та сферою застосування для того, щоб зробити висновки і рекомендації.

Фаза інтерпретації може охоплювати ітеративний процес огляду та перегляду сфери застосування LCA, так само як і характеру та якості зібраних даних, узгоджених із визначеною метою. Інтерпретація повинна відображувати результати будь-якого виконаного аналізу чутливості. Дані інтерпретації набувають форми висновків і рекомендацій для осіб, що приймають рішення, узгоджені з метою і сферою застосування досліджування [30].

Вибрані та охарактеризовані методи дослідження, хірургічної, респіраторної та тканинної маски. Запропоновано два етапи визначення якісних та кількісних характеристик матеріалів, для виготовлення масок. Перший полягає в оцінці експлуатаційних властивостей матеріалів, другий в їх ідентифікації. Також описана методика проведення досліджень по оцінці життєвого циклу масок.

3 Оцінка життєвого циклу масок для індивідуального захисту

3.1 Експериментальні дослідження складу, фізико-хімічних та санітарно-гігієнічних властивостей матеріалів для виготовлення масок

На першому етапі були визначені експлуатаційні властивості, а саме поверхнева щільність, повітропроникність, паропроникність та водопроникність. Результати, яких наведені нижче.

Поверхнева щільність для матеріалів вибраних масок розрахована за формулою 1, розрахункові дані представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Поверхнева щільність матеріалів для масок

Вид маски	Матеріал	Маса проби m, г	Поверхнева щільність $M_A, \text{г/м}^2$
Хірургічна маска	Спанбонд	0,0206	23
	Мельтблаун	0,0109	21
	Спанбонд	0,0233	26
Респіраторна маска	Спанбонд	0,0612	68
	Мельтблаун	0,0670	74
	Спанбонд	0,0114	13
Тканинна маска	Бавовна	0,1036	115
	Флізелін	0,0240	27

Розрахунок щільності спанбонду представлений нижче, аналогічно розрахунки проведені і для інших матеріалів :

$$M_{A(\text{спанбонд})} = \frac{0,0206 \cdot 10000}{9} = 23 \text{ г/м}^2 .$$

Провівши визначення поверхневої щільності, розрахунки показали, що всі матеріали, крім мельтблауну в хірургічній масці відповідають довідниковим значенням. Мельтблаун не відповідає тому, що стандартна щільність повинна бути не менше 25 г/м^2 .

Проведені експериментальні дослідження по визначенню повітропроникності, які представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Повітропроникність матеріалів для масок

Вид маски	Матеріал	Повітропроникність P_v , см
Хірургічна маска	Спанбонд	60
	Мельтблаун	42
	Спанбонд	63
Респіраторна маска	Спанбонд	39
	Мельтблаун	19
	Спанбонд	86
Тканинна маска	Бавовна	44
	Флізелін	74

Дослідження показують, що перше місце, по пропусканню повітря займає флізелін, друге спанбонд, третє бавовна і четверте мельтблаун. Але повітропроникність, для матеріалів вибраних масок відрізняється саме тому, що вона залежить від щільності кожного матеріалу, чим нижча щільність тим більша повітропроникність. Чим більша тим ліпше для дихання.

Визначення паропроникності характеризує здатність виробів пропускати водяну пару з середовища з підвищеною вологістю повітря в середу з меншою вологістю. Дані для розрахунку абсолютної та відносної паропроникності наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Абсолютна та відносна паропроникності

Вид маски	Матеріал маски	Маса закритої тканиною посудини до випробування	Маса відкритої посудини до випаровування	Маса закритої тканиною посудини після випаровування	Маса відкритої посудини після випаровування	Зменшення маси води із закритої посудини	Зменшення маси води з відкритої посудини	Абсолютна паропроникність V_h , мг/(м ² ·с)	Відносна паропроникність V_e , %
Хірургічна маска	Спанбонд	53,819	63,1107	53,365	62,3965	0,7142	0,454	0,097	64
	Мельтблаун	50,626		50,267			0,359	0,076	50
	Спанбонд	53,532		53,121			0,410	0,087	57
Респіраторна маска	Спанбонд	53,851		53,383			0,468	0,100	66
	Мельтблаун	55,932		55,557			0,375	0,080	53
	Спанбонд	48,947		48,583			0,363	0,077	51
Тканинна маска	Бавовна	54,234		53,904			0,329	0,070	46
	Флізелін	54,490		54,125			0,364	0,077	51

Розрахунки паропроникності показали, що для хірургічної і респіраторної маски, пропускання пари більше ніж в тканинній. Паропроникність кожного матеріалу залежить від його поверхневої щільності.

Водопроникність для матеріалів вибраних масок розраховано за формулою 4, розрахункові дані представлені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Водопроникність матеріалів для масок

Вид маски	Матеріал	Початкова маса проби m , г	Маса вологої проби m_v , г	Водопроникність $V_{п}$, %
1	2	3	4	5
Хірургічна маска	Спанбонд	0,0206	0,0226	10
	Мельтблаун	0,0109	0,0199	5
	Спанбонд	0,0233	0,0243	4

Кінець таблиці 6

1	2	3	4	5
Респіраторна маска	Спанбонд	0,0612	0,0639	4
	Мельтблаун	0,0670	0,0670	0
	Спанбонд	0,0114	0,0115	1
Тканинна маска	Бавовна	0,1036	0,2091	100
	Флізелін	0,0240	0,0420	75

Розрахунок водопроникності матеріалу хірургічної маски, представлений нижче, аналогічно розрахунки проведені і для інших матеріалів :

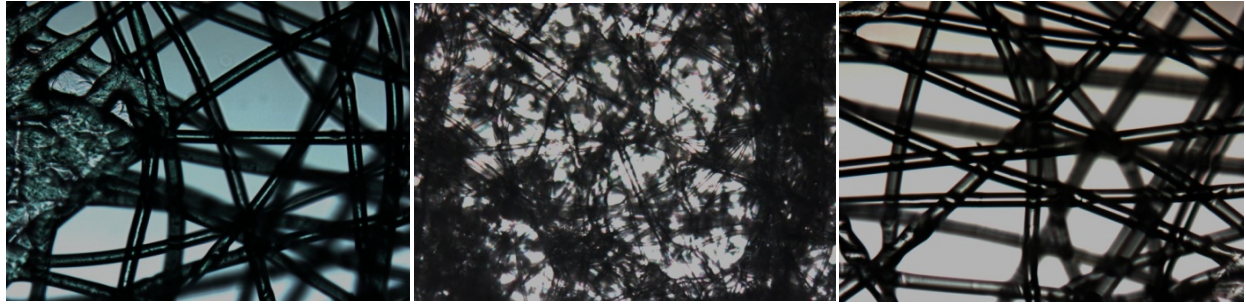
$$V_{\text{п(спанбонд)}} = \frac{0,0226 - 0,0206}{0,0206} \cdot 100 = 10\%$$

За результатами визначення, найменша водопроникність в респіраторної маски, тоді іде хірургічна і найбільшу водопроникність має тканинна маска. Чим менша водопроникність тим ліпше, менша вірогідність попадання вірусів в організм.

Наведені вище показники важливі для масок тому, що саме вони забезпечують безпечні умови для дихання людини. За результатами проведення дослідження найкраща маска та яка має більшу повітропроникність тобто перше місце займе тканинна маска, друге хірургічна, а тоді вже респіраторна, паропроникність перше місце хірургічна маска, друге респіраторна. Саме за цими показниками можна сказати, яка маска зручніша. А з водопроникністю, все навпаки, чим менше пропускає води, тим краща маска, саме респіраторна маска пропускає найменше води ніж інші зразки масок.

На другому етапі було розглянуто шари масок під поляризаційним мікроскопом, використаний ІЧ-Фур'є-спектрометр IRAffinity-1 для отримання ІЧ-спектрів, та по отриманих характерних смугах визначено склад шарів масок, проведена ідентифікація зразків.

Було розглянуто під поляризаційним мікроскопом Axioskop 40 Pol всі шари хірургічної, респіраторної та тканинної маски під прохідним світлом з збільшенням в 100 і 500 раз, для дослідження структури, які зображені на рисунках 20, 21, 22, 23.



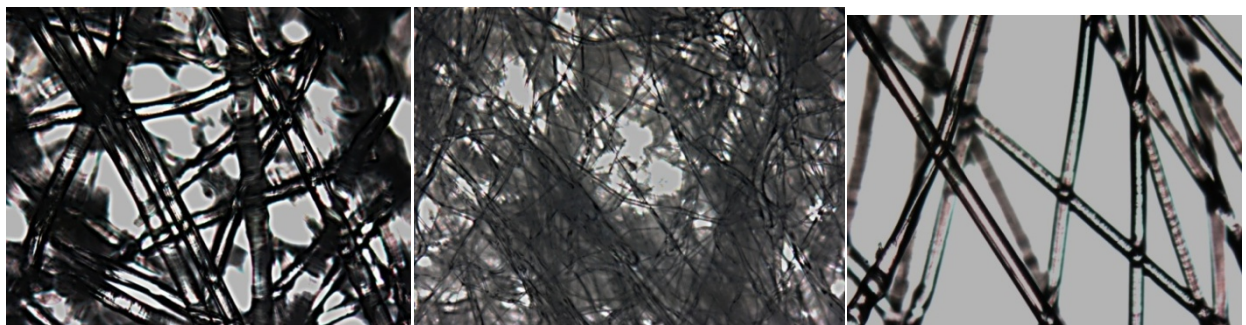
а)

б)

в)

а) верхній шар хірургічної маски (спанбонд); б) середній фільтруючий шар (мельтблаун); в) нижній шар (спанбонд)

Рисунок 20 – Збільшення мікроскопу під прохідним світлом в 100 раз, шарів хірургічної маски



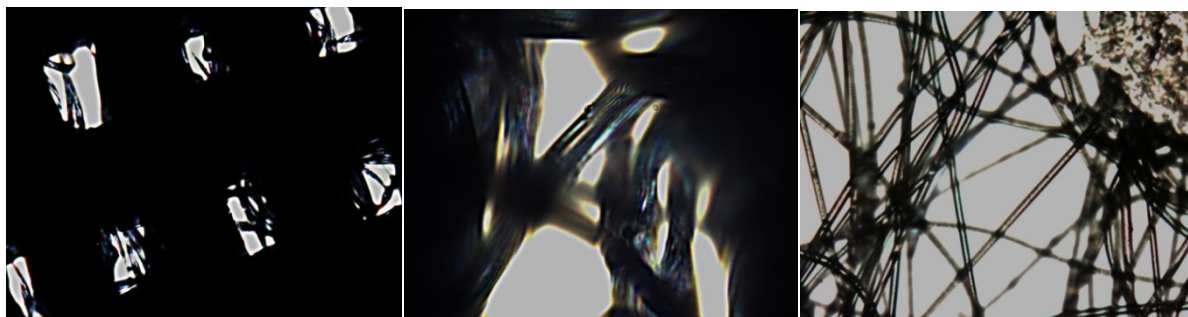
а)

б)

в)

а) верхній шар спанбонд; б) середній шар мельтблаун; в) нижній шар спанбонд

Рисунок 21 – Маска респіраторна з прохідним світлом і збільшенням в 100 разів



а) б) в)

а) верхній шар бавовна збільшення в 100 разів; б) верхній шар бавовна збільшення в 500 разів; в) нижній шар спанбонд

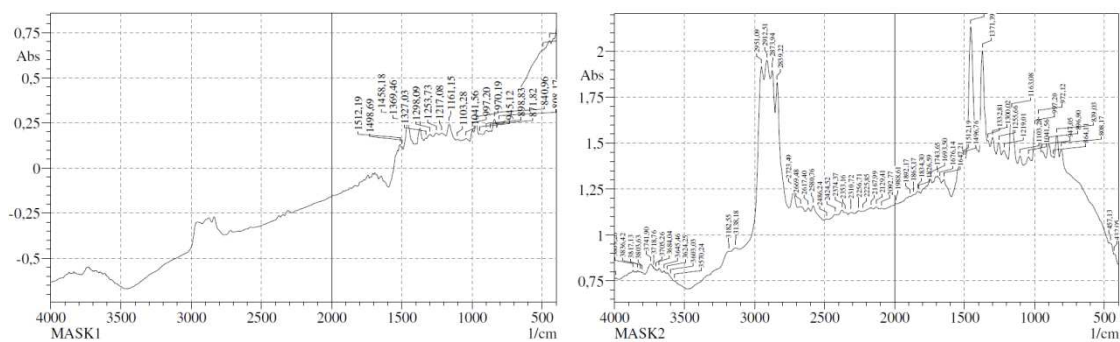
Рисунок 22 – Маска тканинна з прохідним світлом

За результатами мікроскопічного дослідження шарів, можна зробити висновок, що сплетіння спанбонду однакові і відрізняються тільки щільністю, так само як і мультблану тільки бавовняний шар вирізняється між ними.

З метою підтвердження складу, вибраних шарів масок було використано ІЧ-Фур'є-спектрометр IRAffinity-1. Результати представлені на рисунку 23 та 24.

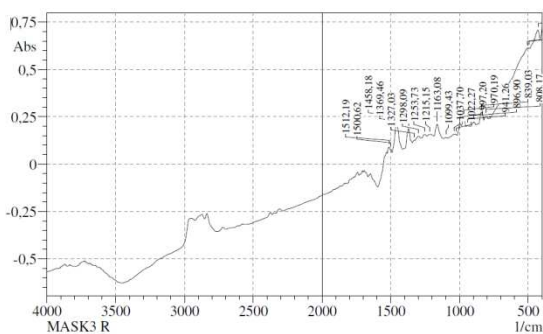
На вихідних спектрах першого та третього шару хірургічної маски, спостерігаються характерні піки пропускання, інтенсивна смуга з максимумами при $1512,19 \text{ см}^{-1}$, $1498,69 \text{ см}^{-1}$, $1458,18 \text{ см}^{-1}$. Піки можна віднести до області валентних коливань простих зв'язків: С–С, С–О і деформаційних коливань простих зв'язків: С–Н, О–Н. Цим пікам відповідає, ще третій шар респіраторної маски, всі шари відповідають довідниковим даним для поліпропілену.

В першому шарі респіраторної маски, присутні піки з валентних коливань простих зв'язків: О–Н, С–Н. Мультблан з поліпропілену для хірургічної та респіраторної маски, відповідають таким максимальним пікам $3998,44 \text{ см}^{-1}$, $3869,2 \text{ см}^{-1}$, $3836,42 \text{ см}^{-1}$. Представлені піки відносяться до валентних коливань простих зв'язків: О–Н, С–Н. Розглянувши та проаналізувавши піки даних зразків, можна зробити висновок, що досліджувані зразки з поліпропілену.



а)

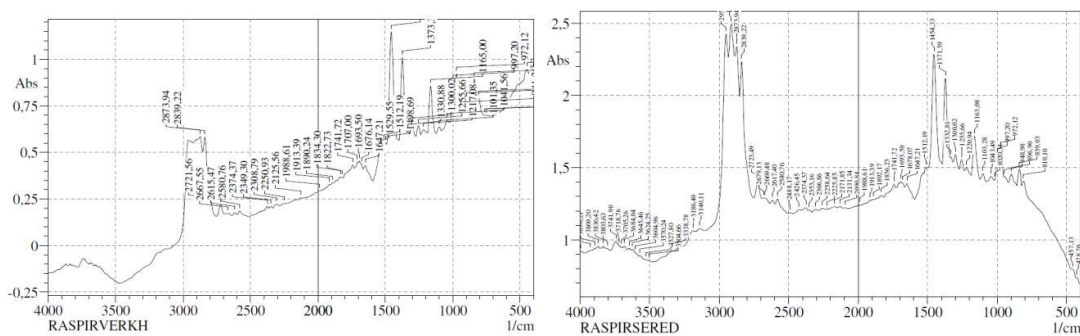
б)



в)

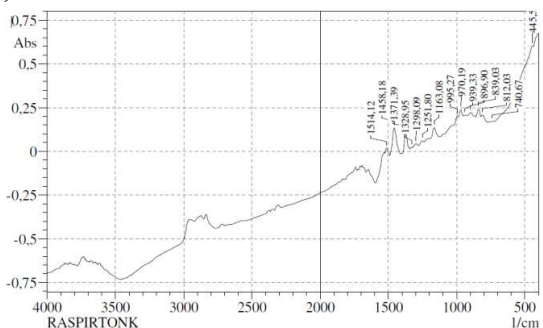
а) перший шар; б) другий шар; в) третій шар

Рисунок 23 – ІЧ-Фур'є-спектрометр для шарів маски хірургічної



а)

б)



в)

а) перший шар; б) другий шар; в) третій шар

Рисунок 24 – ІЧ-Фур'є-спектрометр для шарів маски респіраторної

Проведена ідентифікація для матеріалів вибраних масок. Результати ідентифікації зразків в полум'ї представлені в додатку А, Таблиця А1– результати ідентифікації зразків в полум'ї. Ідентифікація матеріалів по характеру горіння, запаху та залишку горіння, тільки підтвердила, що шари хірургічної та респіраторної маски виготовлені з поліпропілену, а тканинної маски з бавовни і також поліпропілену. По проведених дослідженнях та розрахунках вище, можна зробити висновок, що шари масок мають різні щільності хоча вироблені з одного матеріалу, а розрахунки повітропроникності, паропроникності, водопроникності та мікроскопічні дослідження залежать саме від щільності матеріалу. Матеріали хірургічної та респіраторної маски виготовлені з поліпропілену, тканинної маски з бавовни та поліпропілену.

Визначені експлуатаційні властивості, а саме поверхнева щільність, повітропроникність, паропроникність важливі для дихання людини. Дослідження показали, що по експлуатаційних властивостях найкраща, це респіраторна маска для обличчя. Дослідження підтвердили, що маски не будуть перешкоджати диханню і людина, яка носить маску буде отримувати необхідну кількість кисню. Водопроникність впливає на пропускання вірусів.

3.2 Дослідження життєвого циклу масок

Згідно методики наведеної в розділі 2.3 першим етапом оцінки життєвого циклу є визначення мети. Метою дослідження є порівняльна оцінка життєвого циклу (LCA) хірургічної, респіраторної та тканинної маски. Основні етапи життєвого циклу хірургічної та респіраторної маски полягають, з видобування пропілену до використання та утилізації, а тканинної з виробництва целюлози до використання та утилізації. Межі системи виготовлення респіраторної та хірургічної масок починаються з видобування пропілену та закінчується спалюванням. Межі для тканинної маски розпочинаються з видобування целюлози для бавовняної тканини і виробництва пропілену для отримання спанбонду, а закінчується спалюванням.

3.2.1 Інвентаризаційний аналіз

Інвентаризаційний аналіз містить процеси збирання даних та процедури розрахунку для кількісної оцінки вхідних і вихідних потоків хірургічної, респіраторної та тканинної масок.

Процес інвентаризаційного аналізу — це ітеративний процес, тобто такий, що постійно уточнюється. Якісні й кількісні дані, необхідні для проведення інвентаризаційного аналізу, повинні бути зібрані для кожного одиничного процесу, що відбувається в межах системи.

Процедури, які використовуються для збирання даних, залежать від змісту досліджень одиничних процесів або передбачуваного використання результатів дослідження [31].

Для створення схеми інвентаризаційного аналізу хірургічної маски, вибрані межі розрахунку вхідних і вихідних потоків на 1 кг маски. Шляхом зважування було визначено кількісний склад, дані які наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Дані маски хірургічної

Матеріали маски	Маса однієї маски, г	Маса в розрахунку на 1 кг, 1000 г
Одна маска	2,6275	1000
Перший шар (спанбонд)	0,6775	257,8496
Другий шар (мельтблаун)	0,7126	271,2083
Третій шар (спанбонд)	0,6913	263,1021
Вушні петлі	0,2914	110,9038
Алюмінієвий фіксатор	0,2547	96,9362

В інвентаризаційному аналізі маски хірургічні межі починаються з виготовлення пропілену, послідовність всіх ланок виготовлення маски представлена на рисунку 24.

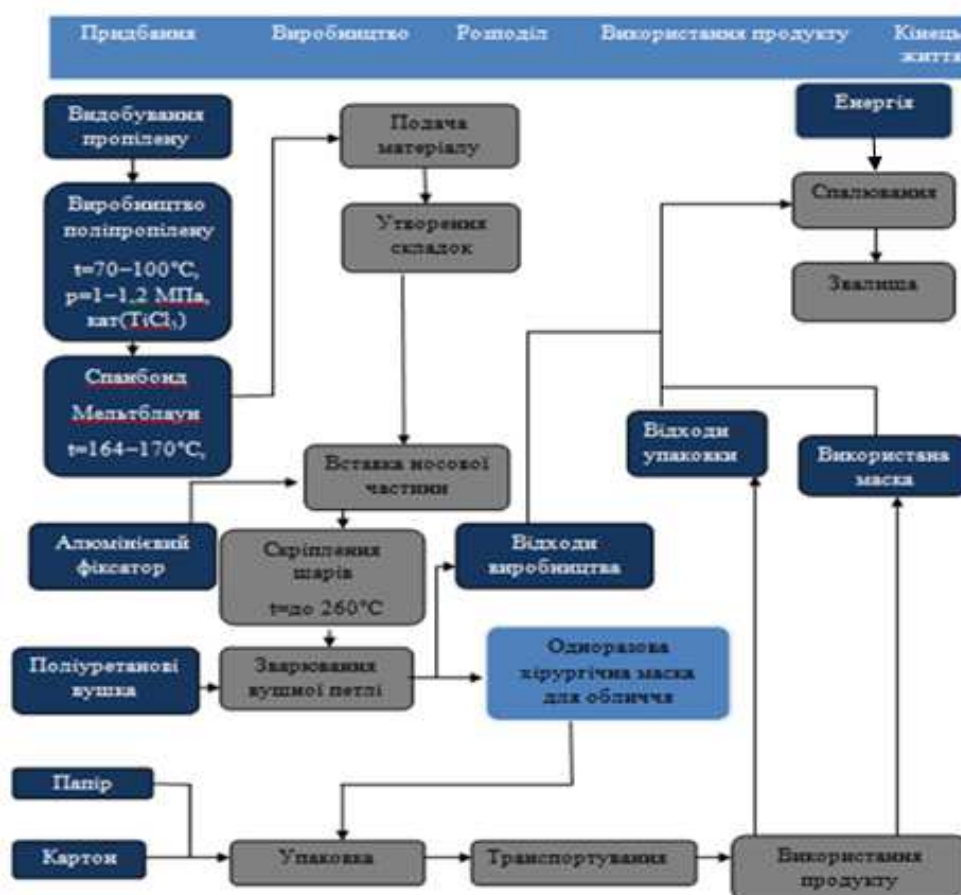
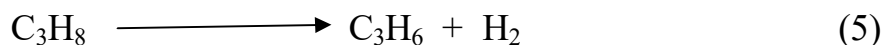


Рисунок 24 – Інвентаризаційний аналіз маски хірургічної

Пропілен можна видобувати різними методами, в роботі обраний метод отримання пропілену з пропану.



Отримання пропілену з пропану. Процес дегідрування пропану використовується для постачання полімерного пропілену з пропану, щоб задовольнити зростаючий ринок пропілену, незалежно від установки парового крекінгу або установки Fluid Catalytic Cracking (FCC). Він забезпечує спеціальне надійне джерело пропілену, щоб забезпечити більший контроль над витратами пропіленової сировини.

На рисунку 25 схема процесу складається з секції реактора, секції відновлення продукту та секції регенерації каталізатора. Сировина вуглеводнів змішується з багатим воднем рециркуляційним газом і вводиться в нагрівач для нагрівання до бажаної температури (понад 540 °C), а потім надходить у реактори для перетворення з високою селективністю по моноолефіну. Кілька міжступеневих нагрівачів використовуються для підтримки перетворення шляхом безперервної подачі тепла, оскільки реакція ендотермічна. Активність каталізатора підтримується за допомогою безперервного регенератора каталізатора (CCR) або зупинки реакторів один за одним і регенерації реактора повітрям для регенерації, безперервний регенератор каталізатора це місце, де каталізатор безперервно витягується з реактора, потім регенерується і подається назад у реактор. реакторний шар.

Вихід реактора стискається, сушиться і направляється в криогенний сепаратор, де виділяється чистий водень. Олефіновий продукт направляють на процес селективного гідрування, де видаляються дієни та ацетилени. Потік пропілену спрямовується в детаналізатор, де легкі фракції видаляються перед пропан-пропіленовим розділювачем. Неперетворена сировина повертається в депропанізатор, де вона з'єднується зі свіжою сировиною перед відправкою назад в секцію реактор.

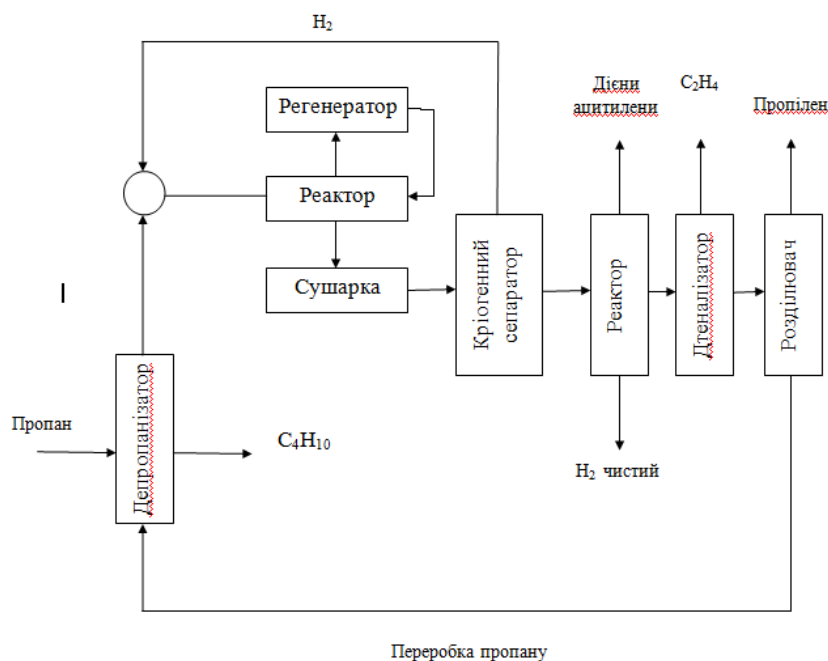


Рисунок 25 – Схема комерційного процесу

Вхідні та вихідні дані виготовлення пропілену, для хірургічної маски в грамах [32].

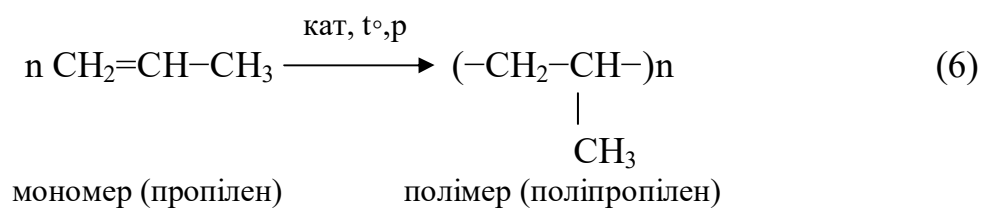
Таблиця 8 – Вхідні та вихідні дані при виробництві пропілену

Вхідні дані		Вихідні дані	
Пропан	829,8819 г	Пропілен	792,16 г
Вода	9458,56 г	H ₂	37,7219 г
Енергія	3,0102 кВт	C ₂ H ₄	0,4 г
		C ₄ H ₁₀	8,2988 г

Сировиною для виробництва матеріалу «спанбонд» є полімери з широким молекулярно-масовим розподілом, такі як поліпропілен (ПП) та ін. Найчастіше для виробництва «спанбонду» використовують поліпропілен, оскільки він дозволяє отримувати найщільніший розподіл волокон у полотні й забезпечує високе вироблення волокон в перерахунку на кілограм сировини.

Виробництво поліпропілену відбувається за допомогою суспензійного, розчинного або газофазного процесу, в якому пропіленовий мономер

піддається впливу тепла і тиску в присутності каталітичної системи. Полімеризація досягається при відносно низьких температурах і тиску.



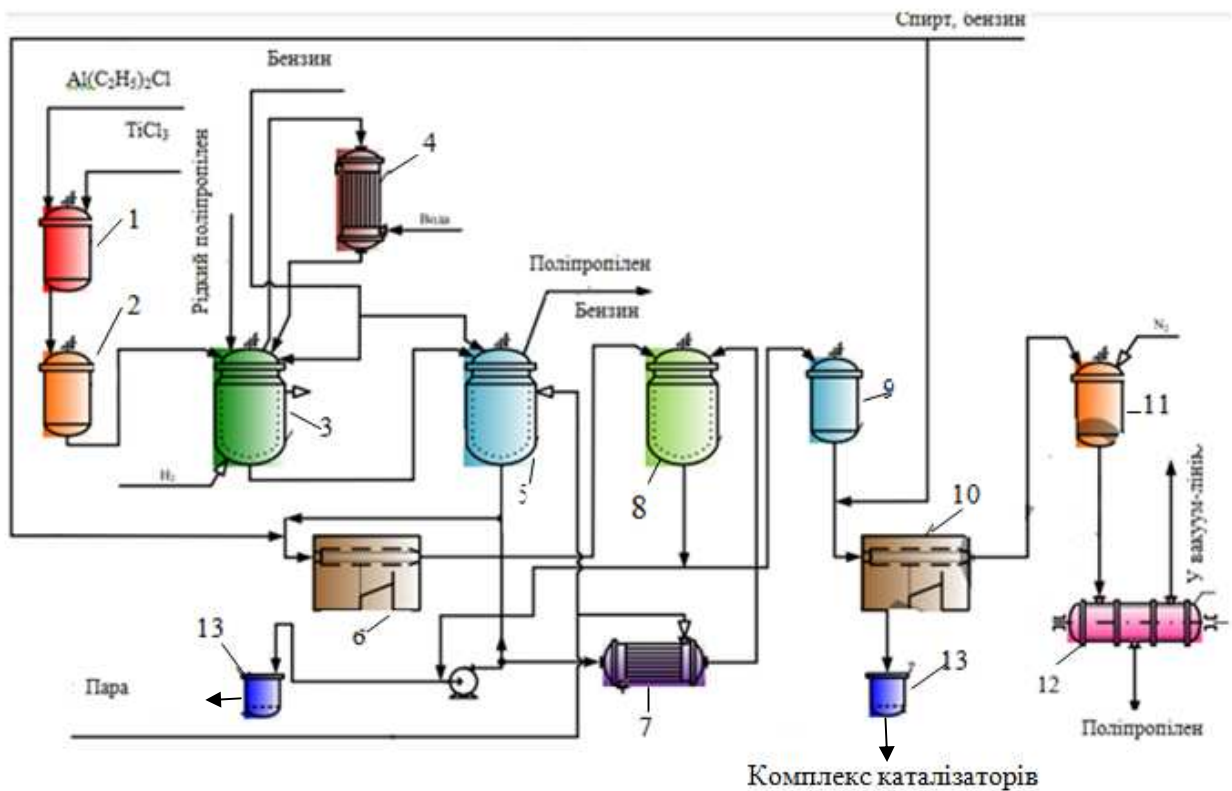
У промисловості пропілен полімеризують у бензині або пропані за температури 65–70 °С і тиску 1,0–4,0 МПа. Регулювання молекулярної маси досягається введенням у реакційне середовище водню.

Полімеризацію проводять за періодичною та неперервною схемами. Технологічний процес виробництва поліпропілену багато в чому аналогічний виробництву поліетилену низького тиску. Відносно невисоке виділення тепла у процесі полімеризації пропілену, що залежить від швидкості процесу, дозволяє легко відводити тепло через сорочку апарата, не вдаючись до циркуляції додаткової кількості мономеру та розчинника. Розкладання каталізаторного комплексу та промивання поліпропілену здійснюються багаторазовою обробкою його розчином ізопропілового спирту в бензині.

Технологічний процес виробництва поліпропілену за неперервною схемою рисунок 26 складається зі стадій: приготування каталізаторного комплексу, полімеризації, відбілювання не прореагованого пропілену, розкладання каталізатора, промивання суспензії поліпропілену, віджимання, сушіння та пакування поліпропілену, регенерації розчинника, пропілену, промивних розчинів і азоту. Каталізаторний комплекс готують змішуванням 5%-го розчину $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ у бензині з порошкоподібним TiCl_3 у змішувачі 1. Суспензія каталізатора надходить у проміжний збирач 2, з якого дозується в полімеризатор 3. Полімеризатор являє собою циліндричний апарат об'ємом 10 м³, оснащений якірною мішалкою, оболонкою (сорочкою) для обігріву та охолодження і холодильником 4. У полімеризатор з працюючою мішалкою

неперервно подаються: рідкий пропілен, каталізаторний комплекс, бензин і водень. Тривалість перебування реакційної суміші в полімеризаторі за температури 70 °С і тиску 1,0 МПа становить близько 6 годин. Ступінь конверсії – 98%.

З полімеризатора 3 полімер у вигляді суспензії вивантажується у збирач суспензії 5, при цьому рівень у полімеризаторі залишається постійним. У збирачі 5 розчинений в бензині не прореагований пропілен за рахунок зниження тиску до атмосферного здувається, суспензія розводиться бензином до співвідношення масових часток полімер, бензин як 1:10. Розведена суспензія обробляється на неперервно діючій центрифугі 6 розчином ізопропілового спирту в бензині (25 %- і концентрації за масою). Залишок каталізатора розкладається в апараті 8 за інтенсивного перемішування суспензії підігрітим у підігрівачі 7 до 60 °С розчином ізопропілового спирту в бензині. Суспензія полімеру через збірник 9 подається на промивання та віджимання у центрифугу 10. Відмитий поліпропілен надходить у вакуум-гребкову сушарку 12, у якій за температури 95 °С висушують до вологості не більшої ніж 0,1%. Не прореагований пропілен, розчинник, промивні розчини і азот надходять на регенерацію, а відтак повертаються в цикл [33].



1 – змішувач каталізаторного комплексу; 2,11 – проміжні збирачі; 3 – полімеризатор; 4 – холодильник; 5,9 – збирачі суспензії; 6, 10 – центрифуги; 7 – підігрівач; 8 – апарат для розкладання каталізатора; 12 – вакуум-гребкова сушарка; 13 – пастка

Рисунок 26 – Схема технологічного процесу виробництва поліпропілену

Таблиця 9 – Вхідні та вихідні дані при виробництві поліпропілену

Вхідні дані		Вихідні дані	
Пропілен	792,16 г	Поліпропілен	792,16 г
$\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$	0,1980 г	Бензин	0,1980 г
TiCl_3	0,1980 г	$\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$	0,1980 г
Бензин	0,1980 г	TiCl_3	0,1980 г
Енергія	0,3168 кВт		

Далі з поліпропілену відбувається формування полотна спанбонду, яке включає наступні основні етапи:

1. Підготовка і подача полімерної сировини до плавильного пристрою.

2. Розтоплення полімеру і фільтрування розтопу температура від 164 до 170 °С.
3. Подача розтопу на фільтрний комплект.
4. Формування волокон.
5. Аеродинамічна витяжка і охолодження волокон повітрям.
- 6 Укладання волокна на транспортер для формування полотна
- 7 Каландрування і намотування матеріалу

Гранули полімеру надходять в екструдер, в якому здійснюють процес розтоплення, після чого, розтоплений полімер продавлюють через спеціальні отвори — філь'єри, утворюючи нескінченні нитки. Філь'єра являє собою металеву пластину з отворами, виготовлену з жароміцної криці. Філь'єри розрізняють за кількістю отворів, їх діаметром і формою. Діаметр отворів у філь'єрі може варіювати від 250 до 1200 мкм. Філь'єри розташовують на спеціальній фільтрній балці, при цьому у виробництві для щільнішого розташування волокон на полотні найчастіше використовують кілька балок (зазвичай два або три). Перед укладанням на транспортер нитки проходять стадію витяжки — аеродинамічним або механічним способом. Найширше поширення отримав аеродинамічний спосіб витяжки, тобто, у витягненні ниток під дією високошвидкісного повітря, що надходить з ежектора. У процесі витягування нитки охолоджуються набувши міцність. На виході з ежектора охолоджені нитки спадають на транспортер, рівномірне й однорідне розподілення ниток на полотні здійснюють з допомогою спеціальних пристроїв, розташованих в ежекторі. Швидкість руху транспортера може змінюватися, завдяки чому можна досягати різну щільність матеріалу. Для визначення вхідних і вихідних даних виготовлення спанбонду [34]. В таблиці 10 зображені вхідні і вихідні дані для виготовлення спанбонду.

Таблиця 10 – Вхідні та вихідні дані при виробництві спанбонду

Вхідні дані		Вихідні дані	
Енергія	0,3135 кВт	Повітря	1,5 м ³
Повітря	1,5 м ³		

Мельтблаун (Meltblown) - це нетканий матеріал, який має потужні гідрофільні і бар'єрні властивості до проникнення мікроорганізмів. Залежно від щільності виготовленого нетканого полотна мельтблаун визначається і область його застосування. Так, наприклад, для медичних масок застосовується матеріал щільністю 10 – 50 г / м², для респіраторів 60 – 80 г / м², для повітряних фільтрів 150 – 180 г / м², для виробів, які сорбують, 200 – 600 г / м².

В якості сировини, застосовується поліпропілен з дуже високим значенням показника плинності розплаву до 800–1500 г / 10 хв.

Процес виробництва мельтблаун складається з наступних етапів:

1. Екструзія. Під дією високих температур поліпропіленові гранули проштовхуються крізь маленькі отвори з метою створення однорідної рідкої поліпропіленової маси.

2. Роздуття. Розплавлений поліпропілен подається в філь'єру деталь установки конічної форми, крізь яку проходять дрібні отвори.

3. Холстоутворення. Проходячи крізь отвори в філь'єрі, розплавлений поліпропілен підхоплюється гарячим повітрям і укладається прямо на конвеєрне полотно. У цей момент поліпропілен застигає і утворюється матеріал, що складається з мікрОВОЛОКОН товщиною від 1 до 5 мкм, що значно тонший за людське волосся (80–110 мкм).

4. Намотка матеріалу. Намотування полотна здійснюється в рулони. Залежно від технологічних можливостей обладнання може здійснюватися відразу ж нарізка рулонів за розмірами (по ширині) з обробкою країв або без [35]. Аналогічно розрахована енергія для мельтблауну тільки при різних температурах. Розрахунки енергії і повітря для мельтблауну представлені в таблиці 11.

Таблиця 11 – Вхідні та вихідні дані при виробництві мельтблауну

Вхідні дані		Вихідні дані	
Енергія	0,2712 кВт	Повітря	0,8 м ³
Повітря	0,8 м ³		

Для скріплення сформованого полотна можна використовувати один з наступних способів:

- голко проколювання;
- хімічне просочення ниток з'єднувальною речовиною;
- термоскріплення на каландрі;
- водоструменеве скріплення;
- термоскріплення гарячим повітрям.

Спосіб скріплення матеріалу визначає сфери його подальшого використання. Найпоширеніший спосіб скріплення ниток у полотні — термоскріплення на каландрі — використовують для полотен щільністю не більш ніж 150 г/м². Для щільніших полотен (понад 150 г/м²) найчастіше використовують голкопробивний спосіб скріплення. Таким чином, діапазон можливих щільностей варіює від 15 до 600 г/м².

В цей час удосконалення технологій виробництва фільтрних нетканих матеріалів типу «спанбонд» іде шляхом отримання бікомпонентних (елементарні волокна отримують співекструзією з двох або більше полімерів) матеріалів, що поєднують в собі властивості вихідних полімерів [36].

Під час зшивання шарів маски хірургічно, потрібно не забувати про алюмінієвий носовий фіксатор та вушні петлі. Коли зшивається респіраторна маска прикріплюється, ще клапан. Відбувається склеювання шарів, під час склеювання використовується 0,4356 кВт енергії.

Носіння масок має відповідати пунктам, які зображені на рисунку 27.



Рисунок 27 – Правила використання досліджуваних масок

Утилізація в умовах, коли маски потрібно носити всім (хворим, потенційно хворим і здоровим) їх накопичується значна кількість. Тому маски та інші предмети варто помістити в окремий пакет чи місткість і лише після цього викидати у смітник. Це убезпечить працівників комунальних підприємств та запобігатиме тому, щоб птахи не розносили ці предмети на сміттєзвалищах.

Для тих, хто має ознаки ГРВІ чи інші захворювання краще ще й дезінфікувати маски та інші предмети перед тим, як викинути у смітник [37]. Після утилізації маски відправляються на спалювання. Підбивши використання енергії для виготовлення 1 кг маски, затрачено 4,3473 кВт.

Утилізація відходів маски відбувається у різні способи — температурний, радіаційний, електромагнітний та заховання на спеціальних полігонах. Найчастіше ж медичне сміття спалюють у спеціальних установках - печах-інсєнєраторах при температурі від 1200 °С. Директор приватної компанії “Екологічні переробні технології” Дмитро Агеєв каже, що температура печі залежить від калорійності (теплоти згоряння — ред.) відходів.

В цьому варіант для знешкодження будь-яких відходів: залишається близько 2% від ваги, яка була до цього. Ніяких збудників не залишається [38]. На спалювання 1 кг маски потрібно 3,48 кВт ця енергія аналогічна і для респіраторної і тканинної масок. Вхідні та вихідні дані при спалюванні маски хірургічної зображені в таблиці 12. Вихідні дані розраховані за процесом окислення.



Таблиця 12 – Вхідні та вихідні дані при спалюванні маски хірургічної

Вхідні дані		Вихідні дані	
Пропілен	792,16 г	CO ₂	1018,4914 г
Вушні петлі	110,9038 г	H ₂ O	2489,6457
Алюмінієвий фіксатор	96,9362 г		
Енергія	3,48 кВт		

Для створення схеми інвентаризаційного аналізу респіраторної маски, вибрані ті самі межі, що і для хірургічної. Шляхом зважування було визначено кількісний склад, дані які наведені в таблиці 13.

Таблиця 13 – Дані маски респіраторної

Матеріали маски	Маса однієї маски, г	Маса в розрахунку на 1 кг, 1000 г
Одна маска	9,5588	1000
Перший шар (спанбонд)	1,8737	196,0182
Другий шар (мельтблаун)	1,3529	141,5344
Третій шар (спанбонд)	0,3183	33,2981
Вушні петлі	0,8703	91,0469
Алюмінієвий фіксатор	0,5197	72,5927
Клапан	4,4497	465,5087

Нижче на рисунку 28 зображений інвентаризаційний аналіз маски респіраторної. Інвентаризаційний аналіз починається з виготовлення пропілену. Розрахунки вхідних і вихідних потоків ведуться по аналогічній схемі, як і для хірургічної.

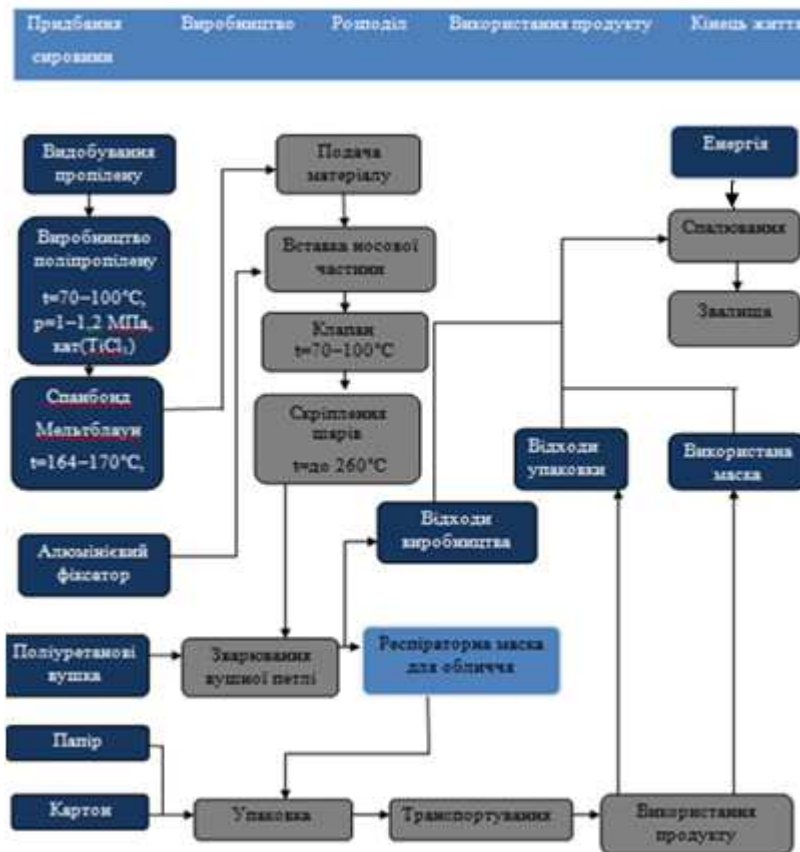


Рисунок 28 – Інвентаризаційний аналіз маски респіраторної

Розрахунки по інвентаризаційному аналізу респіраторної маски представлені в таблиці 14.

Таблиця 14 – Розрахунки по інвентаризаційному аналізу респіраторної маски

Вхідні дані		Вихідні дані	
1		2	
Виробництво пропілену			
Пропан	876,1870 г	Пропілен	836,3604 г

Кінець таблиці 14

1		2	
Вода	9986,3249 г	H ₂	39,8296 г
Енергія	3,1781 кВт	C ₂ H ₄	0,4 г
		C ₄ H ₁₀	8,7618 г
Виробництво поліпропілену			
Пропілен	836,3604 г	Поліпропілен	836,3604 г
Al(C ₂ H ₅) ₂ Cl	0,2090 г	Al(C ₂ H ₅) ₂ Cl	0,2090 г
TiCl ₃	0,2090 г	TiCl ₃	0,2090 г
Бензин	0,2090 г	Бензин	0,2090 г
Енергія	0,3345 кВт		
Виробництво спанбонду			
Енергія	0,1375 кВт	Повітря	0,6 м ³
Повітря	0,6 м ³		
Виробництво мельтблауну			
Енергія	0,1475 кВт	Повітря	0,4 м ³
Повітря	0,4 м ³		
Склеювання шарів			
Енергія	0,4599 кВт		
Загальна енергія 4,2575 кВт			
Спалювання маски			
Пропілен	836,3604 г	CO ₂	2628,5612 г
Вушні петлі	91,0469 г	H ₂ O	1074,3205 г
Алюмінієвий фіксатор	72,5927 г		
Енергія	3,48 кВт		

Шляхом зважування було визначено кількісний склад тканинної маски, дані які наведені в таблиці 15. Інвентаризаційний аналіз тканинної маски розпочинається з виробництва целюлози і представлений на рисунку 29.

Таблиця 15 – Дані маски тканинної

Матеріали маски	Маса однієї маски, г	Маса в розрахунку на 1 кг, 1000 г
Одна маска	3,9081	1000
Перший шар (бавовна)	3,2512	831,9131
Другий шар (спанбонд)	0,3693	94,4960
Вушні петлі	0,2816	73,5907

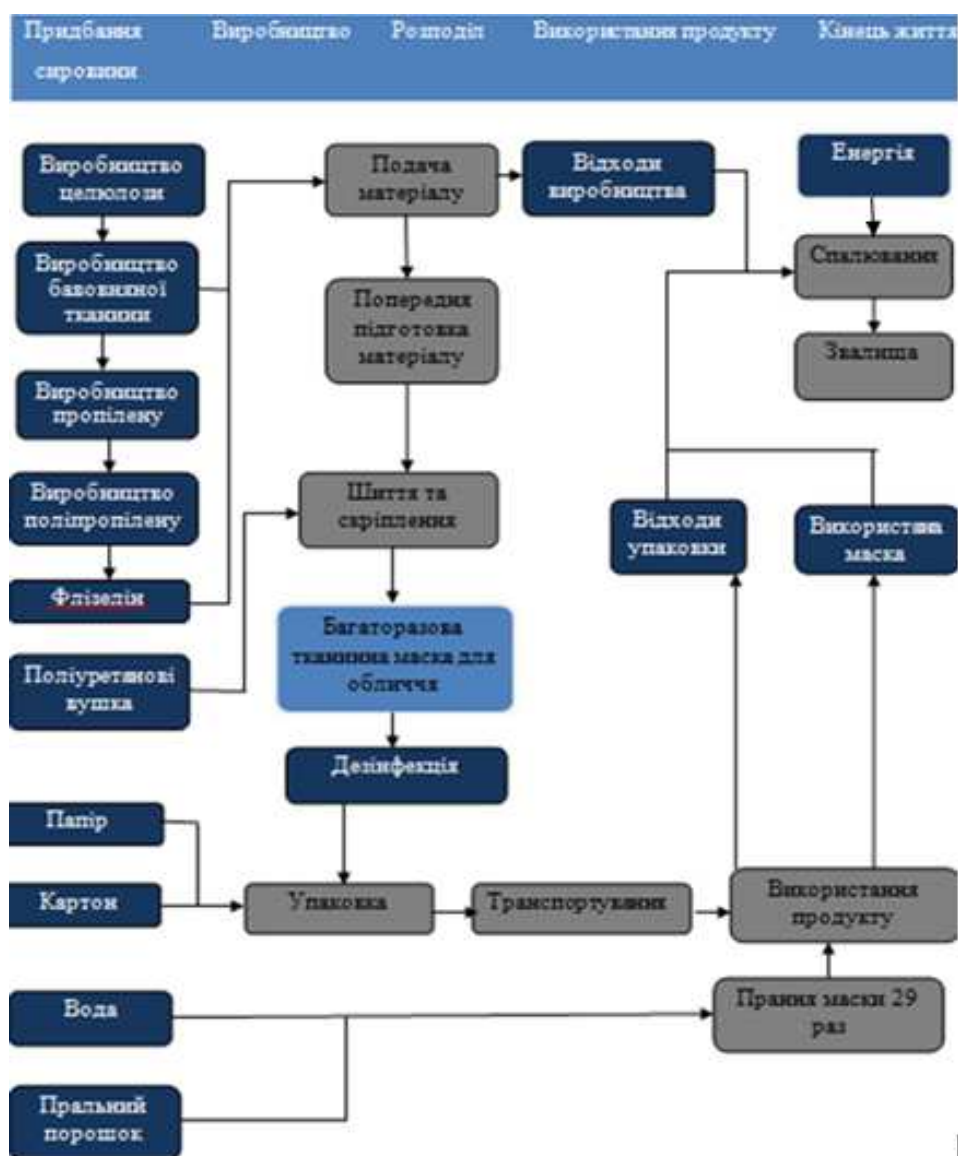


Рисунок 29 – Інвентаризаційний аналіз тканинної маски

Целюлозу отримують з хвойних порід дерев з невеликим вмістом смоли, наприклад ялини. Щепу завантажують в залізні герметично закриті котли, покриті зсередини кислотостійким шаром, і варять у розчині, основними компонентами якого є водний розчин SO_2 і бісульфіт магнію $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$, (або кальцію). У такому процесі більший вихід целюлози, а з відходів отримують етиловий спирт, кормові дріжджі тощо. Варка ведеться при t 140 – 150° С і при тиску 5 – 6 атм протягом 8 – 12 год. Потім целюлозу сортують, оскільки після промивки можуть залишитися непроварені пучки волокон, щепи та ін. Вихід целюлози при сульфитному способі складає 45 – 50%. Волокна сульфитної целюлози достатньо міцні, еластичні, легко відбілюються. Вони йдуть на виготовлення всіх видів друкарського паперу та тканинних матеріалів. Матеріальний баланс зображений в таблиці 16 [39]. Розшифрування вихідних даних леткі органічні сполуки (ЛОС), хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК₅).

Таблиця 16 – Вхідні та вихідні потоки під час отримання целюлози .

Вхідні дані		Вихідні дані	
1	2	3	4
Деревина	1747,7666 г/кг	Целюлоза	832,2746 г/кг
SO_2	24,9682 г/кг	Викиди в атм.	654,5007 г/кг
MgO	13,9405 г/кг	CO_2	651,5045 г/кг
NaOH	23,9682 г/кг	NO_x	1,6620 г/кг
H_2SO_4	3,3290 г/кг	CO	0,4785 г/кг
H_2O_2	19,5584 г/кг	SO_2	0,7823 г/кг
ДТПК (комплексон)	1,7893 г/кг	Пил	0,0416 г/кг
Природний газ	11,235 МДж	Стічні води	45,1508 м ³

Кінець таблиці 16

1	2	3	4
Електроенергія	0,2421 кВт	ЛОС	0,1664 г/кг
Вода	0,0451 м ³	ХСК	21,2230 г/кг
		БСК ₅	0,6866 г/кг
		Зваж.реч.	0,6658 г/кг
		N _{неорг.}	0,2039 г/кг
		P _{заг.}	0,0291 г/кг
		Метали	0,1206 г/кг
		Шлам	22,0552 г/кг
		Зола-котли	19,1423 г/кг

Саме з цієї вати робиться бавовняна нитка на прядильних фабриках. Виробляють 3 етапи обробки:

1. Розпушення. В процесі розпушення проводиться очищення пасма від непотрібних частинок і розподіл на дрібні волокна.

2. Перемішування. Оскільки різні партії бавовни можуть сильно відрізнятися за своїми властивостями одна від одної, на етапі перемішування дрібні волокна перемішують з іншими партіями сировини. Це дозволяє отримати нитки однорідних властивостей.

3. Тіпання. На етапі тіпання отримані перемішані волокна піддають додатковому очищенню і рівномірному розподілу різних за властивостями мас в одне однорідне полотно.

Після цього використовують чесальні машини, які поділяють і рівномірно розподіляють нитки і перетворюють нитки в бавовняну пряжу.

Отримання спанбонду аналогічно розпочинається з виготовлення пропілену, за схемою яка наведена в інвентаризаційному аналізі хірургічної маски. Розрахунки по отриманню пропілену для тканинної маски представлені в таблиці 17.

Таблиця 17 – Розрахунки по інвентаризаційному аналізу тканинної маски

Вхідні дані		Вихідні дані	
1		2	
Виробництво пропілену			
Пропан	98,9958 г	Пропілен	94,4960 г
Вода	1128,3027 г	H ₂	4.4998 г
Енергія	0,3590 кВт	C ₂ H ₄	0,4 г
		C ₄ H ₁₀	0,9899 г
Виробництво поліпропілену			
Пропілен	94,4960 г	Поліпропілен	94,4960 г
Al(C ₂ H ₅) ₂ Cl	0,0236 г	Al(C ₂ H ₅) ₂ Cl	0,0236 г
TiCl ₃	0,0236 г	TiCl ₃	0,0236 г
Бензин	0,0236 г	Бензин	0,0236 г
Енергія	0, 0377 кВт		
Виробництво спанбонду			
Енергія	0,0566 кВт	Повітря	0,4 м ³
Повітря	0,4 м ³		
Пошиття шарів маски			
Енергія	0,6114 кВт		
Загальна енергія по процесу 1,0647 кВт			
Спалювання маски			
Целюлоза	832,2746 г	CO ₂	1307,86г
Пропілен	94,4960 г	H ₂ O	445,8613 г
Вушні петлі	73,5907 г		
Енергія	3,48 кВт		

Вихідні дані для спалювання розраховані за процесом окислення.



Для скріплювання шарів використовують голкопробивний спосіб скріплення. Також відбувається скріплення вушних петель. Тканинна маска використовується повторно після прання (на прання потрібно приблизно 1,975 г, рідкого мийного засобу та 1,899 л, води на прання, під час прання ПАВ, фосфати та сульфати) або стерилізації парою. Використання енергії для тканинної маски дорівнює 1,3068 кВт.

Як, видно з розрахунків вище найменше електроенергії витрачається на виготовлення тканинної маски, а найбільше для хірургічної.

3.2.2 Оцінка впливу масок

Метою етапу оцінки впливу масок є визначення використання енергії з інвентаризаційного аналізу кожної маски. Та проведення екологічного впливу його категорії та показники впливу.

Проведена порівняльна характеристика використання енергії при дослідженні інвентаризаційного аналізу. На рисунку 30 представлена діаграма використання енергії для трьох видів масок. Хірургічна та респіраторні маски не сильно відрізняються використанням енергії, тому що в них однакові межі. А тканинна маска ще складається з виробництва целюлози в масці також відсутній матеріал мейтблаун.

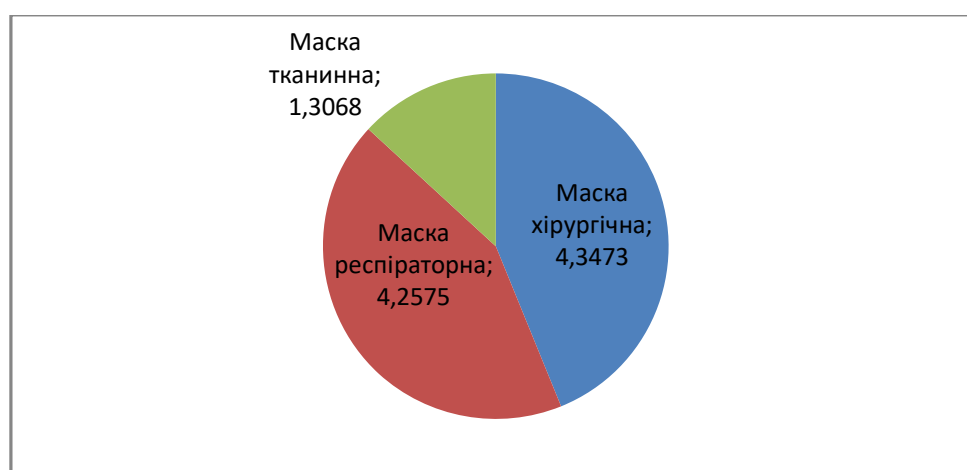


Рисунок 30 – Порівняльна характеристика по використанню енергії

Метою дослідження є розуміння довгострокового впливу на довкілля, впливу на водойми та використання ресурсів від споживання масок для обличчя. Обрані категорії впливу відображають екологічні проблеми, які спостерігалися під час використання масок для обличчя. Категорії, що стосуються використання ресурсів, вибираються на основі матеріалів, необхідних для виготовлення та використання масок для обличчя.

Було розглянуто дев'ять відповідних категорій впливу середньої точки: зміна клімату (ЗК), виснаження викопного палива (ВВП), використання металів (ВМ), використання водних запасів (ВВ), екотоксичність прісної води (ЕПВ), евтрофікація прісної води (ЕПВ), морська екотоксичність (МЕ), морська евтрофікація (МЕ), токсичність для людини (ТДЛ). Опис вибраних категорій зображений в таблиці 18.

Таблиця 18 – Категорії екологічного впливу

Категорія впливу	Абревіатура	Одиниці
Зміна клімату	ЗК	кг CO ₂ -екв
Виснаження викопного палива	ВВП	кг наф-екв
Використання металів	ВМ	кг Fe-екв
Використання водних запасів	ВВ	м ³ екв. води
Екотоксичність прісної води	ЕПВ	кг 1,4-ДСВ-екв
Евтрофікація прісної води	ЕПВ	кг Р-екв
Морська екотоксичність	МЕ	кг 1,4-ДВ-екв
Морська евтрофікація	МЕ	кг N-екв
Токсичність для людини	ТДЛ	кг 1,4-ДСВ-екв

Розрахунки по категорії екологічного впливу на 1 кг маски представлені в таблиці 19.

Таблиця 19 – Розрахунки категорій впливу

Хірургічна маска	Респіраторна маска	Тканинна маска
Зміна клімату, кг CO ₂ -екв		
0,580	0,490	0,338
Виснаження викопного палива, кг наф-екв		
0,308	0,295	0,083
Важкі метали, кг Fe-екв		
0,045	0,048	0,019
Виснаження водних запасів, м ³ екв. води		
0,006	0,012	0,116
Екотоксичність прісної води, кг 1,4-DCB-екв		
0,033	0,028	0,022
Евтрофікація прісної води, кг P-екв		
0,00012	0,0013	0,00013
Морська екотоксичність, кг 1,4-DB-екв		
0,029	0,019	0,014
Морська евтрофікація, кг N-екв		
0,0001	0,0003	0,0009
Токсичність для людини, кг 1,4-DCB-екв		
0,034	0,026	0,098

Вибрано саме ці категорії, наприклад зміна клімату впливає на велику кількість соціальних та екологічних детермінантів здоров'я, таких як чисте повітря, безпечна питна вода, достатня кількість їжі та надійне житло. Отже, зміна клімату підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру, які можуть мати значні екологічні, економічні та соціальні наслідки. Саме зараз в час пандемії доречно визначити зміну клімату. З вибраних масок на зміну клімату впливає хірургічна маска. На рисунку 31 зображена вплив на зміну клімату трьох видів маски.



Рисунок 31– Зміна клімату трьох видів масок

На рисунку 32 зображена схема впливу трьох видів масок на виснаження викопного палива. Хірургічна маска найбільше впливає на виснаження викопного палива.

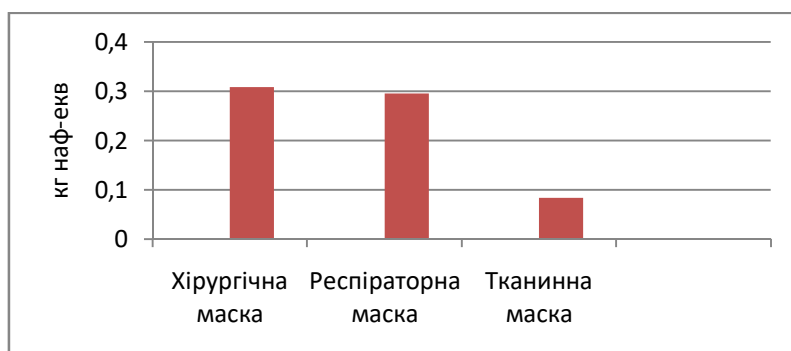


Рисунок 32 – Виснаження викопного палива, від використання масок

На рисунку 33 представлено саме яка маска найбільше впливає на важкі метали. А на рисунку 34 представлено виснаження водних запасів, саме на виснаження водних ресурсів найбільше впливає тканинна маска

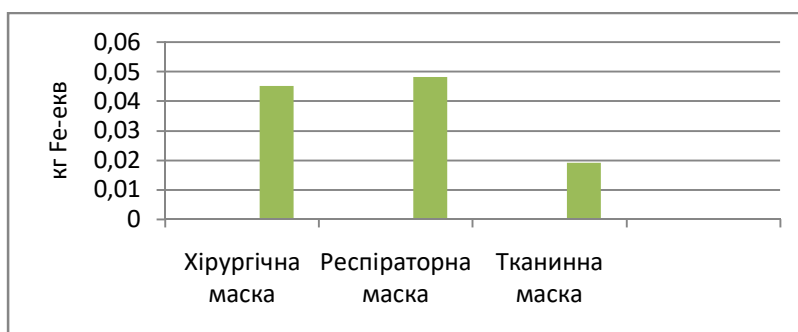


Рисунок 33 – Важкі метали

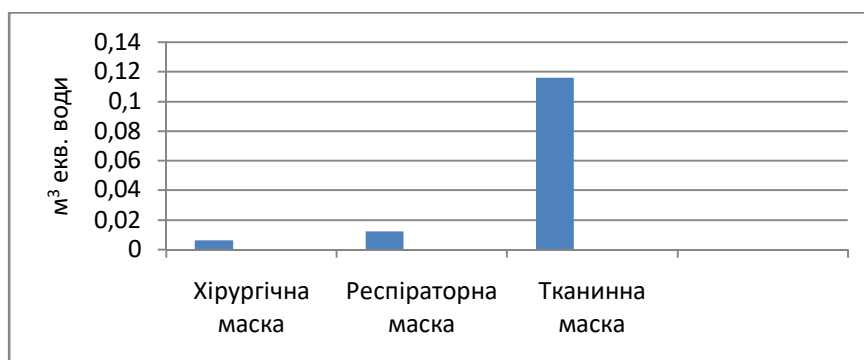


Рисунок 34 – Виснаження водних запасів

Боротьба з забрудненням водоймищ зображена на рисунку 35. Виготовлення хірургічної маски найбільше впливає екотоксичність прісної води.

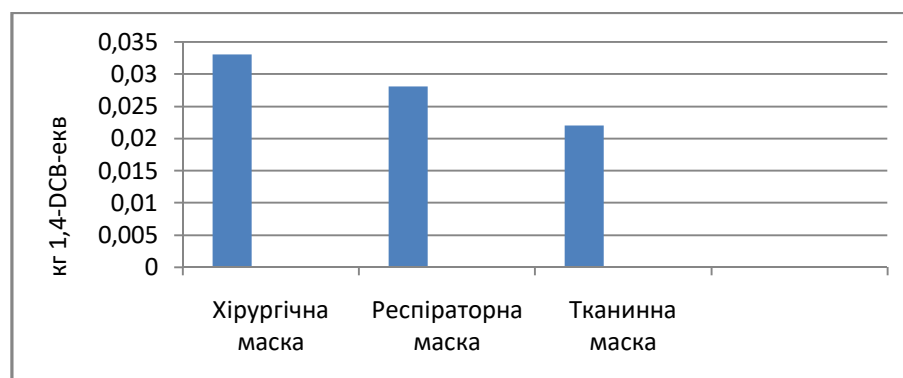


Рисунок 35 – Екотоксичність прісної води

На рисунках 36, 37, 38, 39 представлено евтрофікацію прісної води, морську екотоксичність, морську евтрофікацію та токсичність для людини.

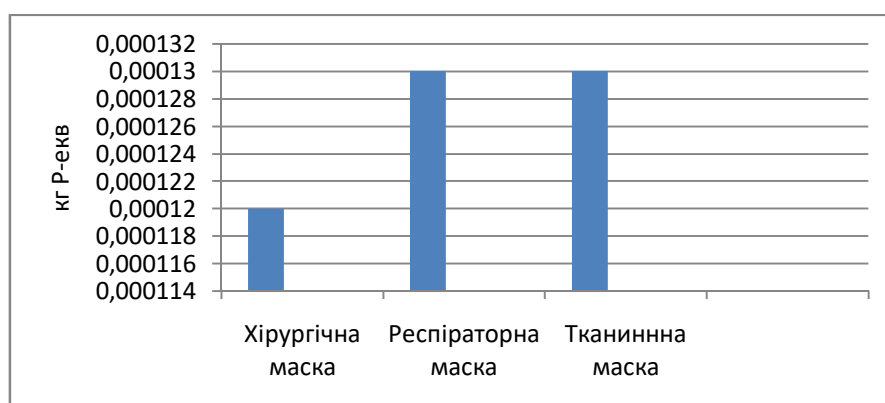


Рисунок 36 – Евтрофікація прісної води

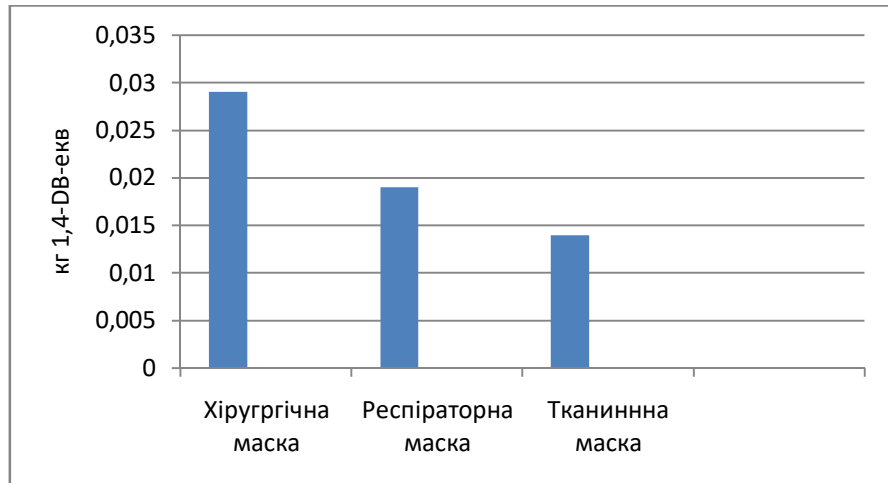


Рисунок 37 – Морська екотоксичність

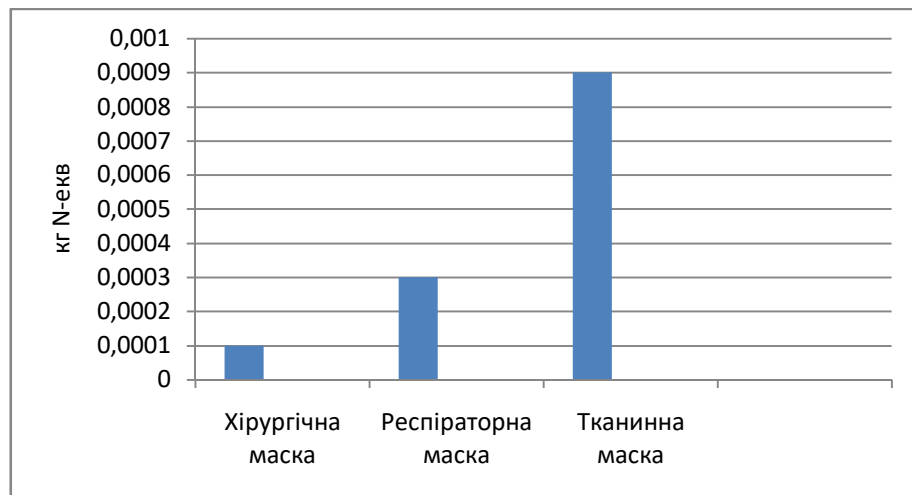


Рисунок 38– Морська евтрофікація

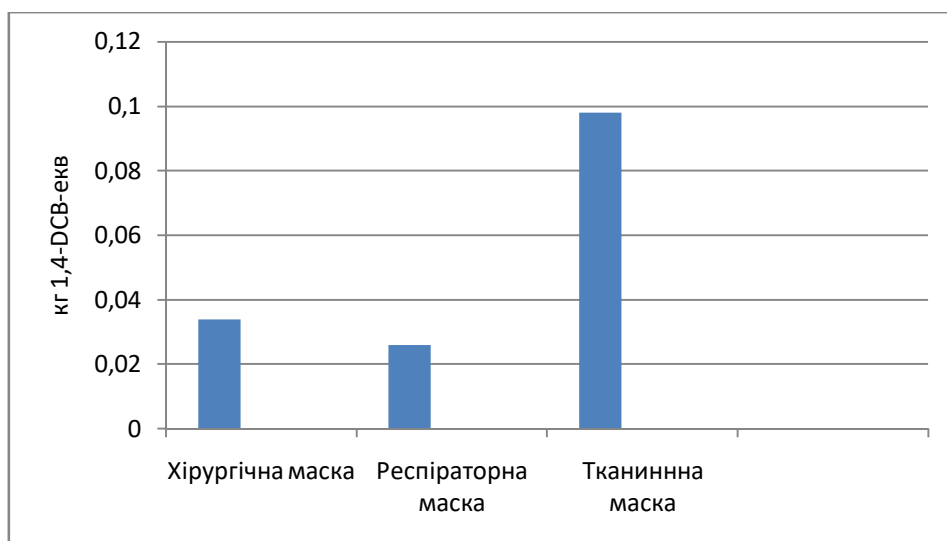


Рисунок 39 – Токсичність для людини

Для того, щоб отримати уявлення про частку окремих результатів категорії впливу, пов'язаних з виробництвом 1 кг маски, розраховується нормалізація, для кожної з категорій впливу на навколишнє середовище [40].

Таблиця 20 – Нормалізація по кожній категорії впливу

Хірургічна маска	Респіраторна маска	Тканинна маска
Зміна клімату, кг CO ₂ -екв		
1,2608E-13	1,0652E-13	7,3478E-13
Виснаження викопного палива, кг наф-екв		
6,1232E-6	5,8648E-9	1,6501E-9
Важкі метали, кг Fe-екв		
8,9463E-10	9,5427E-10	3,7773E-10
Виснаження водних запасів, м ³ екв. води		
1,4778E-13	2,9556E-13	2,8571E-12
Екотоксичність прісної води, кг 1,4-DCB-екв		
7,5688E-15	6,4220E-15	5,0458E-15
Евтрофікація прісної води, кг P-екв		
1,6194E-13	1,7543E-13	1,7543E-13
Морська екотоксичність, кг 1,4-DB-екв		
6,6513E-15	4,3577E-15	3,2110E-15
Морська евтрофікація, кг N-екв		
1,1848E-14	3,5545E-14	1,0663E-13
Токсичність для людини, кг 1,4-DCB-екв		
1,2781E-7	9,7744E-8	3,6842E-7

Порівняння по нормалізації масок по впливу класів представлено на рисунках 40, 41, 42, 43. Дані нормалізації по категорії на кожний вплив, по розрахунках показують, що найбільш ефективна маска, щодо екологічного впливу респіраторна маска.

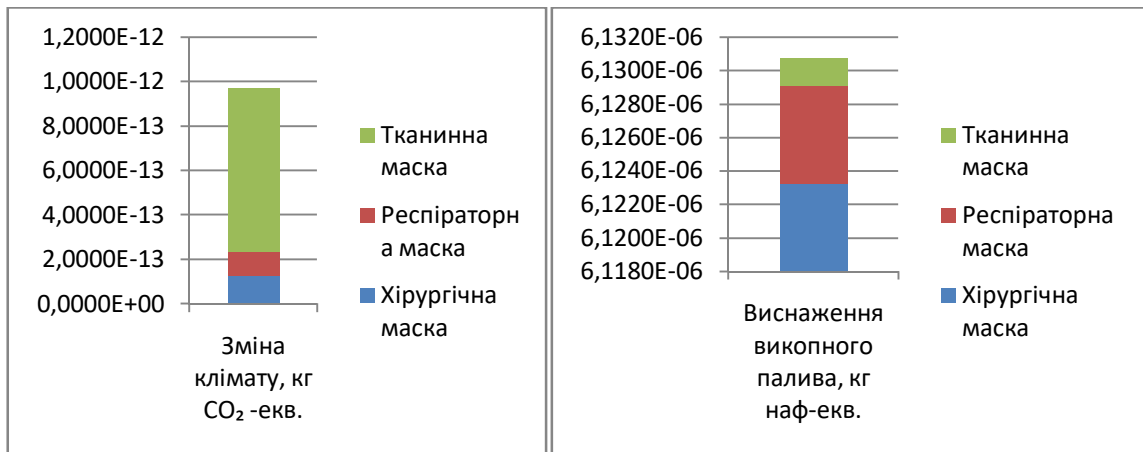


Рисунок 40 – Зміна клімату та виснаження викопного палива



Рисунок 41 – Важкі метали та морська екотоксичність

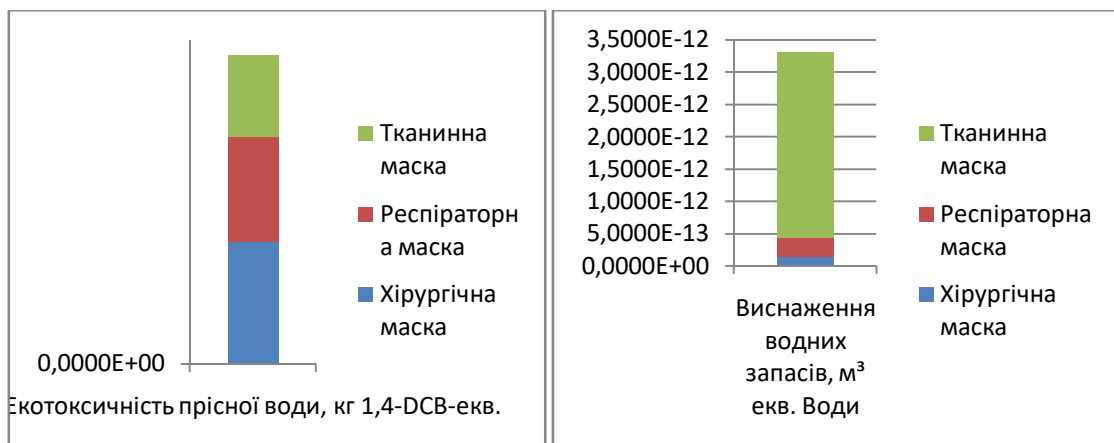


Рисунок 42 – Екотоксичність прісної води та виснаження водних запасів



Рисунок 43 – Евтрофікація прісної води та морська евтрофікація

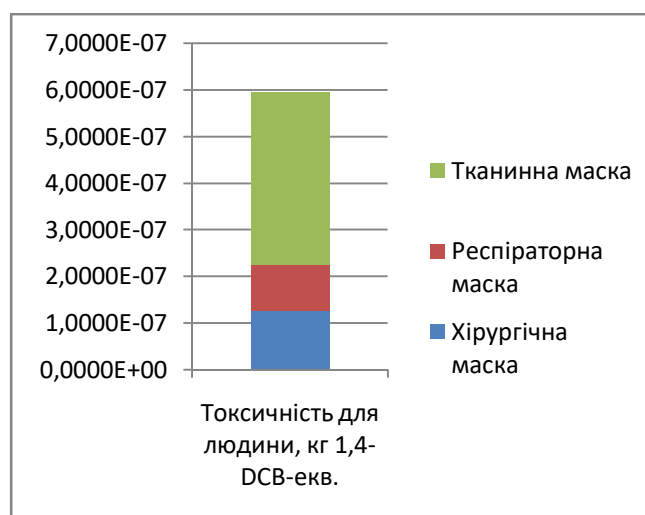


Рисунок 44 – Токсичність для людини

3.2.3 Інтерпретація результатів ОЖЦ

Інтерпретація полягає в поєднанні інвентаризаційних результатів використання енергії та оцінки впливу.

Аналізуючи інвентаризацію по енергії для хірургічної маски. На рисунку 40 зображена діаграма інвентаризаційного аналізу маски.

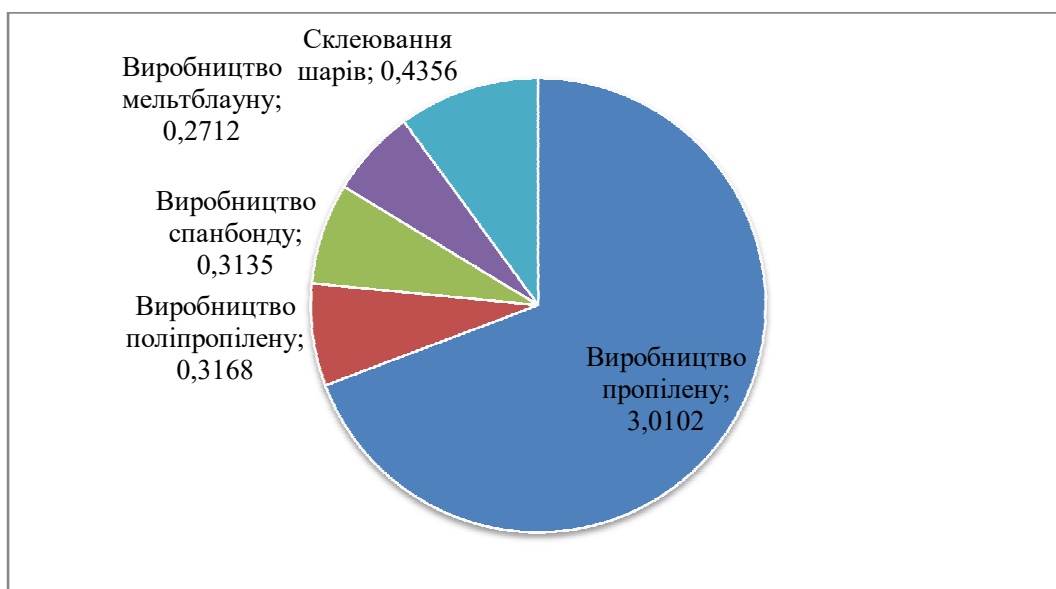


Рисунок 40 – Трата енергії при інвентаризаційному аналізі на різних стадіях хірургічної маски

На рисунку видно, що найбільше енергії витрачається при виробництві пропілену а найменше при виробництві мельтблауну, загальна витрата енергії для виготовлення 1 кг, маски 4,3473 кВт.

Інвентаризаційний аналіз респіраторної маски представлений на рисунку 41. Загальна витрата енергії для виготовлення 1 кг, маски 4,2575 кВт. Представлено який процес стільки витрачає енергії.

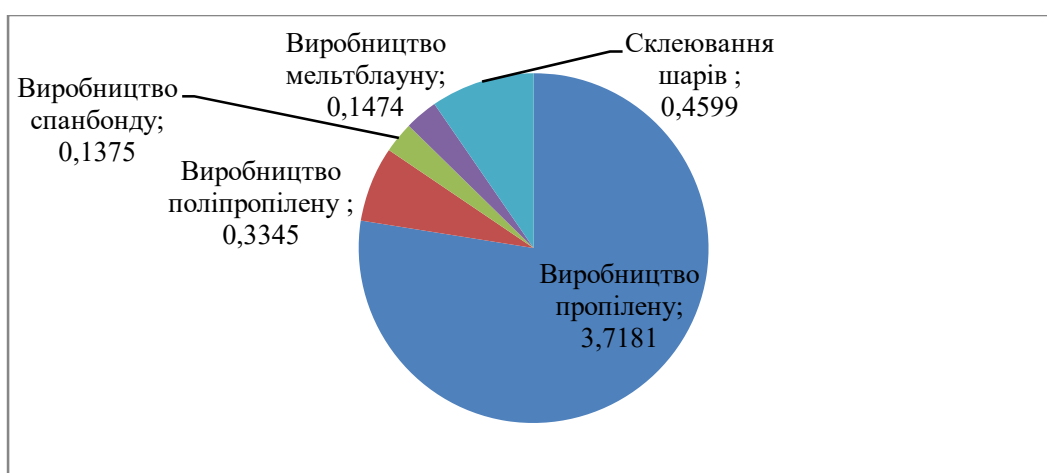


Рисунок 41 – Трата енергії при інвентаризаційному аналізі на різних стадіях респіраторної маски

На рисунку 42 представлена трата енергії при інвентаризаційному аналізі на різних стадіях тканинної маски. При виробництві тканинної маски найбільше енергії потрібно для пошиття шарів маски та виробництва пропілену. Загальна витрата енергії для виготовлення 1 кг, маски 1,3068 кВт.

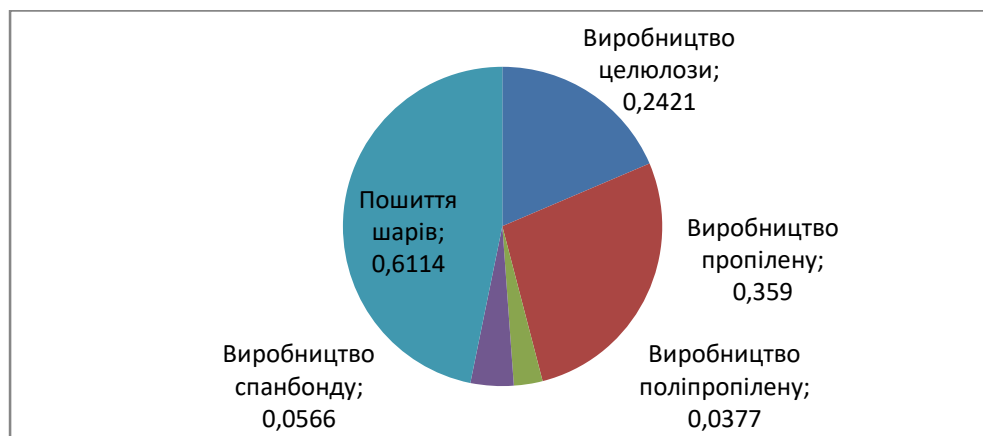


Рисунок 42 – Трата енергії при інвентаризаційному аналізі на різних стадіях тканинної маски

З вище наведених діаграм випливає, що найбільше енергії затрачається на інвентаризаційному аналізі хірургічної маски, зображено на рисунку 30. За результатами вихідних речовин найбільше виділяється при виробництві целюлози в тканинній масці. Також в респіраторній масці більше виділяється вихідних речовин ніж в хірургічній масці. Вихідні дані для хірургічної та тканинної маски представлені в таблиці 21, а для тканинної в таблиці 22.

Таблиця 21 – Вихідні дані хірургічної та респіраторної маски

Речовина	Вихідні дані	
	1	3
Виробництво пропілену		
	Хірургічна маска	Респіраторна маска
H ₂	37,7219 г	39,8296 г
C ₂ H ₄	0,4 г	0,4 г
C ₄ H ₁₀	8,2988 г	8,7618 г
Виробництво поліпропілену		

Кінець таблиці 21

1	2	3
Бензин	0,1980 г	0,2090 г
$\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$	0,1980 г	0,2090 г
TiCl_3	0,1980 г	0,2090 г
Виробництво спанбонду		
Повітря	1,5 м ³	0,6 м ³
Виробництво мельтблауну		
Повітря	0,8 м ³	0,4 м ³

Таблиця 22 – Вихідні дані при виробництві тканинної маски

Речовина	Вихідні дані
Виробництво целюлози представлено в таблиці 16	
Виробництво пропілену	
H_2	4.4998 г
C_2H_4	0,4 г
C_4H_{10}	0,9899 г
Виробництво поліпропілену	
Бензин	0,0236 г
$\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$	0,0236 г
TiCl_3	0,0236 г
Виробництво спанбонду	
Повітря	0,4 м ³

По оцінці життєвого циклу було вибрано категорії впливу для хірургічної, респіраторної та тканинної маски. Представлені розрахунки по нормалізації оцінки впливу масок. З розрахунків і представлених діаграм найкраще на екологічний вплив впливає респіраторна маска а найгірше тканинна.

Висновки

Охарактеризувавши огляд джерел науково-технічної інформації, було описано ринок масок для захисту обличчя, та представлено основних постачальників. Охарактеризовано аналіз методів проведення оцінки життєвого циклу масок та наведені приклади.

Проведено два етапи визначення якісних та кількісних характеристик матеріалів, для виготовлення масок. Перший полягає в оцінці експлуатаційних властивостей матеріалів, другий в їх ідентифікації. Також описана методика проведення досліджень по оцінці життєвого циклу масок.

По проведених дослідженнях та наведених розрахунках, шари масок мають різні щільності хоча вироблені з одного матеріалу, а розрахунки повітропроникності, паропроникності, водопроникності та мікроскопічні дослідження залежать саме від щільності матеріалу.

Досліджено склад ІЧ-Фур'є-спектрометром IRAffinity-1, а за допомогою поляризаційного мікроскопу Axioskop 40 Pol, відбулося дослідження структури даних матеріалів та проведена ідентифікація зразків. Матеріали хірургічної та респіраторної маски виготовлені з поліпропілену, тканинної маски – з бавовни та поліпропілену.

Проведена оцінка життєвого циклу масок, під час якої визначеною метою є порівняльна оцінка життєвого циклу хірургічної, респіраторної та тканинної маски. Визначені інвентаризаційні потоки для різних видів масок.

Проведена оцінка впливу масок за категоріями екологічного впливу таких, як : зміна клімату, виснаження викопного палива, використання металів, використання води, екотоксичність прісної води, евтрофікація прісної води, морська екотоксичність, морська евтрофікація, токсичність для людини.

На останньому етапі проведена інтерпретація результатів, яка показала, що за виробництвом електроенергії гірша хірургічна маска, краща тканинна маска. За результатами вихідних потоків найбільше виділяється речовин в виробництві тканинної маски при виробництві целюлози. В респіраторній масці

виділяється більше вихідних речовин ніж в тканинній. За оцінкою екологічного впливу під час проведення нормалізації було визначено, що респіраторна маска має менший екологічний вплив а тканинна найбільший вплив, в наслідок більшого впливу на вибрані категорії.

Перелік джерел посилання

1. Медичні маски, як правильно носити, види масок, маска медична багаторазова [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://pryluky.cg.gov.ua/web_docs/5612/2020/04/docs/%d0%9f%d1%80%d0%be%20%d0%bc%d0%b0%d1%81%d0%ba%d0%b8.pdf.

2. Медицинская амуниция против коронавируса: что Украина импортирует, а что производит сама [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2020/04/23/659326/>.

3. Інформаційна довідка щодо Державних стандартів України, які регулюють вимоги до засобів індивідуального захисту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://moz.gov.ua/uploads/ckeditor/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8/%D0%97%D0%86%D0%97%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8.pdf>.

4. Захисні маски для обличчя: види та особливості [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.slovoidilo.ua/2020/04/02/infografika/suspilstvo/zaxysni-masky-oblychchya-vydy-ta-osoblyvosti>.

5. Маска пластикова прозора багаторазова [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://rozetka.com.ua/ua/305455783/p305455783/>.

6. Скільки держава витрачає на маски [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ti-ukraine.org/blogs/skilky-derzhava-vytrachaye-na-masky/>.

7. Імпорт медичних масок в ЄС виріс на 1800%, основний постачальник – Китай [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/10/6/665943/>.

8. Оцінка життєвого циклу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pidru4niki.com/68509/ekologiya/otsinka_zhittyevogo_tsiklu.

9. Оцінка характеристик життєвого циклу продукції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pidru4niki.com/17280924/ekologiya/otsinka_harakteristik_zhittyevogo_tsiklu_produktsiyi.

10. A Life Cycle Assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic [Electronic resource]. – 2021. – С. 16. – Access mode: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-97188-5>.

11. Environmental implication of personal protection equipment in the pandemic era: LCA comparison of face masks typologies [Electronic resource]. – 2021. – С. 7. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/349953610_Environmental_implication_of_personal_protection_equipment_in_the_pandemic_era_LCA_comparison_of_face_masks_typologies.

12. Cotton and Surgical Masks—What Ecological Factors Are Relevant for Their Sustainability? [Electronic resource]. – 2020. – С. 13. Access mode: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10245/htm>.

13. Life cycle assessment of single-use surgical and embedded filtration layer (EFL) reusable face mask [Electronic resource]. – 2021. – С. 12. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921001877>.

14. Which strategy for using medical and community masks? A prospective analysis of their environmental impact [Electronic resource]. – 2021. – С. 8. Access mode: <https://bmjopen.bmj.com/content/11/9/e049690>.

15. A life cycle assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic [Electronic resource]. – 2021. – С. 9. Access mode: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-97188-5>.

16. Медичні маски: як їх правильно носити та які вони бувають [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://apteka-ds.com.ua/blog-item/medychni-masky-yak-yikh-pravyлно-nosyty-ta-yaki-vony-buvaiut>.

17. Тканинна маска для обличчя [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%BA%D0%B0_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%87%D1%87%D1%8F.

18. Захисні маски та респіратори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.umj.com.ua/article/172739/zahisni-maski-ta-respiratori>.

19. Матеріал нетканый: щільність, виробництво і застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://poradu.pp.ua/nauka/33317-materal-netkaniy-schlntst-virobnictvo-zastosuvannya.html>.

20. Метод определения поверхностной плотности [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294819/4294819878.pdf>.

21. Щільність та густина. Лінійна щільність та поверхнева густина матеріалів. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arhivinfo.ru/1-38102.html>.

22. Materials and Supplies for DIY Mask Tests [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://makermask.org/diy-mask-tests/>.

23. Визначення паропроникності текстильних матеріалів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/11/11-8/11-88186.html>.

24. Порівняльний аналіз методів визначення паропроникності текстильних матеріалів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: file:///C:/Users/User/Downloads/vknutdtn_2017_3_5.pdf.

25. Поляризационный микроскоп Axioskop 40A Pol [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ircima.unn.ru/devices/axioskop-40a-pol/>.

26. Інфрачервона спектроскопія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%D1%81

%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%8F.

27. Інфрачервона спектроскопія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uadoc.zavantag.com/text/11826/index-1.html>.

28. Ідентифікація сполук [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/494585/mod_resource/content/4/2020%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%BE-%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F%20%D0%92%D0%9C%D0%A1-%D0%9B%D0%A0%28%D0%A2%D0%9B%D0%9F%2C%20%D0%A5%D0%A2%D0%86%2C%20%D0%A5%D0%86%D0%9C%2C%20%D0%9F%D0%9E%29.pdf.

29. Франчук Г. М. Урбоекологія і технологія / Г. М. Франчук, О. І. Запорожець, Г. І. Архіпова. – Київ, 2011. – 496 с.

30. Оцінювання життєвого циклу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_14040_2013.pdf.

31. Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pidru4niki.com/14990528/ekologiya/inventarizatsiyniy_analiz_zhittyevogo_tsiklu.

32. Final report propylene production plant [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.academia.edu/9853391/Design_for_Production_of_Propylene.

33. Виробництво поліпропілену [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ahv.kpi.ua/wp-content/uploads/%D0%93%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%B8%D0%BA.pdf>.

34. Вретік Л. О. "Промислові полімери" та "Основи технології виробництва полімерних матеріалів" / Л. О. Вретік, Н. П. Мельник. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет, 2012. – 112 с.

35. Технологія виробництва мультблаун [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://softorg.com.ua/news/tehnologiya_virobnitstva_meltblaun.

36. Спанбонд [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B4>.

37. Як утилізувати захисні маски та рукавички в умовах пандемії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://slavutamvk.gov.ua/archives/26637>.

38. Як в Україні утилізують небезпечні медичні відходи [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://suspilne.media/98901-spaluut-abo-vikidaut-po-dorozi-ak-v-ukraini-utilizuut-nebezpecni-medicni-vidhodi/>.

39. Оцінка зниження навантаження на довкілля при переробці вторинного паперу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/25384/1/Vinokurov_pererobka_vtorynnogo_papery.pdf;jsessionid=17C231AE1652F8E8CBD4826586A41BFD.

40 Normalization in Life Cycle Assessment: consequences of new European factors on decision making [Electronic resource]. – 2016. – С. 8. Access mode: http://ils2016conference.com/wp-content/uploads/2015/03/ILS2016_WD04_5.pdf.

Додаток А

Результати ідентифікації зразків в полум'ї

Таблиця А1 – Результати ідентифікації зразків в полум'ї

Вид маски	Вид волокна	Горіння волокон у полум'ї			Дія хімічних реагентів		
		Характер горіння	Запах при горінні	Характер залишку	Дія кислот	Дія лугів	Дія органічних розчинників
1	2	3	4	5	6	7	8
Хірургічна	Спанбонд (поліпропілен)	Горить добре,яскраво жовто-синє полум'я,скрапують краплі	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється
	Мельтблаун	Плавиться,стає прозорим, горить синьо-жовтим полум'ям	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється
	Спанбонд	Горить добре,яскраво жовто-синє полум'я,скрапують	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється

1	2	3	4	5	6	7	8
Респіраторна	Спанбонд	Горить добре,яскраво жовто-синє полум'я,скрапують краплі	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється
	Мельтблаун	Горить добре,яскраво жовто-синє полум'я,скрапують краплі	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється
	Спанбонд	Горить добре,яскраво жовто-синє полум'я,скрапують краплі	Парафіну	Розплавлений шматок білого коляру	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4 та хромової суміші	Стійкий до лугів	Не розчиняється
Тканинна	Бавовна	Горить швидко без кіптяви та плавлення	Паленого паперу	Сірий попіл	При взаємодії з конц. HCl утв. жовте забарвлення, при дії NH_4OH оранж	В 10%-му розчині NaOH не розчиняється	
	Флізелін	Горить добре,яскраве полум'я з кіптявою	Парафіну	Чорний розплав	Руйнується під дією HNO_3 , H_2SO_4	Стійкий до лугів	Не розчиняється

