

ВІДГУК

офіційного рецензента

на дисертаційну роботу **Савчука Андрія Петровича**

на тему «Фізична модифікація в технологічних процесах переробки полівінілхлориду», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Савчука Андрія Петровича є своєчасною та актуальною через зростання попиту на розробку нових технологій циклічної переробки ПВХ. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення ефективних технологій циклічної переробки ПВХ, які відповідають принципам сталого розвитку та циркулярної економіки. ПВХ є одним із найпоширеніших полімерів, відходи якого становлять значну екологічну проблему через низьку термостійкість і складний хімічний склад. Водночас повторне використання цього матеріалу здатне суттєво скоротити споживання первинної сировини й енерговитрати у виробництві.

Актуальною задачею є не лише перероблення відходів, а й розроблення технологій багаторазової циклічної переробки первинного ПВХ, що забезпечують стабільність його властивостей. Це потребує раціоналізації складу композицій та використання ефективних фізичних модифікаторів, таких як стабілізаторів, лубрикантів, пластифікаторів і наповнювачів, які підвищують термостійкість полімеру та дозволяють уникнути його деградації під час повторного переплавлення. Розв'язання цього завдання має як наукову, так і практичну значущість, оскільки сприяє підвищенню екологічної безпеки та ресурсоефективності полімерної галузі.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи Савчука Андрія Петровича полягає у дослідженні стабілізації ПВХ композицій під час їх переробки в режимі ПЦП та ПЗЦП. Встановлено, що оптимальна композиція

містить стабілізатор Ca/Zn – 4 мас. ч., лубрикант Licowax PE 520 – 0,5 мас. ч., пластифікатор DOTP – 1,7 мас. ч. та наповнювач Omyacarb 2T-КА – 20 мас. ч. Такий склад забезпечує стабільність показника течії розплаву (ПТР) на рівні 1,5-1,6 г/10 хв і збереження механічних властивостей після п'яти циклів переплавлення, відтермінування часу початку термоокиснювальної деструкції на 20-35%, а також зменшення швидкості деструкції на 0,6-0,8%/хв модифікованих композицій. Встановлено, що оброблений наповнювач карбонат кальцію виступає додатковим стабілізатором ПВХ за рахунок наявного на поверхні стеарату кальцію та вільної стеаринової кислоти, що дозволяє зберегти колір ПВХ композиції незмінним протягом 5 циклів переробки в процесі циклічної переробки. Визначено вплив лубрикантів на енергію активації течії ПВХ композиції при циклічній переробці. Встановлено, що введення поліетиленового воску у кількості 0,5-1,0 мас.ч., ефірного лубриканту - 0,3-0,7 мас.ч. та амідного лубриканту - 0,2-0,5 мас.ч. дозволяє зберегти індекс жовтизни композиції на рівні, придатному до подальшого застосування.

Достовірність отриманих результатів забезпечується застосуванням сертифікованих методик дослідження механічних властивостей згідно ISO 527-2:2012. Показники течії розплаву (ПТР) визначено відповідно до стандартів ASTM D1238 та ISO 1133-1. Густина зразків встановлено методом гідростатичного зважування згідно зі стандартом ISO 1183-1:2019. Кольорометричні характеристики (ступінь білизни, жовтизни та координати кольору) визначено за стандартом ASTM E1164, для реологічного аналізу використовували сучасне обладнання - реометр RM-200C. Результати досліджень супроводжуються статистичною обробкою, зокрема для встановлення залежностей між концентрацією термостабілізаторів, лубрикантів, пластифікаторів, наповнювачів і функціональними характеристиками, а також побудовою трендів, що корелюють із сучасними теоретичними моделями провідності в композитах.

Обґрунтованість наукових результатів підтверджується чіткою логікою структури дисертації, послідовністю виконання поставлених завдань і детальною аргументацією вибору матеріалів, і технологічних режимів

переробки. Автором здійснено всебічний аналіз впливу складу композицій, способу їх формування та параметрів циклічної переробки на кінцеві властивості матеріалів. Порівняння отриманих експериментальних результатів з аналогами, наведеними у вітчизняній і зарубіжній науковій літературі, підтверджує їх відповідність сучасному рівню наукових знань, а в окремих випадках – перевищує його, що є свідченням високої наукової цінності та оригінальності виконаної роботи.

Таким чином, усі поставлені у дисертаційній роботі наукові завдання виконано у повному обсязі, результати є достовірними, новими та добре обґрунтованими, а сам здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукових досліджень у галузі хімічних технологій та інженерії.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Савчука А.П. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Хімічні технології та інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Хімічні технології та інженерія».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Савчука Андрія Петровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно та логічно, із чітким дотриманням структури наукової роботи: від постановки мети дослідження до формулювання висновків. Кожен розділ логічно впливає з попереднього, що сприяє цілісному сприйняттю інформації.

Стиль мовлення відповідає вимогам наукового стилю: використано об'єктивну, нейтральну лексику, уникається емоційність та суб'єктивні оцінки. Текст лаконічний, інформативний, з дотриманням норм академічної доброчесності.

Інформація подається доступною мовою, зрозумілою для фахівців відповідної галузі. Разом із тим, автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, що свідчить про професійний рівень викладення та орієнтацію на академічну аудиторію.

Використання ілюстративного матеріалу (таблиць, графіків, схем) додатково підсилює зміст тексту та робить його більш наочним. Обґрунтування гіпотез, аналіз результатів і формулювання висновків виконано чітко та аргументовано.

Загалом, текст відзначається високим рівнем академічної культури, науковою коректністю та стилістичною виваженістю.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 215 сторінок.

У вступі обґрунтовано важливість обраної теми, її значення для науки та практики, наявність невирішених проблем у цій галузі.

У першому розділі здобувач здійснив узагальнюючий аналіз наукових джерел, присвячених властивостям, структурним особливостям і сферам використання полівінілхлориду. Розглянуто вплив способів синтезу та рецептурного складу на перероблюваність і експлуатаційні характеристики ПВХ, а також функціональну роль основних груп добавок у формуванні властивостей матеріалу. Проаналізовано традиційні та сучасні технології переробки ПВХ і підходи до його повторного використання з урахуванням екологічних та технологічних обмежень. Показано, що основні труднощі рециклінгу пов'язані з деградацією полімерної матриці, міграцією пластифікуючих компонентів, наявністю стабілізаторів різної хімічної природи та складністю обробки змішаних потоків відходів. Узагальнення літературних даних дозволило обґрунтувати доцільність застосування фізичної модифікації як ефективного підходу до стабілізації властивостей ПВХ при багаторазовій

переробці та визначити наукові передумови подальших експериментальних досліджень.

Другий розділ присвячений викладенню методологічних основ експериментальних досліджень та обґрунтував вибір матеріалів, рецептур і методів оцінки властивостей ПВХ-композицій у процесі багаторазової переробки. Описано використані марки полівінілхлориду, функціональні добавки та принципи формування модельних композицій, які дозволяють відтворити умови промислової переробки жорсткого та частково пластифікованого ПВХ. Наведено схеми підготовки сировини, умови змішування, екструзії та циклічної переробки, а також підходи до введення модифікуючих добавок. У розділі детально охарактеризовано методи визначення реологічних, фізико-механічних і термостабілізаційних показників, зокрема показника текучості розплаву, міцності при розриві, відносного видовження, ударної в'язкості та параметрів термічної стабільності. Обґрунтовано вибір кількості циклів переробки та схеми введення регенерату як інструментів оцінки довготривалої стабільності структури ПВХ-композицій. Таким чином, розділ 2 формує надійну експериментальну базу та методичну основу для аналізу впливу фізичної модифікації на властивості ПВХ у наступних розділах дисертаційної роботи.

У третьому розділі здобувачем наведено результати експериментальних досліджень впливу фізичної модифікації на реологічні, термічні та фізико-механічні властивості ПВХ-композицій у процесі багаторазової переробки. Проаналізовано зміну показника текучості розплаву, міцності при розриві, відносного видовження та ударної в'язкості залежно від типу і концентрації пластифікаторів, стабілізаторів, лубрикантів і наповнювачів. Встановлено раціональні рецептурні параметри, за яких забезпечується стабільність структури ПВХ при послідовній та змішаній циклічній переробці. Показано, що оптимальне поєднання компонентів фізичної модифікації дозволяє знизити інтенсивність термодеструкції, уповільнити деградацію макромолекул і зберегти експлуатаційні властивості матеріалу після повторного переплавлення. Отримані результати слугують науковим обґрунтуванням ефективності

застосованих модифікаційних підходів та створюють основу для їх подальшої практичної реалізації.

Червертий розділ відображає дослідження впливу фізичної модифікації на здатність ПВХ-композицій до багаторазової циклічної переробки. Проаналізовано зміну реологічних, термічних і фізико-механічних показників матеріалу при послідовній та змішаній схемах повторного переплавлення з урахуванням введення регенерату. Встановлено закономірності збереження структури та експлуатаційних властивостей ПВХ при багаторазовому термічному навантаженні, визначено граничні концентрації вторинної сировини, за яких не відбувається істотного погіршення показників міцності, пластичності та ударної в'язкості. Показано, що застосування раціонально підбраної системи пластифікаторів, стабілізаторів і лубрикантів забезпечує стабілізацію в'язкопружних характеристик і зниження інтенсивності термодеструкційних процесів. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу та створюють наукове підґрунтя для впровадження замкнених циклів переробки ПВХ-композицій.

У п'ятому розділі здобувач представив практичну реалізацію та апробацію результатів дисертаційного дослідження в умовах лабораторного й промислового виробництва. На основі встановлених закономірностей фізичної модифікації ПВХ розроблено технологічні рішення, спрямовані на забезпечення стабільності реологічних і фізико-механічних властивостей матеріалу при багаторазовій циклічній переробці.

Основну увагу приділено технології введення пластифікатора у вигляді сухого концентрату, що забезпечує рівномірний розподіл модифікуючих компонентів у полімерній матриці, зменшення їх втрат під час екструзії та підвищення відтворюваності властивостей готових виробів. Показано ефективність застосування запропонованої фізичної модифікації у процесах виготовлення труб, профілів, плівкових і кабельних ПВХ-виробів, а також при переробці вторинної сировини. Отримані результати підтверджують можливість масштабування розробленої технології та її доцільність для

впровадження ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих підходів у промисловій переробці ПВХ.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення та результати дисертаційного дослідження відображено у 10 наукових працях, з них 2 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б; 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science Core Collection. Також результати дисертації пройшли апробацію на 7 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації свідчать про високий рівень теоретичної підготовки, володіння сучасними методами дослідження та глибоке розуміння актуальних проблем у сфері хімічних технологій та інженерії. Тематика публікацій відповідає напрямку дослідження та демонструє поступовий розвиток наукової думки, від постановки проблеми до практичної реалізації результатів.

У публікаціях простежується самостійність викладення матеріалу, аргументованість наукових висновків, коректне посилання на джерела інформації. Автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, чітко формулює мету та завдання досліджень, логічно структурує текст та обґрунтовує результати.

Здобувач дотримується принципів академічної доброчесності, зокрема, коректно використовує джерела та посилання на праці інших дослідників, не виявлено фактів плагіату або самоплагіату, дотримується етичних норм у поданні результатів.

Публікації охоплюють як фахові видання, так і матеріали конференцій, що підтверджує активну наукову діяльність та зацікавленість у професійному зростанні.

Загалом, науковий доробок здобувача характеризується високим рівнем академічної якості та повною відповідністю вимогам до наукових публікацій у

вищій освіті та науці. Наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі основну увагу зосереджено на фізичній модифікації ПВХ-композицій, тоді як хімічні та фізико-хімічні методи модифікації (зшивання, співполімеризація, хлорування ПВХ) розглянуто переважно в оглядовому аспекті без експериментального порівняння їх ефективності з запропонованим підходом. Це дещо обмежує можливість комплексної оцінки переваг фізичної модифікації відносно альтернативних методів.
2. Експериментальні дослідження виконано на обмеженій кількості марок ПВХ і типів стабілізаційних систем, що, хоча й відповідає поставленим завданням, але не дозволяє повною мірою екстраполювати отримані закономірності на всі комерційні рецептури ПВХ, зокрема спеціалізовані композиції для медичного або харчового застосування.
3. Оцінка довготривалої експлуатаційної стабільності модифікованих ПВХ-композицій здійснювалася переважно за показниками багаторазової циклічної переробки та короткочасних фізико-механічних випробувань, тоді як вплив кліматичного старіння, ультрафіолетового опромінення та хімічно агресивних середовищ потребує додаткових досліджень.
4. Промислова апробація розроблених технологічних рішень проведена на окремих підприємствах, що підтверджує їх практичну реалізованість, однак ширше впровадження на різних типах обладнання та виробничих лініях могло б надати більш повну інформацію щодо універсальності й адаптивності запропонованої технології.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

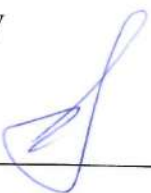
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Савчука Андрія Петровича на тему «Фізична модифікація в технологічних процесах переробки полівінілхлориду» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Савчук Андрій Петрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

Начальник науково-дослідної частини
Київського національного університету
технологій та дизайну
д.т.н., проф.

/  / Людмила ГАЛАВСЬКА

М.П.

«23» січня 2026 року

