

ВІДГУК

офіційного опонента 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 компонентний склад. Водночас, повторне використання цього матеріалу здатне суттєво скоротити споживання первинної сировини й енерговитрати у виробництві.

При цьому, актуальною задачею є не лише перероблення відходів, а й розроблення технологій багаторазової циклічної переробки первинного ПВХ, що забезпечують стабільність його властивостей. Це потребує оптимізації складу композицій та використання ефективних фізичних модифікаторів - стабілізаторів, лубрикантів, пластифікаторів і наповнювачів, які підвищують термостійкість полімеру та дозволяють уникнути його деградації під час повторного перероблення. 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 в 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. Визначенні впливу лубрикантів на енергію активації течії ПВХ композиції при циклічній переробці. Встановлено, що введення поліетиленового воску у кількості 0,5–1,0 мас. ч., естерного 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) визначали відповідно до стандартів ASTM D1238 та ISO 1133-1, Густина зразків встановлювали методом гідростатичного зважування згідно зі стандартом ISO 1183-1:2019, Кольорометричні характеристики (ступінь білизни, жовтизни та координати кольору) визначали 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 в дисертаційній роботі наукові завдання виконано в 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 співпадиння, 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.

В першому розділі дисертації наведено ґрунтовний літературний огляд сучасного стану досліджень у сфері полівінілхлориду, його властивостей, застосування, способів переробки та модифікації. Розглянуто хімічну будову ПВХ, основні методи його синтезу та вплив умов полімеризації на структуру і

властивості матеріалу. Проаналізовано класифікацію марок ПВХ, особливості формування жорстких і м'яких композицій, а також роль функціональних добавок у забезпеченні технологічності та експлуатаційних характеристик виробів. Окрему увагу приділено основним галузям застосування ПВХ, зокрема будівництву, транспортній, електротехнічній та пакувальній промисловості, із наведенням статистичних даних щодо структури споживання матеріалу. Детально розглянуто склад ПВХ-композицій, функції пластифікаторів, стабілізаторів, наповнювачів і модифікаторів, а також їхній вплив на переробку та повторне використання полімеру. У розділі проаналізовано традиційні та інноваційні методи переробки ПВХ, включаючи механічну, хімічну, гідротермічну, електрохімічну, біологічну переробку та хімічний апсайклінг. Визначено ключові проблеми, пов'язані з наявністю добавок, забрудненням потоків відходів і високою енергоємністю процесів. Окреслено сучасні виклики й перспективи розвитку технологій переробки ПВХ у контексті циркулярної економіки. Завершальною частиною розділу є огляд основних підходів до модифікації ПВХ, що дозволяють цілеспрямовано покращувати його властивості та розширювати сфери застосування матеріалу.

В другому розділі дисертації наведено характеристику вихідних матеріалів і методів досліджень, використаних для вивчення властивостей ПВХ-композитів у процесі багаторазової переробки. Обґрунтовано вибір базового полімеру – суспензійного полівінілхлориду марки VYNOVA S6706, а також комплексу функціональних добавок, зокрема термостабілізаторів різної хімічної природи, пластифікаторів, мінеральних наповнювачів і лубрикантів, які забезпечують необхідну термостабільність, перероблюваність і механічні властивості композицій. Детально розглянуто роль кожного типу добавок та їхній вплив на структуру і експлуатаційні характеристики ПВХ.

Описано методику приготування зразків ПВХ-композитів, що включала високошвидкісне змішування компонентів, грануляцію, формування стрічки та її багаторазову циклічну переробку протягом п'яти циклів. Такий підхід дозволив змоделювати реальні умови термомеханічного навантаження матеріалу та простежити накопичувальні зміни його властивостей у процесі

повторного плавлення. У розділі також подано комплекс методів дослідження, спрямованих на всебічну оцінку властивостей ПВХ-композитів. Використано реометричний аналіз для визначення реологічної поведінки та термостабільності матеріалу, визначення показника течії розплаву, густини, механічних характеристик при розтязі та ударній дії, а також спектрофотометричний аналіз кольору, білизни і жовтизни. Для підвищення достовірності результатів передбачено статистичну обробку експериментальних даних відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO та ASTM. Такий комплексний підхід забезпечив методичну основу для подальшого аналізу впливу рецептурного складу та багаторазової переробки на властивості ПВХ-композитів у наступних розділах дисертації.

У розділі 3 досліджено вплив стабілізаторів, лубрикантів та наповнювачів на здатність жорстких ПВХ-композицій до багаторазової циклічної переробки. Реалізовано два підходи: послідовну циклічну переробку (ПЦП), що передбачає багаторазове переплавлення композицій без введення вторинної сировини, та послідовну змішану циклічну переробку (ПЗЦП), у якій частина первинного ПВХ заміщується модифікованим регенератом. Такий підхід дозволив комплексно оцінити як внутрішню термостійкість ПВХ-систем, так і ефективність повторного залучення відходів у виробничий цикл. Показано, що тип і концентрація стабілізатора є визначальними чинниками збереження реологічних, механічних та оптичних властивостей матеріалу. Встановлено перевагу кальцій-цинкових стабілізаційних систем у порівнянні з барій-цинковими та органоолов'яними, особливо за умов багаторазового термомеханічного навантаження. Рациональний вміст Ca/Zn-стабілізатора (4–6 мас. ч.) забезпечує мінімальні втрати міцності, стабільність показника текучості розплаву та пригнічення процесів термодеструкції протягом п'яти циклів переробки, що підтверджено аналізом енергії активації в'язкої течії. Досліджено роль лубрикантів різної хімічної природи та встановлено, що поліетиленовий віск у концентрації близько 0,5 мас. ч. забезпечує оптимальний баланс між перероблюваністю та термостабільністю ПВХ-композицій. Надлишкове введення лубрикантів призводить до погіршення міжфазної

взаємодії та зниження механічних характеристик. Показано, що у режимі ПЗЦП лубриканти частково компенсують негативний вплив вторинного ПВХ на реологічні властивості розплаву. Окрему увагу приділено впливу наповнювачів, зокрема карбонату кальцію, на стабільність ПВХ-композицій. Встановлено, що поверхнево модифікований карбонат кальцію забезпечує вищу термостійкість, кращу стабільність кольору та збереження механічних властивостей порівняно з немодифікованим наповнювачем. Раціональна концентрація наповнювача (20–30 мас. ч.) сприяє уповільненню деструктивних процесів та стабілізації властивостей у режимі змішаної циклічної переробки. Таким чином, у розділі обґрунтовано раціональні рецептурні рішення для створення ПВХ-композицій, придатних до багаторазової переробки, що підтверджує можливість реалізації ресурсозберігаючих технологій у межах концепції циркулярної економіки.

У розділі 4 дисертаційної роботи досліджено вплив комплексного поєднання фізичних модифікаторів на здатність жорстких ПВХ-композитів до багаторазової циклічної переробки. Основну увагу зосереджено на ролі пластифікаторів різної хімічної природи, лубрикантів, наповнювачів та стабілізаторів у забезпеченні термостабільності, реологічної керованості та збереження фізико-механічних властивостей матеріалу при повторних циклах переробки. На основі раціоналізованої базової рецептури ПВХ-композиту для виготовлення віконного профілю проведено порівняльне дослідження впливу диоксиладипінату, діоктилтерефталату та полімерного пластифікатора. Показано, що диоксиладипінат характеризується недостатньою термостійкістю та призводить до прискореної деградації матеріалу вже після 2–3 циклів переробки. Натомість діоктилтерефталат і полімерний пластифікатор забезпечують вищу стабільність реологічних та механічних характеристик. Встановлено, що раціональний вміст діоктилтерефталату становить близько 1,5–1,7 мас. частин, що підтверджується максимальними значеннями часу до початку деструкції та енергії активації в'язкої течії. Досліджено вплив концентрації поліетиленового воску як лубриканту в умовах комплексної фізичної модифікації. Виявлено, що оптимальний вміст 0,5 мас. частини забезпечує синергічний ефект зі стабілізатором Ca/Zn, що проявляється у

зростанні термостабільності, стабілізації показника текучості розплаву та збереженні ударної в'язкості й міцності при п'яти циклах переробки. Відхилення від цього вмісту призводить до інтенсифікації термодеструктивних процесів. Окремий підрозділ присвячено оцінці впливу регенерату у межах послідовної змішаної циклічної переробки. Показано, що введення вторинного ПВХ у кількості до 30 мас. частин не спричиняє критичного погіршення експлуатаційних властивостей композиту, а геометричне «розведення» регенерату в наступних циклах зменшує його негативний вплив. Отримані результати підтверджують можливість реалізації замкнених циклів переробки ПВХ без істотної втрати властивостей. Таким чином, у розділі 4 експериментально обґрунтовано раціональні рецептурні рішення для створення ПВХ-композитів, придатних до багаторазової циклічної переробки, що має важливе значення для впровадження ресурсозберігаючих технологій та принципів циркулярної економіки у виробництві жорстких ПВХ-виробів.

Розділ 5 присвячено практичному застосуванню результатів досліджень, спрямованих на впровадження технології фізичної модифікації ПВХ-композицій для забезпечення їх багаторазової циклічної переробки. На основі встановлених у попередніх розділах закономірностей впливу стабілізаторів, лубрикантів, наповнювачів і пластифікаторів розроблено та апробовано технологічні рішення, придатні для використання в умовах промислового виробництва. Ключовим практичним результатом є розроблення методу введення пластифікатора у вигляді сухого концентрату, що забезпечує рівномірний розподіл пластифікуючої фази в полімерній матриці, зменшення її втрат під час екструзії та підвищення стабільності реологічних і фізико-механічних властивостей ПВХ при повторній переробці. Запропонована технологія не потребує суттєвих змін існуючого обладнання та може бути реалізована на стандартних двостадійних змішувачах і екструзійних лініях. У розділі наведено приклади впровадження фізичної модифікації у процесах виготовлення ПВХ-труб і профілів за схемами послідовної та послідовної змішаної циклічної переробки. Показано, що використання розробленої твердої пластифікуючої добавки забезпечує стабільність показника текучості розплаву,

підвищення ударної в'язкості та збереження міцності й еластичності матеріалу навіть після 5–10 циклів переробки. Встановлено, що введення регенерату у кількості до 20–30 мас. ч. не призводить до критичного погіршення експлуатаційних характеристик виробів. Окрему увагу приділено можливостям застосування створеної добавки в інших технологіях переробки ПВХ, зокрема у виробництві кабельних оболонок, плівок, рулонних покриттів і виробів з вторинного ПВХ. Отримані результати підтверджують універсальність розробленої технології та її ефективність для стабілізації властивостей як жорстких, так і пластифікованих ПВХ-композицій. Таким чином, розділ 5 демонструє практичну реалізованість наукових результатів дисертаційної роботи та їх придатність для впровадження у промислові технології, що створює передумови для зменшення кількості ПВХ-відходів і розвитку замкнених циклів переробки відповідно до принципів циркулярної економіки.

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 і результати дисертаційного дослідження відображено у 10 наукових роботах, з них 2 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у виданнях, які входять до міжнародних науко-метричних баз Scopus та/або Web of Science Core Collection. Також результати дисертації були апробовані 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. Відповідно до усталеної української хімічної термінології, у роботі некоректно використано термін «ефірний віск». Оскільки воски за хімічною природою є естерами вищих жирних кислот і вищих одноатомних спиртів, правильним є термін «естерний віск».

2. В роботі приведені спектрофотричні дослідження кольору і ступеня білизни досліджуваних взірців ПВХ після циклічної переробки. Доцільно було б привести також поряд з експериментальними даними фотографії матеріалів, для кращої візуалізації змін під час циклічної переробки.

3. Структура окремих підрозділів місцями перевантажена деталями. Зокрема, у підрозділі 3.2 перелік експериментальних даних іноді переважає над аналітичними узагальненнями, що створює труднощі при сприйнятті основних висновків - доцільно було б додати таблиці з інтегрованими результатами.

4. В роботі для розділення десятих і сотих значень використовується то кома то крапка, необхідно уніфікувати.

5. Не зрозуміло чому для дослідження впливу пластифікаторів під час циклічної переробки обраний вміст до 2 мас.ч., оскільки вже під час апробації результатів композиції місяць від 5 мас. ч пластифікатора.

6. В роботі наведено методику дослідження густини, проте самі результати досліджень густини розроблених матеріалів в експериментальних частинах роботи відсутні.

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

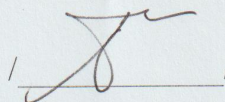
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Савчука Андрія Петровича на тему «Фізична модифікація в технологічних процесах переробки полівінілхлориду» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність 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:

Асистент кафедри
хімічної технології переробки пластмас
Інституту хімії та хімічних технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»
к.т.н.

/  /

Андрій МАСЮК

Підпис засвідчую

Вчений секретар Р.Бригадєвський

