

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження Київського національного університету технологій та дизайну **ХОМЕНКА ВОЛОДИМИРА ГРИГОРОВИЧА**
на дисертаційну роботу **РОЗВОРИ ЛЮБОМИРА ВАСИЛЬОВИЧА**
«Розробка технології одержання функціональних полімерних композитів з поглинальними властивостями», представлену на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

Актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами, планами і темами

Дисертаційна робота Розвори Любомира Васильовича присвячена розробленню технології високонаповнених поліолефінових композитів, у яких оксид кальцію виконує функцію реакційноздатного поглинача вологи, а полімерна матриця забезпечує формування гранули або стрічки, механічну цілісність і можливість перероблення стандартним екструзійним обладнанням. Контроль вологості у герметичних або напівгерметичних об'ємах є важливою умовою збереження фармацевтичної, електронної, харчової та іншої вологовразливої продукції. Традиційні осушувачі у вигляді порошку потребують окремої оболонки та мають обмеження щодо форми, дозування і контакту з продуктом. Тому створення композитного осушувача з керованою швидкістю поглинання, достатньою міцністю та заданим форм-фактором є актуальним науково-прикладним завданням.

Запропонований підхід передбачає перенесення осушувальної функції з окремого вкладного елемента безпосередньо у полімерний матеріал або конструктивний компонент пакувальної системи, що відповідає сучасному напрямку розвитку активного пакування.

Наукова актуальність роботи визначається необхідністю встановлення взаємозв'язку між природою поліолефінової матриці, масовою часткою і дисперсністю СаО, геометрією композитної гранули, транспортом водяної пари та зміною фізико-механічних властивостей під час підвищення ступеня

наповнення. Практичний аспект полягає у виборі режимів компаундування, які забезпечують введення до 80 мас. % реакційноздатного наповнювача без втрати стабільності процесу, а також у розробленні технологічних схем одержання мікрогранули та екструзійної стрічки.

Дисертаційні дослідження виконано в межах ініціативної науково-дослідної теми «Розробка технології одержання композитних матеріалів спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0123U100731, термін виконання 01.2023–06.2027, науковий керівник Н. В. Сова).

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Мета дисертаційної роботи сформульована як розроблення технології одержання функціональних полімерних композитів з поглинальними властивостями. Для її досягнення поставлено п'ять взаємопов'язаних завдань: дослідити вплив вмісту СаО, його гранулометрії, типу полімерної матриці та питомої поверхні композитного виробу на кінетику вологопоглинання, а також розробити технологію одержання поглинальних композитів на основі лінійного поліетилену низької щільності. Логіка дослідження загалом відповідає переходу від вибору матеріалів і лабораторного встановлення закономірностей до модифікування складу, масштабування та промислової апробації.

Наукові положення та висновки дисертації ґрунтуються на значному обсязі експериментальних даних, одержаних під час системного дослідження впливу складу композитів, типу полімерної матриці, вмісту і дисперсності оксиду кальцію та геометричних параметрів виробів на їхні технологічні, фізико-механічні й поглинальні властивості. Послідовне варіювання окремих чинників дало змогу встановити причинно-наслідкові зв'язки між складом, умовами одержання, структурою та функціональними характеристиками матеріалів.

Обґрунтованість одержаних результатів забезпечується логічною побудовою дослідження, застосуванням стандартизованих методів

випробувань, використанням контрольних і порівняльних зразків, тривалими кінетичними спостереженнями та зіставленням результатів, отриманих різними методами. Встановлені закономірності підтверджуються узгодженою зміною реологічних, фізико-механічних і поглинальних характеристик композитів, а також результатами виробничої апробації розроблених технологічних рішень.

Сформульовані в дисертації висновки відповідають поставленим завданням і впливають із наведених експериментальних результатів. Практичні рекомендації ґрунтуються на досліджених складах, визначених параметрах перероблення та результатах одержання композитної мікрогранули й екструзійної стрічки на виробничому обладнанні.

Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та практичної значущості

Найбільш вагомими результатами дисертаційної роботи є:

- обґрунтування вибору LLDPE як матриці, що поєднує достатню технологічність і вищу паропроникність порівняно з дослідженими LDPE та HDPE, завдяки чому полегшується підведення водяної пари до частинок CaO;
- встановлення впливу збільшення вмісту CaO від 30 до 80 мас. % на технологічні, механічні та функціональні властивості композитів: видовження при розриві зменшувалося від 318 до 58 %, ударна в'язкість — від 44,87 до 9,61 кДж/м², густина зростала від 1,63 до 2,82 кг/дм³, а паропроникність — від 0,80 до 0,92 г/м²·год за наведеними у роботі даними;
- визначення ролі геометрії виробу: збільшення середнього діаметра гранули від 2,0 до 5,5 мм сповільнювало вологопоглинання приблизно у 1,5 раза, тоді як досягнутий після тривалої експозиції рівень поглинання залишався близьким;
- виявлення відмінностей кінетики для композитів з CaO характерного розміру 15, 200 і 320 мкм; дрібнодисперсний матеріал забезпечував

більш рівномірне наростання маси, тоді як для крупніших фракцій спостерігався індукційний період із подальшим прискоренням після утворення тріщин у гранулі;

- визначення компромісу між технологічністю та функціональністю під час модифікування: введення поліетиленового воску знижувало тиск на фільтрі та підвищувало текучість розплаву, а Vistamaxx 6502 підвищував видовження при розриві й ударну в'язкість, проте одночасно сповільнював поглинання води;
- демонстрація можливості використання вторинного поліетилену. Зокрема собівартість такого композиту була приблизно вдвічі нижчою порівняно з матеріалом на основі первинного поліетилену, а поглинальна здатність становила 8,4 %;
- розроблення двох технологічних маршрутів, а саме одержання композитної мікрогранули для фасування у перфорований пакетик та одержання екструзійної стрічки осушувального призначення.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна роботи полягає у кількісному встановленні закономірностей вологопоглинання у високонаповненій системі «поліолефінова матриця – CaO », з урахуванням спільного впливу розміру частинок CaO та геометрії композитної гранули на характер кінетичної кривої. Додатково новизна визначається окресленням технологічно-функціонального компромісу при введенні воскових та еластомерних добавок. Ці результати розширюють уявлення про керування швидкістю доступу водяної пари до реакційноздатної мінеральної фази у сформованому полімерному виробі. Водночас формулювання про «вперше встановлений механізм» утворення $\text{Ca}(\text{OH})_2$ під час взаємодії CaO з водою потребує звуження, оскільки сама реакція гідратації CaO є загальновідомою; новим результатом є її реалізація, кількісна характеристика та технологічне керування в конкретній композитній системі.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблену технологію мікрогранули апробовано на виробничих потужностях ТОВ НВП «Брок Сервіс

Центр» на композиції, що містила 75 мас. % CaO, 5 мас. % CaCO₃, 17 мас. % LLDPE і 3 мас. % поліетиленового воску; продуктивність лінії становила близько 72 кг/год. Технологію екструзійної стрічки апробовано на ТОВ «Компаунд Полімер Юкрейн» на композиції LLDPE/Vistamaxx/CaO = 15/5/80 мас. % за продуктивності 22,4 кг/год. Наведені технологічні схеми, режими дозування, температурні профілі, вимоги до сухого контуру, повітряного охолодження, гранулювання, калібрування і фасування можуть бути використані як основа для подальшого інженерного масштабування.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати дисертаційної роботи Розвори Любомира Васильовича достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, серед яких 5 статей у наукових виданнях, включених до переліку фахових наукових видань України, а також публікації у матеріалах наукових конференцій.

Результати досліджень були апробовані на наукових конференціях та науково-практичних форумах, що свідчить про їх обговорення у фаховому середовищі та отримання наукової оцінки з боку наукової спільноти. Тематика опублікованих робіт безпосередньо відповідає змісту дисертаційного дослідження та відображає основні етапи виконання роботи: від аналізу проблеми створення функціональних полімерних композитів до обґрунтування технологічних підходів до їх одержання та дослідження властивостей.

Публікації характеризуються належним науковим рівнем, логічністю викладення матеріалу та обґрунтованістю отриманих результатів. У них представлено результати експериментальних досліджень, проведено аналіз отриманих даних та сформульовано відповідні наукові висновки. У наукових роботах використано сучасну наукову термінологію та дотримано вимог до оформлення наукових публікацій.

Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи достатньою мірою оприлюднені у наукових публікаціях здобувача та відповідають вимогам, що висуваються до апробації результатів дисертаційних досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота Розвори Любомира Васильовича відповідає спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, переліку опублікованих праць здобувача, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку зі 150 використаних джерел і двох додатків. Нумерована частина роботи охоплює 206 сторінок. Ілюстративний матеріал містить 31 таблицю і 24 рисунки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, наведено зв'язок роботи з науковою тематикою, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, положення наукової новизни та практичного значення, особистий внесок здобувача, відомості про апробацію і публікації.

У першому розділі систематизовано відомості про контроль вологості в пакуванні, паропроникність полімерів, механізми фізичної адсорбції та хімічного зв'язування води, властивості силікагелю і СаО та підходи до створення полімерних осушувальних композитів. За результатами огляду обґрунтовано вибір реакційноздатного наповнювача і поліолефінової матриці та сформульовано напрями експериментальних досліджень.

У другому розділі охарактеризовано полімерні матриці, мінеральні компоненти і модифікатори, описано лабораторну лінію компаундування, способи формування зразків і методи визначення реологічних, фізико-механічних та функціональних показників. Позитивною рисою є спроба формалізувати методику оцінювання карбонатизації та статистичне оброблення даних. Разом з тим точність підтримання заданої відносної вологості і база нормування приросту маси потребують додаткового пояснення.

У третьому розділі порівняно вологопоглинання силікагелю та CaO , досліджено композити на основі трьох поліетиленових матриць, встановлено вплив вмісту CaO , діаметра композитної гранули і гранулометрії наповнювача. Розділ містить основний масив кінетичних залежностей і показує, що підвищення ємності за високого вмісту CaO супроводжується зменшенням пластичності, ударної в'язкості та значним об'ємним розширенням.

У четвертому розділі проаналізовано модифікування складу CaCO_3 , поліетиленовим воском і Vistamaxx 6502, а також застосування вторинного поліетилену. Показано, що технологічні добавки полегшують компаундування, проте можуть зменшувати швидкість вологопоглинання, тоді як еластомер дає змогу частково компенсувати втрату деформаційних та ударних характеристик.

У п'ятому розділі наведено технологічні схеми одержання мікрогранули і стрічки, рекомендовані параметри обладнання та режимів перероблення, а також результати промислової апробації. Окремо розглянуто поводження з відпрацьованими композитами, у яких CaO після експлуатації переходить переважно у Ca(OH)_2 і CaCO_3 .

Ознайомлення з текстом дисертації показує, що запозичені положення супроводжено посиланнями на джерела, а представлені результати відповідають вимогам академічної етики та доброчесності. Ознак фабрикації чи фальсифікації під час аналізу тексту не встановлено.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на високий науковий рівень дисертаційної роботи, слід висловити деякі зауваження та побажання:

1. У методиці сорбційних випробувань не наведено фактичних коливань температури та відносної вологості. Необхідно пояснити, як підтримували 30 і 50 % RH протягом 90 діб за одночасного розміщення в ексікаторі до 15 поглинальних зразків.

2. У роботі значна увага приділена дослідженню кінетики вологопоглинання, однак доцільним було б доповнити аналіз більш розгорнутим порівнянням отриманих результатів з аналогічними даними, наведеними у сучасних наукових публікаціях.
3. Для складу LLD6 наведено взаємосуперечливі значення міцності 29,2 і 44,8 МПа та збільшення об'єму 52,34 і 66,01 %. Крім того, WVTR у методиці виражено в $\text{г/м}^2 \cdot \text{добу}$, а в таблицях — у $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$. Ці дані й одиниці вимірювання необхідно уточнити.
4. Збільшення об'єму зразків після повного вологопоглинання сягає 52–66 %. Як це узгоджується з цілісністю кінцевого виробу — чи не призводить таке розширення до розриву перфорованого пакетика, деформації стрічки або пошкодження пакованого виробу, і чи проводились відповідні випробування?
5. Чим обґрунтовано твердження про на 9,6 % вищу поглинальну здатність порівняно з комерційними аналогами та про вдвічі нижчу собівартість композиту на вторинному поліетилені? З яким саме продуктом і за якою методикою виконувалося зіставлення?
6. Для характеристики дисперсності СаО використано переважно паспортні дані та результати ситового аналізу, що не дає повного уявлення про фактичний розподіл частинок у композиті. Доцільно навести значення D10, D50 і D90 та результати дослідження мікроструктури, а висновок щодо зміни кристалічності внаслідок введення Vistamaxx 6502 підтвердити методами DSC або рентгеноструктурного аналізу.
7. У тексті дисертаційної роботи наявні поодинокі редакційні та стилістичні неточності, які не впливають на зміст і наукову цінність дослідження, проте потребують незначного редакційного доопрацювання.

Зроблені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Вони стосуються окремих аспектів подання матеріалу та не впливають на загальну обґрунтованість отриманих результатів і сформульованих висновків.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Розвора Любомира Васильовича «Розробка технології одержання функціональних полімерних композитів з поглинальними властивостями» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання зі створення високонаповнених поліолефінових композитів з оксидом кальцію, керованою кінетикою вологопоглинання та придатністю до формування у вигляді гранули й екструзійної стрічки.

Одержані результати мають наукову новизну і практичне значення, підтверджене апробацією технологічних рішень на виробничих потужностях двох підприємств. Зміст роботи відповідає спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», а основні результати висвітлено у наукових публікаціях та апробовано на наукових конференціях.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням, обсягом та рівнем проведених досліджень дисертаційна робота повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Розвора Любомир Васильович, за результатами публічного захисту заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний рецензент:

професор кафедри хімічних технологій
та ресурсозбереження
Київського національного університету
технологій та дизайну,
доктор технічних наук, професор

Володимир ХОМЕНКО



Підпис

В. Хоменко

Довідчую

В. ХОМЕНКО