

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу
Ярмоли Тетяни Володимирівни
«Основи технології переробки високов'язких високосірчистих нафт
Яблунівського родовища України»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія
(галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія)

Актуальність теми

Вивчення рукопису дозволяють дійти висновку, що дисертаційна робота Ярмоли Т. В. присвячена вирішенню **актуального науково-прикладного завдання** щодо розроблення комплексу технологічних заходів з нарощування видобутку та перероблення вуглеводневої високов'язкої високосірчистої сировини на Яблунівському родовищі України.

З точки зору енергетичної безпеки держави та через постійне виснаження запасів легких, малов'язких нафт, активізація розроблення родовищ важковидобувних запасів, а саме високов'язких нафт і природніх бітумів, набуває все більш важливого стратегічного значення.

На підставі аналізу формальних аспектів дисертації Ярмоли Т. В., вимог до оформлення та представлення результатів дослідження, можна дійти висновку, що поставлені в роботі завдання досліджень доведені до кінцевого логічного вирішення, а сама дисертація є завершеною науково-дослідною працею та відповідає встановленим на сьогодні вимогам.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки, технологічні рішення, що сформульовані в дисертаційній роботі, теоретично обґрунтовані, а їх достовірність підтверджується результатами експериментальних досліджень (розділи 3, 4), що мають теоретичне підґрунтя та математично опрацьовані. Усі висновки базуються на великому масиві аналітичних і експериментальних матеріалів, одержаних з використанням сучасних стандартних і науково обґрунтованих методів досліджень.

Тема дисертаційної роботи Ярмоли Т. В. **безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України** згідно з п. 3 «Енергетика та енергоефективність» і п. 4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами від 29.01.2021 р.), а також відповідає науковим напрямкам кафедри хімічної технології переробки нафти і газу Національного університету «Львівська

політехніка» – «Розроблення основ процесів переробки горючих копалин, одержання та застосування моторних палив, мастильних матеріалів, мономерів, полімерів, смол, в'язучих і поверхнево-активних речовин з вуглеводневої сировини» і виконувалась за тематичними планами декількох госпдоговірних тематик № 205 (07.10–20.12.2019), № 0618 (11.07–31.12.2019), № 678 (2.06–10.09.2021), № 11-2023 (15.02–31.03.2023) та за фінансової підтримки програми ПРОМ «Міжнародний стипендіальний обмін докторантів та наукових кадрів» Польської Національної агенції академічного обміну (№ реєстр. PPI/PRO/2020/1/00009/U/001), де здобувач була виконавцем.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень (розділи 3–5), а також апробацією на 10 конференціях різного рівня, актом упровадження у навчальний процес (додаток А), результатами експериментальних досліджень залишкового бітуму (додаток Б – акт випробування).

Наукові положення, практичне значення та висновки дисертації логічно побудовані у контексті мети та сформульованих завдань, експериментально доведені, математично опрацьовані та теоретично обґрунтовані.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації двома мовами, переліку умовних позначень, списку опублікованих праць за темою дисертації, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 177 сторінок, з них: 32 рисунки, 42 таблиці, список використаної літератури зі 172 найменувань; 2 додатків на 3 сторінках. Рисунки, таблиці, додатки та список використаної літератури сумарно займають 80 сторінок.

До основних нових наукових результатів дисертації автор відносить таке:

- досліджено фізико-хімічні властивості високов'язких високосірчистих нафт (ВВН) Яблунівського родовища України;
- показано, що в області температур 20–30 °С досліджувані нафти володіють властивостями неньютонівських рідин;
- в'язкість досліджуваних важких нафт з розчинником різко відрізняється від теоретично розрахованого. При цьому ця різниця суттєво зменшується за збільшення температур розчинення, що говорить про наявність високомолекулярних асоційованих структур, на які розчинник впливає мало за низьких температур;
- показано, що додавання полімерних додатків суттєво покращує реологічні властивості важких нафт Яблунівського родовища. Так, за додавання 3% ПАР, напруження зсуву і в'язкість зменшується на 50 % через вплив ПАР на структуру смол та асфальтенів, що містяться в нафтах;
- встановлено, що з суміші нафт Яблунівського родовища можна отримати дистиляційний (залишковий) нафтовий бітум, що відповідає технічним вимогам на

бітум дистиляційний марки 100/150 та може бути використаний у дорожньому будівництві.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичну цінність дисертації автор позиціонує так:

- розроблено основи технології переробки високов'язкої високосірчистої нафти (ВВН) Яблунівського родовища;

- доведено, що для високоефективного зневоднення водонафтових емульсій ВВН взятих із 4-ох свердловин Яблунівського родовища доцільно використовувати вітчизняний деемульгатор ПМ-1441 марки А, вироблений на основі блоккополімерів оксиду етилену та пропілену, в кількості 100–250 ppm, для ще більш важкої нафти – 250–500 ppm. Температура зневоднення встановлюється на рівні 60–70°C, для більш важкої нафти – більше 70°C.

- встановлено, що з суміші високов'язкої нафти Яблунівського родовища внаслідок атмосферної перегонки одержується залишок, в якому міститься велика кількість сіркових сполук, тому бітум з такої нафти може мати високі адгезійні властивості. Також характеристики цього дистиляційного бітуму відповідають вимогам до бітуму дорожнього 100/150. Крім цього, для покращення властивостей і довговічності бітуму можна додати модифікатор синтетичного воску в кількості 3% мас., температура процесу 180 °С, час 3 год. Отриманий модифікований бітум модифікований бітум відповідає стандартам іншої марки бітуму БМВ 60/90;

- розроблено принципову технологічну схему процесу переробки суміші ВВН Яблунівського родовища та технологічну карту процесу, складено матеріальний баланс процесу.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 19 працях, серед яких: 1 розділ у міжнародній колективній монографії видавництва Springer, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 5 статей у міжнародних науково-метричних базах Scopus і Web of Science, 1 стаття в закордонному науковому періодичному виданні, 10 тез у матеріалах конференцій різного рівня, 2 патенти України на корисну модель.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані праці цілком відображають основний зміст дисертаційної роботи та відповідають вимогам пункту 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Публікації здобувача висвітлюють основні наукові положення дисертації, зокрема, ті, що автор виносить на захист, а також характеризують особистий внесок дисертанта.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Ярмоли Т. В. складається зі вступу, анотації, списку опублікованих праць за темою дисертації, переліку умовних позначень, символів та скорочень, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та 2 додатків.

У вступі автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовані мета, об'єкт і предмет дослідження, та основні завдання дослідження; наведено характеристику методів дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; представлено особистий внесок здобувача, апробація результатів роботи, публікації, структура та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі здобувач визначила та проаналізувала основні джерела інформації щодо розв'язуваного питання. Встановлено, що переважна кількість високов'язких нафт зосереджена в багатьох країнах і континентах. Відомі такі нафти у Канаді, Венесуелі та Південній та Північній Америці, а також на Близькому Сході. У Євразії більшість важких нафт, знаходиться у росії, Казахстані та Азербайджані. Високов'язкі нафти мають невеликий вміст бензинових і дизельних фракцій, але в них присутній значний вміст мазуту, що має високу температуру застигання, тому такі нафти не бажано переробляти у традиційній схемі нафтопереробного заводу (НПЗ). Проте вони є хорошою сировиною для одержання бітуму на відміну від класичних нафт. На сьогодні існує три способи видобутку ВВН і природних бітумів: кар'єрний (відкритий), шахтний і свердловинний. Так під час процесу видобутку нафти зустрічаються з такими проблемами як, міжремонтний період свердловини та обладнання, котрий пов'язаний з розробленням надр. Тому через вміст в нафті парафінів і смолистих речовин, може вийти з ладу обладнання. З часом на деталях насосів і транспортувальних трубах ці речовини накопичуються, і як наслідок потрібні частіші ремонти і таким чином відбуваються простої. Через високу густину, в'язкість, низький вміст водню, наявність смол та асфальтенів та достатньо великої кількості гетероатомних сполук, а також високого вмісту металів (нікелю, ванадію) процеси переробки ВВН є дуже серйозною проблемою через ці фізико-хімічні властивості. Також існують проблеми переробки нафти, що пов'язані зі складністю її підготовки, а саме зневоднення та знесолення. Щоб підвищити ефективність зневоднення і знесолення високов'язкої нафти, шляхом попереднього розведення нафти та зменшення в'язкості цієї нафти додають розчинник та підбирають ефективний деемульгатор. Так само створюються проблеми боротьби з корозією обладнання, оскільки в нафті, що надходить на переробку, містяться вода, механічні домішки, хлористі солі. Одним із найпоширеніших та важливих методів

захисту від корозії є застосування інгібіторів. Як показує практика цей метод є найдешевшим і найпростішим. Інгібітор корозії, що надходить в агресивне середовище, гальмує процес корозійного руйнування металів. Українським аналогом важких нафт є нафти Яблунівського родовища, що знаходяться в Полтавській області на відстані 17 км від міста Лохвиця в північно-західній частині приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини у межах південного схилу Жданівської депресії. У літературі описано тільки основні характеристики цієї нафти, а детально вона не вивчалась. Для вибору оптимального варіанту переробки нафт Яблунівського родовища необхідно спочатку вивчити її склад і властивості, використовуючи стандартні методики. На підставі аналізу літератури автор сформулювала завдання для вирішення у дисертації.

У другому розділі представлено характеристику використовуваних речовин і методики експериментів і аналізів.

У третьому розділі представлено результати еспериментальних досліджень фізико-хімічних і реологічних властивостей високов'язких нафт. Тут представлено одержанні дані властивостей нафт Яблунівського родовища в Полтавській області України. Автор репрезентує основні результати таким чином: досліджувані нафти мають високу густину ($>950 \text{ кг/м}^3$) та характеризуються як дуже важкі нафти; вміст сірки в нафтах є високим і становить близько 3 %; в нафтах присутня велика кількість металів, всі нафти є ванадієвого типу, співвідношення $V/Ni > 1$; нафти характеризуються високою температурою застигання $9\text{--}44 \text{ }^\circ\text{C}$; нафти Яблунівського родовища мають аномально високу кінематичну в'язкість – за $20 \text{ }^\circ\text{C}$ свердловини № 88 – $2120 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, свердловини № 337 – $1123 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, свердловини 94 – $4861 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ за $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Досліджувані нафти проявляють властивості ділатантних неньютонівських рідин 1-го класу. Описано результати визначення розчинності нафти у вуглеводневих розчинниках. Як видно з досліджень в легких газових конденсатах нафта розчиняється. Шляхом проведення ґрунтовних досліджень визначено реологічні властивості високов'язких нафт трьох свердловин Яблунівського родовища. Зразки нафт св. №88 та №337 в області температур за 20°C за швидкості зсуву від $0,7$ до 452 с^{-1} мають криволінійні залежності напруження зсуву від швидкості зсуву, і поводяться як неньютонівські рідини. За температур вище $30 \text{ }^\circ\text{C}$ нафти із св. №88 та №337 стають ньютонівськими. Звідси впливає доцільність методу перекачування високов'язких нафт з підігрівом. У нафті св. № 94 в області температур $2\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C}$ за швидкості зсуву вищій за 21 с^{-1} криві залежності напруження зсуву від швидкості зсуву носять криволінійний характер, тому можна зробити висновок, що нафта св. № 94 поводитья як неньютонівська псевдопластична рідина в усій області досліджених температур. Досліджені реологічні параметри мають практичне значення для оцінки ефективності різних способів дії на реологічну поведінку нафт під час їх видобутку

та транспортуванні. Тобто, за висновком автора, під час підігрівання нафт св. №88 та №337 вище 20°C їх неньютонівські властивості згладжуються, залежність динамічної в'язкості від швидкості зсуву 110 знижується. Нафта св. № 94 потребує більшого нагрівання або інших методів знижується в'язкості (додавання против'язкісних і депресорних присадок). Додавання полімерних додатків ПЕГ, ППГ, кополімерів оксиду етилену та пропілену до високов'язких нафт суттєво знижує в'язкість, напруження зсуву та буде сприяти зниженню енергозатрат під час видобутку та транспортування нафти. Для зниження в'язкості та одержання можливості видобутку нафт в пласт необхідно подавати важкий газовий конденсат – КГС Яблунівського або Ярівського ВПГ.

У четвертому розділі експериментально досліджено процеси зневоднення важких нафт яблунівського родовища та захист від корозії технологічного обладнання. Основний висновок цього розділу – для інтенсифікації процесів зневоднення та знесолення водонафтових емульсій важких високов'язких нафт взятих із 4-ох свердловин Яблунівського родовища необхідно додавати розчинники для зниження їх в'язкості та підбирати ефективний деемульгатор, що здатний руйнувати бронюючі оболонки глобул води.

Автор стверджує, що для зниження в'язкості та покращення процесу зневоднення високов'язких нафт Яблунівського родовища, їх доцільно розбавляти важким газовим конденсатом у кількості 30% мас. на сировину. Додавання легкого газового конденсату дещо менше впливає на в'язкість емульсії, оскільки в ньому гірше розчиняються смолисто-асфальтенові речовини і відбувається їх осадження. Для процесу знесолення високов'язких нафт необхідно додавати промивну воду в кількості 10% мас. на сировину, без додавання промивної води та розчинника ВГК даний процес буде не ефективним. Для високоефективного зневоднення водонафтових емульсій важких високов'язких нафт взятих із 4-ох свердловин Яблунівського родовища доцільно використовувати вітчизняний деемульгатор ПМ-1441 марки А, вироблений на основі блоккополімерів оксиду етилену та пропілену у певному співвідношенні, у кількості 100–250 ppm, для ще більш важкої нафти – 250–500 ppm. Температура зневоднення встановлюється на рівні 60–70°C, для більш важкої нафти – більше 70°C.

Тут також автор доводить, що ефективність інгібіторів корозії залежить від умов синтезу (тривалості та температури) та відповідно повноти проходження реакції. Констатує автор, що найоптимальніші умови для одержання високоефективних інгібіторів – це тривалість синтезу – 4 год та температура 130°C в разі використання диетаноламіну, та 150°C у випадку використання триетаноламіну. Найбільша ефективність, згідно висновку автора, притаманна інгібітору корозії, одержаного з рафінованої соняшникової олії як у випадку 135 диетаноламіну, так і у випадку триетаноламіну. Загальна кількість ненасичених кислот в даній олії

становила 91,5%, що підтверджує більшу ефективність даного продукту порівняно з тими, що мали насичені кислоти. Отже, аміни та естери кислот соняшникової олії проявляють однаково високий захисний ефект навіть у високо агресивному корозійному середовищі. Також було вибрано 5 синтезованих інгібіторів корозії для дослідження корозійної дії суміші бензинової та дизельної фракцій, одержаних із ВВН, взятих із 4-ох свердловин Яблунівського родовища. Автор акцентує увагу, що достатньо високу захисну дію проявили синтезовані інгібітори на основі амінів одержаних з суміші кислот яловичого жиру і диетаноламіну та кислот рафінованої соняшникової олії і триетаноламіну, що рівнозначне дії інгібітора корозії на базі імпортової сировини ДЕОЛ 4241м.Б, на основі амідів поліаміннафтоєвих кислот з циклогексаламіном при тому, що вітчизняний інгібітор буде суттєво дешевшим.

У п'ятому розділі представлено результати дослідження дистильованих фракцій та модифікованих бітумів з суміші нафт яблунівського родовища, принципову технологічну схему процесу переробки суміші ВВН Яблунівського родовища. Для цієї схеми автор розрахувала матеріальний баланс процесу розділення суміші ВВН Яблунівського родовища.

Академічна доброчесність

Результати дослідження, що винесено автором на захист, отримані самостійно та містяться в опублікованих працях. У працях, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, що є результатом індивідуальних наукових пошуків.

Невідповідності вимогам академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації Ярмоли Т. В., не виявлено.

Тема дисертаційної роботи Ярмоли Т. В. безпосередньо пов'язана з **пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України** згідно з п. 3 «Енергетика та енергоефективність» і п. 4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами від 29.01.2021 р.).

Поставлені завдання у контексті сформульованої мети досягнуто та доведено до логічного завершення.

Відзначаючи загалом достатній науковий рівень дисертаційної роботи Ярмоли Т. В., слід відзначити, що робота не позбавлена певних зауважень, дискусійних аспектів і рекомендацій, до яких відносяться такі:

1. Формулювання об'єкту дослідження у вступі подано у надто загальному вигляді. Виходячи з назви та мети дисертації, об'єкт дослідження – процеси перероблення ВВН Яблунівського родовища України.

2. За текстом дисертації не формалізовано гіпотезу дослідження, що, на думку опонента, викликало певні невідповідності у формулюванні об'єкту та науково-прикладного завдання.

Було б доцільно сформулювати науково-прикладне завдання так – розроблення комплексу технологічних заходів з нарощування видобутку та перероблення вуглеводневої високов'язкої високосірчистої сировини на Яблунівському родовищі України.

3. Останній пункт формулювання наукової новизни дисертації більше схожий на практичну цінність цих доробків автора.

4. Другий розділ дисертації перевантажений відомими літературними даними, стандартними методиками. Тут варто було б послатись на відповідне джерело та скоротити обсяг розділу.

5. Третій розділ насичений експериментальними даними дисертантки, але бракує опису оцінки точності експериментальних даних.

6. У розділі 4 автор описує математичне опрацювання результатів досліджень, але тут не достатньо інтерпретації отриманих даних, їх практичне застосування. Такий вагомий результат дослідження не відображено у висновках дисертації.

Як на практиці можна використати ці результати?

7. У розділі 5 здобувачка описує технологічну схему процесу переробки суміші ВВН Яблунівського родовища з матеріальним балансом процесу розділення суміші ВВН Яблунівського родовища. Репрезентована технологічна схема належить як розробка автору чи це удосконалена класична технологічна схема?

8. У цілому дисертація має прикладний характер. Як можна використати результати підбору деемульгаторів на практиці. Тут бажано було б розробити практичні рекомендації щодо застосування того чи іншого деемульгатора, алгоритм підбору найбільш ефективного.

9. У тексті дисертації зустрічаються редакційні, стилістичні та термінологічні помилки. Так, наприклад, автором часто вживаються такі конструкції «при температурі» замість «за температури», «шляхом проведення» (стор. 109, 136) замість «проведенням», «риформінг» замість «реформінг», «ряд» замість «низка».

Однак, виявлені невідповідності не знижують науково-практичної цінності дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів наявні та їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня та їх зміст відповідають встановленим вимогам і відображають зміст дисертації. Дисертація має чітко виражений прикладний характер.

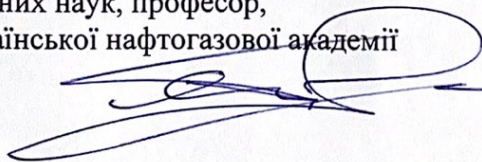
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Всебічний аналіз дисертаційної роботи **Ярмоли Т. В.** «Основи технології переробки високов'язких високосірчистих нафт Яблунівського родовища України» свідчить про те, що вона є завершеною, цілісною самостійною кваліфікаційною працею, логіка і внутрішня структура якої підпорядкована поставленій меті та завданням і вирішує важливе науково-прикладне завдання галузі.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що представлені автором висновки й рекомендації знаходяться у контексті розвитку напрямів і пріоритетів інноваційного розвитку країни, зокрема, у сфері нафтохімії та нафтопереробки, де вирішується завдання раціонального використання цінної вуглеводневої сировини через нарощування видобутку та перероблення ВВН на Яблунівському родовищі України.

За сукупністю якісних і формальних ознак щодо актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, практичного значення висновків і рекомендацій, їх достовірності й новизни дана дисертаційна робота відповідає вимогам, передбаченим Наказом Міністерства науки та освіти від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами, внесеними Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019) та Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її авторка, **Ярмоли Тетяни Володимирівни**, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія).

Завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського,
доктор технічних наук, професор,
академік Української нафтогазової академії



Сергій БОЙЧЕНКО

Підпис професора Бойченка С. В. **ЗАСВІДЧУЮ**
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія ХОЛЯВКО