

А. Я. Гаїпов, А. Б. Григоров, д-р техн. наук, професор

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА НА БАЗІ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ НАФТО- ТА ГАЗОПРОВОДІВ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Ключові слова: захисні покриття, ізоляційні вуглеводневі матеріали, корозія, вторинна сировина, підготовка, переробка, кислий гудрон, полімери, відпрацьовані оливи, властивості.

Вступ. Сьогодні, в якості пасивних засобів захисту від атмосферної та електрохімічної корозії нафто- та газопроводів досить широко застосовуються різні типи захисних покриттів, які наносяться на металеву поверхню труб. Від цілісності та фізико-хімічних, фізико-механічних властивостей цих покриттів, зокрема їх гідрофобності, стійкості до впливу температур, агресивних речовин та механічного навантаження, здебільшого залежить надійна експлуатація нафто- та газотранспортних мереж [1]. Означені мережи забезпечують функціонування та сталий розвиток промисловості України, а роботи, спрямовані на підтримання їх в робочому стані протягом тривалого часу експлуатації, відносяться до актуальних завдань сьогодення. Разом з тим, сучасні тенденції, що склалися за останні десятиріччя у промисловості, змушують здійснювати пошук більш дешевої сировини та впроваджувати енергоефективні технології її переробки. Саме такою сировиною, з огляду на її властивості, виступає вторинна сировина – відходи виробництва та споживання.

Мета та постановка завдання дослідження. Відомо, що вибір сировини для виробництва захисних покриттів для нафто- та газопроводів, здебільшого залежить від типу покриття (антикорозійного, ізоляційного, термозахисного тощо) та умов експлуатації трубопроводу (температура, вологість, хімічна агресивність середовища, ґрунт та інше) [2, 3]. Основні типи захисних покриттів, які сьогодні досить широко застосовуються у промисловості для обробки металевих поверхонь труб нафто- та газопроводів, представлені у вигляді структурної схеми на рис. 1.

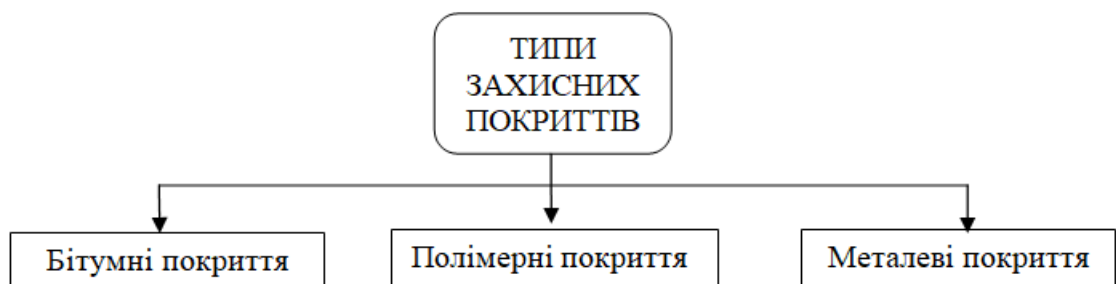


Рисунок 1 – Основні типи захисних покриттів для нафто- та газопроводів

Полімерні покриття (зокрема поліетиленові, поліпропіленові, епоксидні, поліуретанові тощо) широко використовуються для захисту нафто- та газопроводів завдяки своїм чудовим антикорозійним і механічним властивостям [4]. Проте, вони мають низку недоліків, які слід враховувати при проектуванні та експлуатації трубопроводів. Основні недоліки полімерних покриттів проявляються у наступному [5]: чутливість до підготовки поверхні (полімерні покриття вимагають ідеально очищеної металевої поверхні, інакше відбувається прискорене відшарування покриття та корозія металевої поверхні); низька ударостійкість і крихкість при низьких температурах (деякі полімери стають крихкими на морозі та можуть тріскатися при ударах або згинанні, що критично під час транспортування або монтажу труб взимку); обмежена термостійкість (більшість полімерних покриттів витримують температуру до 85–100 °С, рідше до 140 °С – при вищих температурах полімери розм'якшуються та втрачають свої експлуатаційні властивості); ультрафіолетова деградація (поліетилен і поліпропілен схильні до руйнування під дією ультрафіолету; при тривалому зберіганні труб на відкритому повітрі без захисту, відбувається старіння полімерів – втрата еластичності, тріщини тощо); висока вартість і складність нанесення (необхідність дотримання точних температурних режимів, використання спеціального обладнання, необхідність здійснення контролю товщини та адгезії); складність ремонту в польових умовах (необхідність використання спеціальних ремонтних комплектів або нагрівальних пристроїв); виникнення підплівкової корозії та катодного відшарування (при порушенні адгезії, волога може потрапити під покриття викликаючи корозію; при катодному відшаруванні полімерне покриття втрачає контакт зі металевою поверхнею). Отже полімерні покриття здатні забезпечити високий рівень захисту, але вимагають ретельного контролю технології нанесення, якісної підготовки основи, дотримання температурного режиму та професійного монтажу. Для максимальної ефективності рекомендується використовувати полімерні покриття в поєднанні з катодним захистом і регулярним моніторингом стану трубопроводу.

Металеві покриття (переважно цинкові, алюмінієві та їхні сплави) використовуються у трубопровідній галузі [6], але їх поширення обмежене через низку наступних технологічних, економічних і експлуатаційних причин: низька діелектрична здатність (не забезпечують ізоляції від електроструму чи вологи); низька ефективність при катодному захисті (при наявності зовнішнього катодного захисту (СР) цинкове покриття може самостійно руйнуватися (перетворюється на анод); недостатній бар'єрний захист (металеве покриття захищає сталь, але волога може проникати до основи металу); складність ремонту пошкоджень (неможливо відновити гаряче цинкування в польових умовах до заводського рівня; для ремонту потрібні спеціальні сплави або паста, які часто мають гірші захисні властивості); низька ударна міцність (металеве покриття (особливо гальванічне або напилене) крихке, схильне до відшарування, сколювання при ударах або вигинах труби); обмежена термостійкість (при температурах > 200 °С цинк випаровується або окислюється, покриття втрачає захисні властивості – відбувається взаємодія зі сталлю); висока вартість та складність нанесення (гаряче цинкування і металізація потребують високих температур, спеціального обладнання, витрат на утилізацію відходів (шлаки, флюси), підвищеного енергоспоживання); обмежений термін служби (покриття повільно, але неминуче руйнується з часом, у вологих або агресивних середовищах деградація прискорюється); слабка ефективність у вологому або кислому ґрунті (цинк кородує швидше в кислотному, засоленому чи болотистому ґрунті, тому потрібне додаткове ізолювання (наприклад, стрічки, полімерна плівка)). Хоча металеві покриття (цинк, алюміній) добре працюють у атмосферних умовах, вони не можуть замінити по-

вноцінний бар'єрний захист, як полімери [7]. Для ґрунтових або підводних умов їх використовують лише в комбінації з іншими системами.

Бітумні покриття починаючи з середини ХХ століття і до тепер лишаються досить розповсюдженим матеріалом для антикорозійного захисту трубопроводів різного функціонального призначення [8]. Даний тип захисного покриття досить поширений у країнах СНГ, Східній Європі та Азії. З розвитком виробництва нових полімерних матеріалів з підвищеним рівнем фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей роль бітумного захисного покриття дещо зменшилася [9]. Сьогодні бітум, зазвичай, використовується при ремонті старих ділянок трубопроводів, що вже мають бітумне покриття, для захисту тимчасових мереж, каналізаційних, зливових та технологічних трубопроводів у сільському господарстві, комунальному секторі та будівництві [10]. До числа основних недоліків бітумного покриття слід віднести наступні [8, 11]: низька термостійкість (температура розм'якшення – 50–60 °С, тому він не підходить для трубопроводів, що транспортують гарячі рідини або експлуатуються в спекотному кліматі); схильність до старіння та крихкості; низька водостійкість при мікропошкодженнях (у разі тріщин або розривів волога легко проникає під покриття); низька механічна міцність (бітумне покриття легко пошкоджується при ударах, терті, згинах); пожежонебезпечність (нафтовий бітум – горючий матеріал); чутливість до якості нанесення (для надійного захисту потрібно правильне співвідношення температури матеріалу та поверхні, а товщина шару покриття, зазвичай не повинна бути менше 3 мм); низька зручність зберігання та транспортування (у спекотну погоду покриття може деформуватися або прилипати, у холодну – стає твердим і крихким, ламається при згині труб); низька хімічна стійкість (бітум проявляє низьку стійкість до дії деяких розчинників, нафтопродуктів, кислот); недовговічність (строк служби бітумного покриття – 10–20 років); екологічні обмеження (при виробництві, нагріванні і утилізації виділяються шкідливі речовини; у багатьох країнах використання бітуму обмежене через екологічний вплив [12, 13]). Отже, бітумні покриття остаються найдешевшим матеріалом у порівнянні з полімерними та металевими покриттями, але, внаслідок низького рівня експлуатаційних властивостей сьогодні використовуються лише на допоміжних технічних трубопроводах, при реконструкції старих мереж або як тимчасовий захист.

Частково позбутися недоліків, розглянутих вище захисних покриттів для нафто- та газопроводів, можна за рахунок розробки та промислового впровадження технології виробництва альтернативних покриттів – ізоляційних вуглеводневих матеріалів (ІВМ) на базі вуглеводневої основи (вуглеводневі фракції кислого гудрону та нафтового шламу), модифікатору (термопластичний компонент – вторинний поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП) або подрібнені відпрацьовані автомобільні шини), активуючої речовини (кисень, пероксиди тощо) та пластифікатору (відпрацьовані змащувальні оливи) [14, 15].

Альтернативне покриття – ІВМ, представляє собою композиційну систему, що має ряд переваг перед класичними захисними покриттями. До потенційних переваг ІВМ також можна віднести: високу заповнюваність пор і нерівностей – в'язка структура дозволяє добре покривати нерівні поверхні та шви; хороша гідрофобність – базові компоненти (вуглеводневі фракції, полімери) мають високу водовідштовхувальну здатність; сумісність з антикорозійними добавками – легко модифікується інгібіторами корозії, стабілізаторами, УФ-абсорбентами; можливість армування – легко комбінується зі скловолокном, геотекстилем для підвищення міцності.

Таким чином, альтернативне покриття – ІВМ є досить перспективним матеріалом, особливо з огляду на можливість утилізації небезпечних промислових відходів

(відходи нафтопереробки або полімерні відходи), порівнянню дешевизну та простоту нанесення і ремонту покриттів трубопроводів в польових умовах. Разом з тим, поки що такі покриття не можуть повністю замінити сучасні сертифіковані полімерні системи FBE, 3LPE [16] у критично важливих об'єктах – магістралях високого тиску, підводних або транскордонних мережах. Незважаючи на це, означений напрямок є досить перспективним у сфері виробництва високоефективних покриттів для захисту нафто- та газопроводів від атмосферної та електрохімічної корозії. Отже, нижче розглянемо технологічні основи виробництва таких ІВМ (наприклад, з використанням фракції кислого гудрону, вторинних поліолефінів, відпрацьованих автомобільних шин, відпрацьованих змащувальних оливо) та проаналізуємо можливість інтегрування такого виробництва у діючі схеми, які реалізуються сьогодні на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної галузі України.

Результати та їх обговорення. Технологічна схема виробництва ІВМ повинна поєднувати в себе як попередню підготовку сировинних компонентів (вуглеводневої основи (ВО), модифікатору (М) та пластифікатору (П)), так і їх подальшу переробку.

Попередня підготовка сировинних компонентів. В якості вуглеводневої основи для виробництва ІВМ запропонувано використовувати продукт, отриманий при нейтралізації та зневодненні проб кислого гудрону (див. рис. 2), що утворюється при контактному очищенні різних нафтопродуктів концентрованою (93–98 %, $\rho^{20}=1,78\text{--}1,84\text{ г/дм}^3$) сірчаною кислотою (H_2SO_4) на підприємствах нафтохімічної галузі України [17].

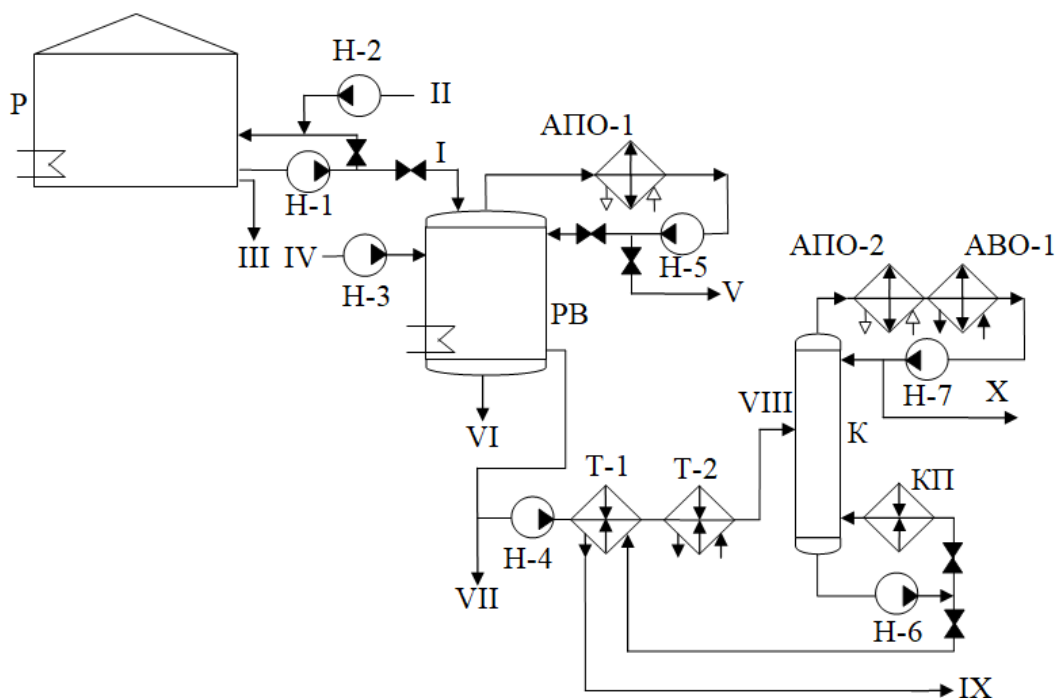


Рисунок 2 – Комбінована принципова схема підготовки ВО з використанням реактору-випаровувача

Запропонована схема (див. рис. 2) передбачає видалення кислих компонентів зі складу кислого гудрону за рахунок їх розчинення у воді, яке відбувається під час кип'ятіння кислого гудрону у воді в реакторі-випаровувачі (PB). Сировина (потік I) за

допомогою насосу (Н-1) надходить до РВ, куди за допомогою насосу (Н-3) закачується вода (потік IV) у співвідношенні 1:1÷1:7 (на вихідну сировину). Після цього, температура в РВ підіймається до 100 ± 1 °С і, власне, проводиться кип'ятіння протягом 60–120 хв. Під час кип'ятіння, задля збереження постійного співвідношення «кислий гудрон : вода» в РВ передбачено охолодження та конденсація парів води за допомогою апарату повітряного охолодження (АПО-1) та подальшим її поверненням до РВ за допомогою насосу (Н-5).

По закінченню кип'ятіння в РВ підіймають температуру до 120 °С та за допомогою вентилів виводять з установки охолоджену (до 40–50 °С) воду (потік V). В РВ також передбачено вивантаження шламу (потік VI) через нижній злив. Далі вуглеводнева фракція (потік VII) насосом (Н-3) прокачується крізь теплообмінники (Т-1, Т-2) підігрівачись до необхідної температури (200–300 °С) подається до простої ректифікаційної колони (К).

В (Т-1) підігрівання вуглеводневої фракції (потік VIII) здійснюється за рахунок надлишкового тепла концентрованої фракції. Колона (К) за необхідністю, може працювати як при атмосферному (0,11–0,13 МПа), так і залишковому (30–60 кПа) тиску. В (К) відбувається концентрування вуглеводневої фракції (до $t_{п.к.} = 200\text{--}350(380)$ °С), яка виводиться з низу (К) за допомогою насосу (Н-6), поділяється на два потоки. Перший потік задля підтримання температури в низу (К), прокачується через кип'ятильник (КП) та повертається у нижню частину (К); другий – прокачується через (Т-1), а далі виводиться з установки (потік IX).

Пари дистильованих вуглеводневих фракцій виходячи з верху (К), проходять апарат повітряного охолодження (АПО-2), апарат водяного охолодження (АВО-1), поділяються на два потоки. Перший потік за допомогою насосу (Н-7) повертається в (К) в якості холодного зрошення; другий з температурою 40–50 °С – виводиться з установки (потік X).

Схема, що наведена на рис. 2, хоча і має досить складне, стійке до агресивних середовищ обладнання, але дозволяє здійснити підготовку кислого гудрону – промислового відходу, який сьогодні, майже не переробляється, а зберігаються в відкритих озерах. Таким чином, загальні вимоги, які можна сформулювати до підготовленої ВО, яка в подальшому буде використовуватися при виробництві ІВМ, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Загальні вимоги до підготовленої ВО

Найменування показника	Одиниці виміру	Числове значення
Вміст води, в межах	% мас.	0,20–0,60
Вміст механічних домішок, в межах	% мас.	0,15–0,55
Вміст летких вуглеводнів (межа википання до 120 °С),	% мас.	< 3
Наявність водорозчинних кислот та лугів	–	Відсутність
Кінематична в'язкість при 100 °С, не більше	мм ² /с	90
Корозійна дія на метал (сталь), не більше	Бали	1b
Небезпечність, не вище	Клас	III-IV

Сформульовані в табл. 1 вимоги визначені з огляду на можливості діючих виробництв (навантаження на обладнання, варіювання технологічного обладнання, виробничі витрати тощо) та перспективи інтегрування до них запропонованих схем.

Стосовно модифікаторів слід зазначити, що у запропонованій схемі в якості першого модифікатору (M_1) використовується поліетилен низької густини (LDPE), а в якості другого модифікатору (M_2) – відпрацьовані автомобільні шини (ВАШ). Підготовка M не менше важливий процес ніж підготовка ВО. В залежності від фазового стану M його підготовка складається з різних, послідовних та взаємопов'язаних стадій. Так, при підготовці M_1 , що представлені твердими поліолефінами (LDPE, HDPE, PP) основними технологічними етапами виступають сортування за видами, подрібнення промивка, просушка [18].

Власне процес подрібнення реалізується в шредерах та роторних дробарках. Він сприяє зменшенню габаритних розмірів заводського обладнання та інтенсифікації процесів переробки внаслідок збільшення площі реакційної поверхні. Процес дроблення у дробарках відбувається у наступний спосіб: сировина за допомогою конвеєру, завантажується в бункер і далі надходить до ротору, який за рахунок своєї маси обертається навколо горизонтальної осі та розташований всередині дробильної камери. Сировина захоплюються ножами і подрібнюються завдяки стиранню та ударам. По закінченню подрібнення, сировина зсипається між ротором та калібрувальною решіткою, яка знаходиться в камері подрібнення, в розвантажувальний бункер.

Промивка реалізується у спеціальних промивних ваннах флотації за допомогою мильних розчинів та дозволяє відокремити від полімерів забруднень (випадкових сторонніх включень), який потрапив на їх поверхню під час використання, транспортування та зберігання. Цей бруд негативно впливає на технологічне обладнання (викликає засмічення та абразивний знос) та на якість кінцевого продукту – ІВМ. Іноді, при забрудненні сировини хімічними реагентами, використовують кип'ятіння у слабкому розчині ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) з подальшим промиванням водою. Процес промивки реалізується у наступний спосіб: сировина надходить в зону завантаження ванни. Вона залишається на поверхні води та за допомогою транспортувальних барабанів просувається вздовж ванни, де відбувається інтенсивне відмивання сировини та нейтралізація агресивних середовищ у воді. Після цього сировина надходить до вивантажувального барабану, де і відокремлюється сировина від води.

Далі сировина переміщується до бункеру шнекового вивантажувального транспортеру. Після промивки полімерна сировини може зберігати до 5 % вологи, яка є енергетичним баластом у виробництві та унеможливорює проведення де-яких технологічних операцій. Для її видалення, зазвичай, використовують просушку шляхом продування крізь подрібнені полімери гарячого (100–120 °C) сухого (температура точки роси не менше 30 °C) повітря.

Підготовка M_2 – ВАШ практично нічим не відрізняється від підготовки M_1 , лише додатково може реалізовуватися стадія вилучення із гумової крихти металевго кордону [19]. Загальні вимоги до підготовлених твердих M_1 та M_2 , представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Загальні вимоги до твердих M для модифікації ВО

Найменування показника	Одиниці виміру	Числове значення
Вологість, не більше	% мас.	0,5
Розмір часточок, діаметр не більше	мм	4
Термічна стійкість, не менше	°C	200
Небезпечність, не вище	Клас	III-IV

Переробка сировинних компонентів. Технологія виробництва IBM (див. рис. 3), включає в себе три основних стадії: приготування концентрату ($M_1 + M_2 + \Pi$); активація концентрату; компаундування. Так, для приготування концентрату Π (потік I) з резервуару (P-1) за допомогою насосу (H-1) подається до змішувального пристрою (ЗП), куди з бункерів-накопичувачів (БН), що оснащені дозувальними пристроями, за допомогою стрічкового конвеєру (СК) подається M_1 (LDPE) та M_2 (ВАШ). В (ЗП) при температурі 170–180 °С при постійному перемішуванні (швидкість обертання механічного перемішуючого пристрою 300–500 об/хв.) Під час приготування концентрату відбувається процес девулканізації ВАШ.

Приготовлений концентрат (потік II) за допомогою насосу (H-3) надходить до колони окиснення (КО), куди у нижню частину за допомогою компресора (К) через ресивер (РЕ), подається повітря (потік III).

В (КО) при температурі 200–220 °С та 0,12 МПа, відбувається активація концентрату за рахунок процесу термоокислювальної деструкції. Леткі вуглеводневі фракції (потік V), які утворюються під час процесу активації, виходять з верху (КО), проходять апарат повітряного охолодження (АПО) та апарат водяного охолодження (АВО), охолоджуються до 40–50 °С та за допомогою (H-5) виводяться з установки.

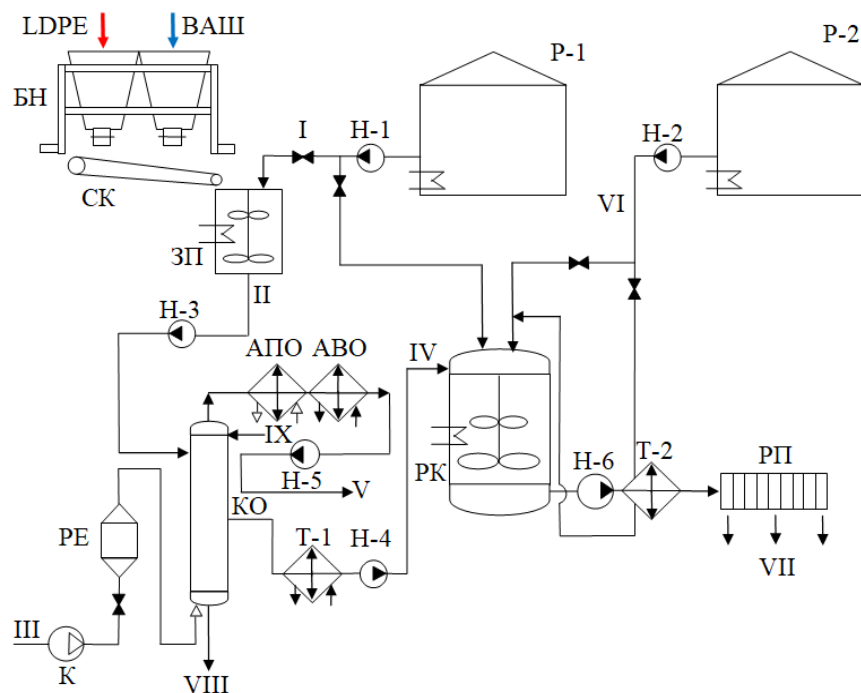


Рисунок 3 – Комбінована принципова схема виробництва IBM

Активованій концентрат (потік IV) за допомогою насосу (H-4) боковим погоном виходить з колонни окиснення (КО), проходить теплообмінник (T-1) та поступає в реактор компаундування (РК). В РК разом з активованим концентратом подається з резервуару (P-2) за допомогою насосу (H-2) підготовлена ВО.

В РК при температурі 150–160 °С відбувається процес компаундування. По закінченню процесу, готовий IBM (потік VII) за допомогою (H-6) прокачуються через теплообмінник (T-2) та з температурою 60–70 °С надходить до роздавального пристрою (РП), а далі до споживачів.

Таким чином, реалізувавши схему виробництва IBM на базі вторинної сировини, що представлена на рис. 3 можна отримати продукт з характеристиками, наведеними в табл. 3.

Таблиця 3 – Характеристики отриманих IBM

Найменування показника	Одиниці виміру	Значення показника
Колір	–	Від світло коричневий до чорний
Зовнішній вигляд	–	Однорідна в'язка або тверда маса
Температура розм'якшення (t_p) за методом «Кільця та шару»	°C	75–150
Наявність водорозчинних кислот та лугів	–	Відсутність
Корозійний вплив на метали (сталь)	Клас	1a-1b
Стійкість до статичної дії води при 20 °C, не менше:	Год.	720
Захисні властивості (Сталь 3) при статичній дії речовин при 20 °C, протягом 720 год.: – 10 % водного розчину NaCl; – 3 % водного розчину Na ₂ SO ₃ .		Витримує
Температурні межі використання	°C	-30 ÷ +120
Пенетрація (X_n) при 25°C	мм×10 ⁻¹	10–40
Адгезійні властивості (A_a)	Н/мм ²	0,12–0,65
Еластичність (E)	%	35–60
Водонасичення (X_{H_2O}) за 24 години	%	0,02–0,50

Таким чином, отримані IBM за багатьма показниками (наприклад, водонасичення, температури розм'якшення, пенетрації тощо) значно перевищують характеристики ізоляційного бітуму БНІ-IV, який досить часто використовується для ізоляції нафто- та газопроводів, та можуть виступати в якості його замінників.

Висновки

На сьогоднішній день використання захисних покриттів можна вважати одним з найефективніших, порівняно дешевих та універсальних методів пасивного захисту металевих поверхні нафто- та газопроводів від атмосферної та електрохімічної корозії. В якості досить перспективного типу захисного покриття слід розглядати ізоляційні вуглеводневі матеріали (IBM), які поєднують у своєму складі вуглеводневу основу (нафтові залишки – мазут, гудрон; промислові відходи – нафтовий шлам, кислий гудрон), модифікатори (активовані вторинні полімери – LDPE, HDPE, PP та відпрацьовані автомобільні шини), пластифікатор (відпрацьовані змашувальні оливи). Активацію модифікаторів, шляхом обробки киснем повітря, проводять задля поліпшення фізико-хімічної взаємодії між основними компонентами IBM з метою отримання стабільних протягом тривалого часу матеріалів.

Попередню підготовку вуглеводневої основи, що представлена відходами виробництва (кислими гудронами), пропонується проводити за схемою, яка складається з

кип'ятіння вуглеводневої основи у водному середовищі (100 ± 1 °C, у співвідношенні води до сировини 1:1÷1:7), випаровування води (120 ± 1 °C), концентрування сировини (0,11–0,13 МПа, 200–350(380) °C). Результатом такої підготовки є продукт з небезпечністю III-IV класу, вологістю 0,2–0,6 %, вмістом механічних домішок 0,15–0,55, вмістом летких (початок кипіння до 120 °C) вуглеводнів до 3 %, кінематичною в'язкістю при 100 °C до 90 мм²/с та корозійною дією на метал (сталь 3) до класу 1b.

Підготовка модифікаторів (твердих поліолефінів LDPE, HDPE, PP та відпрацьованих автомобільних шин) доцільно здійснювати шляхом поєднання таких технологічних стадій як сортування за видами, подрібнення у дробарках, промивка в ваннах флоатації, просушка шляхом продування крізь подрібнені модифікатор гарячого (100–120 °C) сухого (температура точки роси не менше 30 °C) повітря. Результатом такої підготовки є продукт з термічною стійкістю не менше 200 °C, небезпечністю III-IV класу, вологістю 0,5 %, розміром часточок з діаметром не більше 4 мм.

Запропоновано переробляти підготовлені сировинні компоненти в IBM за схемою, яка включає в себе три основних стадії: приготування концентрату (M1+M2+Π) при 170–180 °C та 300–500 об/хв., активація концентрату (200–220 °C, 0,12 МПа, об'єм повітря 0,0020–0,0025 м³/хв.), компаундування (150–160 °C).

Встановлено, що за рахунок обраної сировини, технологічних методів її підготовки та переробки були отримані нові IBM (межі використання $-30 \div +120$ °C), які за своїми характеристиками (для IBM: $t_p=75-150$ °C, $X_p=10-40$ мм $\times 10^{-1}$, $A_a=0,12-0,65$ Н/мм², $E=35-60$ %, $X_{H_2O}=0,02-0,50$ %; для IBMM: $t_p=35-75$ °C, $A_a=0,11-0,60$ Н/мм², $E=5-30$ %, $X_{H_2O}=0,02-0,50$ %) можуть використовуватися у промисловості замість ізоляційного бітуму БНІ-IV, рідкої гуми IMPERMEABILIZANTE E-88, мастик РБВ-25, РБВ-35, РБВ-50, МБК-Г для захисту нафто- та газопроводів, зокрема прокладених під землею.

Література

1. Ma L., Zhang P., Li W., Liu X., Yue Y., Liu J., Qu H., Cao X., Bian J. Research progress on coating technology for oil and gas pipelines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2025. Vol. 2971. P. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/2971/1/012006.
2. Кизима В. П., Куковський А. Г., Яковчук В. В., та ін. Улаштування захисних покриттів у будівництві : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2018. 241 с.
3. ДСТУ-Н Б А.3.1-29:2015. Магістральні трубопроводи. Нанесення захисних покривів та улаштування теплової ізоляції : настанова. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 108 с.
4. Білим П. А., Заїченко В. І., Припростий В. О., Нікітченко О. Ю. Розробка захисних полімерних покриттів трубопроводів з електропровідним наповнювачем. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 6, вип. 152. С. 219–223.
5. Bekbauliyeva A. The current state of pipeline corrosion protection with polymer coatings. *Yessenov Science Journal*. 2024. Vol. 49, No. 4. P. 146–152. DOI: 10.56525/PAKO5631.
6. Петрина Д. Ю., Петрина Л. Г. Вплив корозійного середовища на сучасні сталі магістральних трубопроводів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2022. № 2(83). С. 95–104.

7. Гаркуша М. В. Застосування гідроізоляційних покриттів для захисту від корозії дорожніх водопропускних труб з металевих гофрованих конструкцій. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10 (41). ч. I. С. 91–101.

8. Aghabarari B., Pourhashem S., Moeinifard B. Investigating the accelerated electrochemical corrosion protection performance of coal-tar and bitumen enamel coating for pipelines. *Boletín del Grupo Español del Carbón*. 2019. Vol. 51. P. 2–4.

9. Никифорчин Г. М., Черватюк В. А., Маруха В. І., Слободян З. В., Кушнір І. М., Стехнович Л. В. Технологія протикорозійного захисту сталевих конструкцій покриттями на основі швидкотвердної бітумно-латексної емульсії. *Nauka innov*. 2016. № 12 (1). С. 32–40.

10. Ткачук М. М., Филипчук В. Л., Якимчук Б. Н., Кириша Р. О. Будівництво зовнішніх мереж і монтаж санітарно-технічного обладнання будівель : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 391 с.

11. Kren A., Machikhin A., Delendik M. Prediction of the residual lifetime of bitumen coatings on urban gas pipelines from the change in their mechanical characteristics during thermal-oxidative aging. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2024. Vol. 212, Part A. P. 105332. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105332>.

12. Florková Z., Sedivy S., Pastorková J. The environmental impact of asphalt mixtures production for road infrastructure. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1015, No. 1. P. 012097. DOI: 10.1088/1757-899X/1015/1/012097.

13. de Bortoli A., Rahimy O., Levasseur A. Environmental life-cycle impacts of bitumen: systematic review and new Canadian models. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol. 136. P. 104439. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104439>.

14. Гаїпов А. Я., Григоров А. Б. Нові ізоляційні вуглеводневі матеріали для захисту нафто- та газопроводів від корозії. *Вуглехімічний журнал*. 2024. № 5. С. 48–60.

15. Гаїпов А. Я., Григоров А. Б. Технологічні основи виробництва ізоляційних вуглеводневих матеріалів для захисту від корозії нафто- та газопроводів. *Вуглехімічний журнал*. 2024. № 6. С. 41–48.

16. Tchoquessi Diodjo M. R., Joliff Y., Belec L., Aragon E., Perrin F. X. Stress evolution in multilayer polymer coating under thermal and pressure loading applied to the pipeline structure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021. Vol. 191. P. 104386. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2021.104386.

17. Leonard S. A., Stegemann J.A., Roy A. Characterization of acid tars. *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 175(1–3). P. 382–392.

18. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. 2-ге вид., переробл. та доп. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с.

19. Шльончак І. А., Батраченко О. В. Утилізація автомобільних шин в українській перспективі. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10 (41), ч. I. С. 221–227. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.221-227](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.221-227).

Bibliography (transliterated)

1. Ma L., Zhang P., Li W., Liu X., Yue Y., Liu J., Qu H., Cao X., Bian J. Research progress on coating technology for oil and gas pipelines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2025. Vol. 2971. P. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/2971/1/012006.

2. Kyzyma V. P., Kukovskyi A. H., Yakovchuk V. V., ta in. Ulashtuvannia zakhysnykh pokryttiv u budivnytstvi : navch. posib. Rivne : NUVHP, 2018. 241 p.
3. DSTU-N B A.3.1-29:2015. Mahistralni truboprovody. Nanesennia zakhysnykh pokryviv ta ulashtuvannia teplovoi izoliatsii : nstanova. Kyiv.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2016. 108 p.
4. Bilym P. A., Zaichenko V. I., Pryprostyi V. O., Nikitchenko O. Iu. Rozrobka zakhysnykh polimernykh pokryttiv truboprovodiv z elektroprovodnym napovniuvachem. *Komunalne hospodarstvo mist*. 2019. T. 6, vyp. 152. P. 219–223.
5. Bekbauliyeva A. The current state of pipeline corrosion protection with polymer coatings. *Yessenov Science Journal*. 2024. Vol. 49, No. 4. P. 146–152. DOI: 10.56525/PAKO5631.
6. Petryna D. Iu., Petryna L. H. Vplyv koroziiinoho seredovyshcha na suchasni stali mahistralnykh truboprovodiv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch*. 2022. No. 2 (83). P. 95–104.
7. Harkusha M. V. Zastosuvannia hidroizoliatsiinykh pokryttiv dlia zakhystu vid korozii dorozhnykh vodopropusknykh trub z metalevykh hofrovanykh konstruksii. Tsentralno-ukrainskyi naukovyi visnyk. *Tekhnichni nauky*. 2024. Vyp. 10(41). ch. I. P. 91–101.
8. Aghabarari B., Pourhashem S., Moeinifard B. Investigating the accelerated electrochemical corrosion protection performance of coal-tar and bitumen enamel coating for pipelines. *Boletín del Grupo Español del Carbón*. 2019. Vol. 51. P. 2–4.
9. Nykyforchyn H. M., Chervatiuk V. A., Marukha V. I., Slobodian Z. V., Kushnir I. M., Stekhnovych L. V. Tekhnolohiia protykoroziiinoho zakhystu stalevykh konstruksii pokryttia-my na osnovi shvydkotverdnoi bitumno-lateksnoi emulsii. *Nauka innov*. 2016. No. 12 (1). P. 32–40.
10. Tkachuk M. M., Fylypchuk V. L., Yakymchuk B. N., Kyrysha R. O. Budivnytstvo zovnishnykh merezh i montazh sanitarno-tekhnichnoho obladnannia budivel : navch. posib. Rivne : NUVHP, 2013. 391 p.
11. Kren A., Machikhin A., Delendik M. Prediction of the residual lifetime of bitumen coatings on urban gas pipelines from the change in their mechanical characteristics during thermal-oxidative aging. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2024. Vol. 212, Part A. P. 105332. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105332>.
12. Florková Z., Sedivy S., Pastorková J. The environmental impact of asphalt mixtures production for road infrastructure. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1015, No. 1. P. 012097. DOI: 10.1088/1757-899X/1015/1/012097.
13. de Bortoli A., Rahimy O., Levasseur A. Environmental life-cycle impacts of bitumen: systematic review and new Canadian models. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol. 136. P. 104439. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104439>.
14. Haipov A. Ia., Hryhorov A. B. Novi izoliatsiini vuhlevodnevi materialy dlia zakhystu nafto- ta hazoprovodiv vid korozii. *Vuhlekhimichni zhurnal*. 2024. No. 5. P. 48–60.
15. Haipov A. Ia., Hryhorov A. B. Tekhnolohichni osnovy vyrobnytstva izoliatsiinykh vuhlevodnykh materialiv dlia zakhystu vid korozii nafto- ta hazoprovodiv. *Vuhlekhimichni zhurnal*. 2024. No. 6. P. 41–48.

16. Tchoquessi Diodjo M. R., Joliff Y., Belec L., Aragon E., Perrin F. X. Stress evolution in multilayer polymer coating under thermal and pressure loading applied to the pipeline structure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021. Vol. 191. P. 104386. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2021.104386.

17. Leonard S. A., Stegemann J. A., Roy A. Characterization of acid tars // *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 175(1–3). P. 382–392.

18. Mikulonok I. O. Tekhnologichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv : navch. posib. 2-he vyd., pererobl. ta dop. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. 292 p.

19. Shlonchak I. A., Batrachenko O. V. Utylizatsiia avtomobilnykh shyn v ukrainskii perspektyvi. *Tsentrالنoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. 2024. Vyp. 10 (41), ch. I. P. 221–227. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.221-227](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.221-227).

УДК 622.692.4.076

А. Я. Гаїпов, А. Б. Григоров

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА НА БАЗІ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ НАФТО- ТА ГАЗОПРОВІДІВ

В статті проаналізовані сучасні способи пасивного захисту металевої поверхні нафто- та газопроводів від атмосферної та електрохімічної корозії. Визначено основні недоліки, які виникають при експлуатації таких типів покриттів як полімерні, металеві та бітумні. Запропоновано використання альтернативного типу покриття – ізоляційних вуглеводневих матеріалів (ІВМ), яке дозволить частково позбутися недоліків класичних покриттів, а саме: знизити вартість та спростити технологію виробництва; спростити процедуру ремонту покриттів у польових умовах; розширити температурний діапазон використання покриттів; забезпечити можливість армування скловолокном, геотекстилем; сприяти утилізації шкідливих та небезпечних відходів виробництва та споживання. Означені ІВМ, представляють собою композиційну систему, яка поєднує у своєму складі вуглеводневу основу (нафтові залишки – мазут, гудрон; промислові відходи – нафтовий шлам, кислий гудрон), модифікатори (активовані вторинні полімери – LDPE, HDPE, PP та відпрацьовані автомобільні шини), пластифікатор (відпрацьовані змащувальні оливи).

Загальна схема виробництва ІВМ складається з блоку підготовки сировинних компонентів та блоку їх технологічної переробки. В блоку підготовки реалізуються наступні технологічні операції: для вуглеводневої основи – нейтралізація, промивка водою, зневоднення та концентрування; для модифікаторів – промивка, просушка, подрібнення та активація; для пластифікатора – видалення води та механічних домішок. В блоку переробки сировинних компонентів відбувається приготування концентрату (суміш модифікаторів та пластифікатору) при 170–180 °С та 300–500 об/хв., активація концентрату (температура – 200–220 °С, тиск – 0,12 МПа, об'єм повітря, що продувається – 0,0020–0,0025 м³/хв.), компаундування (температура – 150–160 °С).

Реалізувавши запропоновану технологічну схему переробки сировинних компонентів були отримані нові ІВМ (межі використання -30 ÷ +120°C), які за своїми харак-

теристиками можуть використовуватися у промисловості замість ізоляційного бітуму БНІ-IV, рідкої гуми IMPERMEABILIZANTE E-88, мастик РБВ-25, РБВ-35, РБВ-50, МБК-Г для захисту нафто- та газопроводів від різних видів корозійного руйнування.

Ключові слова: захисні покриття, ізоляційні вуглеводневі матеріали, корозія, вторинна сировина, підготовка, переробка, кислий гудрон, полімери, відпрацьовані оливи, властивості.

A. Gaipov, A. Hryhorov

PRODUCTION TECHNOLOGY BASED ON SECONDARY RAW MATERIALS OF INSULATING HYDROCARBON MATERIALS FOR PROTECTION OF OIL AND GAS PIPES

The article analyzes modern methods of passive protection of the metal surface of oil and gas pipelines from atmospheric and electrochemical corrosion. The main disadvantages that arise during the operation of such types of coatings as polymer, metal and bitumen are identified. The use of an alternative type of coating is proposed – insulating hydrocarbon materials (IHM), which will partially eliminate the disadvantages of classic coatings, namely: reduce the cost and simplify the production technology; simplify the procedure for repairing coatings in the field; expand the temperature range of use of coatings; provide the possibility of reinforcing with fiberglass, geotextiles; promote the disposal of harmful and hazardous waste from production and consumption. The specified IHMs are a composite system that combines a hydrocarbon base (oil residues – fuel oil, tar; industrial waste – oil sludge, acid tar), modifiers (activated secondary polymers – LDPE, HDPE, PP and used car tires), plasticizer (used lubricating oils).

The general scheme of IHM production consists of a raw material preparation unit and a technological processing unit. The following technological operations are implemented in the preparation unit: for the hydrocarbon base – neutralization, washing with water, dehydration and concentration; for – modifiers – washing, drying, grinding and activation; for the plasticizer – removal of water and mechanical impurities. In the raw material processing unit, the concentrate (mixture of modifiers and plasticizer) is prepared at 170–180 °C and 300–500 rpm, concentrate activation (temperature – 200–220 °C, pressure – 0.12 MPa, volume of blown air – 0.0020–0.0025 m³/min), compounding (temperature – 150–160 °C).

By implementing the proposed technological scheme for processing raw components, new IHMs were obtained (limits of use -30 ÷ +120 °C), which, according to their characteristics, can be used in industry instead of insulating bitumen БНІ-IV, liquid rubber IMPERMEABILIZANTE E-88, mastics RBV-25, RBV-35, RBV-50, MBK-G to protect oil and gas pipelines from various types of corrosive destruction.

Keywords: protective coatings, insulating hydrocarbon materials, corrosion, secondary raw materials, preparation, processing, acid tar, polymers, waste oils, properties.