

**УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ**

Подустов Михайло Олексійович

УДК 504.661.185

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАТКУВАННЯ
У ВИРОБНИЦТВІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Тошинський Володимир Ілліч
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, завідувач кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Касімов Олександр Меджитович
Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, завідувач лабораторією систем та методів управління промисловими відходами та викидами в атмосферу

доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович
Національний університет “Львівська політехніка”, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

доктор технічних наук, професор
Шмандій Володимир Михайлович
Кременчуцький державний політехнічний університет, завідувач кафедри екології

Провідна установа: **Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”**, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Міністерство освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться 17.05.2007 р. о 10_годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.812.01 в Українському науково-дослідному інституті екологічних проблем за адресою: 61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 6.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем (61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 6).

Автореферат розісланий 14.04.2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Жуковський Т.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан соціально-економічного розвитку України характеризується складною екологічною ситуацією. Лише останнім часом в Україні почалося формування державної політики з екологічної безпеки та переходу на основи сталого розвитку.

Вирішення загальнодержавної проблеми підвищення рівня екологічної безпеки можливо лише при проведенні природоохоронних заходів на окремих промислових підприємствах. Діючі підприємства, діяльність яких призводить до забруднення навколишнього природного середовища, повинні переходити на екологічно орієнтовані технології або мати спеціальне устаткування для переробки відходів та очищення шкідливих викидів. Усе це повною мірою відноситься до промислових підприємств, що випускають поверхнево-активні речовини (ПАР), діяльність яких зараз характеризується істотним забрудненням навколишнього природного середовища.

ПАР широко застосовуються в різних галузях народного господарства. У країнах СНГ близько 60 % їх загального об'єму використовується у виробництвах синтетичних миючих засобів (СМЗ). Рівень забезпечення СМЗ в Україні становить (в розрахунках на душу населення) менше 50 % від рівня розвинутих країн, а виробництво СМЗ відстає від потреб на 30 %. До цього варто додати, що діючі підприємства не відповідають сучасним вимогам не тільки за кількістю і якістю одержаних ПАР, але й з погляду екологічної безпеки.

Виробництво ПАР складається з наступних стадій: одержання сульфатуючого агента, сульфатування органічної сировини, нейтралізація проміжного продукту, очищення газоповітряного потоку від двооксиду сірки. Найбільш екологічно небезпечними стадіями є одержання сульфатуючого агента та сульфатування органічної сировини.

У зв'язку з цим створення екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві ПАР є актуальною науковою проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” (1991 р.); Постанови ДКНТ України № 12 від 04.05.92 р. “Ресурсозбереження. Проблеми нафтогазових ресурсів України і наукові основи їх рішень” (№ 0195U004017 держреєстрації, 1992-1994 рр.); Закону України “Про охорону атмосферного повітря” (2001 р.); Закону України “Про відходи” (1998 р.); Постанови Верховної Ради України № 188/98 ВР від 5.03.1998 р. “Основні напрямки державної політики України в області охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки”; науково-технічних програм Міністерства освіти і науки України “Математичне моделювання гетерогенних процесів з енергозбереженням як наукова основа екологічно орієнтованих і природоохоронних технологій” (№ 0102U000971 держреєстрації, 2000–2004 рр.), “Створення науково обґрунтованих моделей фізико-хімічних процесів у перспек-

тивних технологіях з енергозбереженням” (№ 0105U000583 держреєстрації, 2005–2006 рр.), а також відповідно до ряду господарських договорів з підприємствами промисловості України і Росії.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка теоретичних основ і технічних рішень створення екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві ПАР.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз стану та впливу промислових відходів та шкідливих викидів на навколишнє природне середовище в Україні, у тому числі системний аналіз стану екологічної безпеки виробництва ПАР;
- зменшити шкідливі викиди в атмосферу на стадії одержання сульфатуючого агента на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу окислення двооксиду сірки під тиском;
- зменшити шкідливі викиди в атмосферу та знизити споживні ресурси на стадії сульфатування органічної сировини на основі вивчення закономірностей процесу та результатів його проведення в прямоточному трубчастому реакторі;
- вивчити процес очищення газоподібних викидів з використанням блочних масообмінних елементів, обґрунтувати і розробити замкнуту систему використання у процесі нейтралізації продуктів сульфатування лужних відходів стадії очищення;
- в умовах дослідної установки і промислових умовах підтвердити одержані закономірності і методи розрахунку;
- розробити енергозберігаюче устаткування для підвищення рівня екологічної безпеки: контактний апарат для окислення двооксиду сірки, реактор сульфатування органічної сировини, абсорбційну колону для очищення газоповітряного потоку від SO_2 на основі математичних моделей технологічних процесів виробництва ПАР;
- розробити технологічну схему екологічно безпечного ресурсозберігаючого виробництва ПАР;
- провести оцінку рівня екологічної безпеки виробництва ПАР.

Об'єктом дослідження є екологічна безпека технологічних процесів та екологічний стан довкілля виробництва ПАР.

Предметом дослідження є екологічно безпечні процеси одержання сульфатуючого агента, сульфатування органічної сировини, очищення газоподібних викидів та їх взаємодія з навколишнім природним середовищем.

Методи дослідження. Системний аналіз стану екологічної безпеки; теоретичний аналіз процесів тепло- і масообміну, експериментальні дослідження каталітичних та абсорбційних процесів у реакторах проточно-циркуляційного, прямоточного трубчастого з низхідним потоком, у

колоні з регулярними блочними масообмінними елементами; математичне моделювання технологічних процесів; обробка результатів досліджень з використанням стандартних і розроблених програмних засобів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- Встановлені закономірності утворення промислових відходів та шкідливих викидів на підприємствах України, у тому числі вперше проведено аналіз виробництва ПАР як джерела відходів та шкідливих викидів.
- Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що рівень екологічної безпеки та ресурсозбереження процесу одержання сульфатуючого агента підвищується проведенням процесу шляхом каталітичного окислення двооксиду сірки низької концентрації під тиском з досягненням екологічно безпечних концентрацій SO_2 у газоповітряному потоці після контактного апарата.
- Вперше експериментально підтверджена можливість одержання екологічно безпечних миючих засобів та піноутворюючих сполук шляхом проведення процесу сульфатування сумішей органічної сировини у прямоточному трубчастому реакторі, що дозволяє вирішити питання ресурсозбереження сировини, досягнути при використанні ПАР вмісту шкідливих газоподібних викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря нижче орієнтовано безпечного рівня впливу.
- Встановлені закономірності процесу очищення газоповітряного потоку від двооксиду сірки проведенням швидкісної абсорбції у плівко-барботажному режимі, що забезпечує у приземному шарі атмосферного повітря вміст SO_2 на рівні гранично-допустимої концентрації.
- Вперше теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість використання лужних відходів стадії очищення для нейтралізації продуктів сульфатування з виключенням рідких відходів виробництва, що дозволяє при будівництві нових виробництв ПАР не відводити земельну ділянку під поле фільтрації, а при реконструкції діючих виробництв зменшити забруднення ґрунту та покращити стан підземних вод.
- Одержали подальший розвиток математичні моделі: каталітичного окислення двооксиду сірки низької концентрації за підвищеного тиску, масообмінних процесів у режимі низхідного прямогоку (сульфатування органічної сировини) та плівко-барботажному режимі (очищення газоповітряного потоку від двооксиду сірки), що дало можливість закласти наукові основи створення екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві ПАР.
- Встановлені та науково обґрунтовані значення технологічних параметрів основних процесів виробництва ПАР, які забезпечують підвищення рівня екологічної безпеки.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень реалізовані за наступними напрямками:

- створені алгоритми і комп'ютерні програми з розрахунку технологічних процесів виробництва ПАР;
- розроблена технологічна схема екологічно безпечного ресурсозберігаючого виробництва ПАР;
- розроблено основне устаткування виробництва ПАР для підвищення його екологічної безпеки: контактний апарат з вбудованим теплообмінником, реактор сульфатування, абсорбційна колона;
- розроблені екологічно безпечні миючі засоби та піноутворюючі сполуки побутового і технічного призначення, які дають можливість знизити їх негативний вплив на навколишнє природне середовище;
- одержані наукові результати впроваджені: на Волгодонському хімічному заводі (Російська Федерація) введений у промислову експлуатацію технологічний процес сульфатування органічної сировини зі зменшенням при використанні ПАР вмісту шкідливих викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря у 2,5 рази, на Шебекінському хімічному заводі (Російська Федерація) напрацьовані дослідно-промислові партії нових екологічно безпечних миючих засобів та піноутворюючих сполук;
- результати роботи використані ВАТ "УкрНДХіммаш" (м. Харків) при проектуванні та виготовленні промислового трубчастого реактора сульфатування, ДНДІ МІНДІП (м. Суми) при розробці систем очищення газоповітряних потоків від двооксиду сірки та прийняти НІОХІМ (м. Харків) для використання при проектуванні нових екологічно безпечних виробництв ПАР;
- матеріали роботи використовуються автором у навчальному процесі при читанні лекцій та проведенні практичних занять з курсів "Екологічна безпека" та "Екологічний аудит" у НТУ "ХПІ" (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Дисертація базується на матеріалах науково-дослідних робіт, що були виконані автором безпосередньо або під його керівництвом протягом 1985–2006 рр. згідно з державними програмами і господарськими договорами. Авторі належить постановка та обґрунтування науково-технічної проблеми: створення екологічно безпечного ресурсозберігаючого виробництва ПАР, розробка математичних моделей процесів та апаратів, вибір методів досліджень, керівництво та особиста участь в експериментальних дослідженнях, аналізі та інтерпретації одержаних даних. Автором особисто проведено наукове обґрунтування одержаних результатів і сформульовані наукові положення, що захищаються в дисертаційній роботі. Автором здійснені керівництво та особиста участь у дослідних і промислових випробуваннях.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародних науково-технічних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 1995–1999 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях “Інтегровані технології та енергозбереження” (м. Харків, 2001, 2003 рр.); Міжнародній конференції “Співробітництво для рішення проблеми відходів” (м. Харків, 2004 р.); Міжнародній конференції “Екологія: освіта, наука, промисловість, здоров'я” (м. Белгород, 2004 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції “Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів” (м. Харків, 2004 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна і техногенна безпека” (м. Харків, 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Екологічна безпека” (м. Кременчук, 2004 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, екологія” (м. Харків, 2001–2005 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення” (м. Харків, 2005, 2006 рр.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 31 наукових працях (з яких 21 стаття – у спеціалізованих фахових виданнях ВАК України, 5 авторських свідоцтв на винаходи).

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 246 найменувань на 26 сторінках, 10 додатків на 16 сторінках. Робота містить 77 рисунків, 61 таблицю (з них 4 рисунки на 4 окремих сторінках). Повний її обсяг – 323 сторінки, з них основний текст – 280 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, показано її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету, об'єкт, предмет і задачі дослідження, шляхи вирішення, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, надано інформацію про впровадження і публікації, а також особистий внесок автора.

У першому розділі наведені результати аналітичного огляду за темою дисертації. Показано, що промисловий сектор економіки України є основним джерелом шкідливих викидів, утворення і накопичення відходів, що обумовлено масштабами ресурсоспоживання, структурою промислового виробництва, а також застарілими технологіями та устаткуванням. Показано, що основним напрямком підвищення екологічної безпеки в Україні є створення екологічно орієнтованих ресурсозберігаючих виробництв. В Україні питанням екологічної безпеки і промислових відходів приділяється значна увага. Над вирішенням цих питань працюють відомі вчені та фахівці: професора

Висоцький С.П., Гомеля М.Д, Грищенко А.В., Касімов О.М, Кузін О.К., Лисиченко Г.В., Мальований М.С., Мищенко В.І., Шеренков І.А., Шмандій В.М. та інші.

Одним з основних джерел промислових відходів та шкідливих викидів є хімічна промисловість, якій і належить виробництво ПАР. Виконано еколого-економічний аналіз апаратурно-технологічного оформлення виробництва ПАР.

Аналіз вітчизняних та закордонних літературних даних, виробничих потужностей України та Російської Федерації дозволив встановити основні недоліки існуючого виробництва ПАР з погляду вимог екологічної безпеки і ресурсозбереження. Зроблено висновок, що підвищення екологічної безпеки основних технологічних процесів одержання і застосування ПАР є науковою проблемою, рішення якої дозволить створити екологічно безпечне ресурсозберігаюче виробництво ПАР і знизити його техногенний вплив на навколишнє природне середовище і здоров'я населення.

В другому розділі наведені результати оцінки впливу промислових відходів та шкідливих викидів на навколишнє природне середовище і здоров'я населення на національному і регіональному рівні, а також на рівні підприємства. За станом на 2004 рік загальний обсяг відходів, накопичених у поверхневих сховищах України, перевищив 23 млрд. т, у тому числі токсичних промислових відходів більш 2,5 млрд. т.

Аналіз даних про утворення токсичних промислових відходів на підприємствах України за період 1992–2004 рр. показав, що кількість відходів з 1992 р. до 1998 р. зменшилась у 1,7 рази. Однак за останні роки (1999–2004 рр.) їхня кількість практично не зменшується, що пов'язано з недостатньою увагою до їх утворення на промислових підприємствах. Слід визначити також зниження об'ємів переробки відходів.

Одним з найважливіших наслідків техногенного впливу є забруднення атмосферного повітря. У період з 1992 по 1998 рр. об'єм шкідливих викидів в атмосферу зменшився практично у 2,5 рази. Це пов'язано з економічною кризою в країні, коли велика частина підприємств не працювала.

У період 1999–2001 рр. незважаючи на зростання промислового виробництва, кількість шкідливих викидів практично не збільшується, що пояснюється увагою до питань екологічної безпеки на промислових підприємствах. Однак з 2002 р. почалося зростання об'ємів шкідливих викидів, у зв'язку з чим необхідно проводити відповідні заходи для ліквідації такого стану.

Відомо, що основними забруднювачами атмосферного повітря є оксиди сірки, азоту та вуглецю. Найбільш масштабним забруднювачем є двооксид сірки: щорічно в Україні викидається в атмосферу близько 1 млн. т SO₂.

У виробництві ПАР двооксид сірки є основним джерелом шкідливих викидів і утворення рідких відходів (рис. 1).

Рис. 1. Схема техногенного впливу діючого виробництва ПАР

На стадії одержання сульфатуючого агента проводиться каталітичне окислення двооксиду сірки під атмосферним тиском зі ступенем перетворення SO_2 у SO_3 не більш 95 %, що призводить до погіршення екологічних і ресурсозберігаючих характеристик процесу.

На стадії сульфатування відбувається взаємодія триоксиду сірки з органічною сировиною. Процес реалізується в об'ємних апаратах зі ступенем сульфатування органічної сировини не більш 90 %, що також призводить до погіршення ресурсозберігаючих і екологічних характеристик процесу та якості продукту.

Після сульфатування проміжний продукт направляється на стадію нейтралізації, а газоповітряний потік, що містить SO_2 , подається на стадію очищення.

На стадії нейтралізації в результаті взаємодії проміжного продукту з гідроксидом натрію утворюється готовий продукт, у якому містяться залишки органічної сировини, що при використанні ПАР попадають в атмосферу у вигляді шкідливих газоподібних викидів.

На стадії очищення газоповітряного потоку від SO_2 використовуються неефективні масо-обмінні елементи, що не дозволяє домогтися необхідного ступеня очищення, яке б відповідало сучасним нормам ГДК.

При використанні ПАР у миючих засобах одержують готовий товарний продукт, у якому 30 % фосфатів, що негативно впливає на поверхнево-водні об'єкти та здоров'я населення.

Як видно з рис. 1, лише на одному підприємстві з виробництва ПАР щорічно утворюється 1600 т рідких лужних відходів, 779 т газоподібних викидів органічної сировини, 5,5 т SO_2 . Аналіз даної схеми показав так само, що основними факторами, які впливають на стан екологічної безпеки, є хімічні й трансформації ландшафту. Хімічні фактори – це шкідливі газоподібні викиди органічної сировини (A_{11}) і викиди двооксиду сірки (A_{21}) в атмосферу, а також скидання стічних вод, що містять фосфати (A_{31}). До фактора трансформації ландшафту належить розміщення рідких лужних відходів на відведеній земельній ділянці (A_{41}). Проведені розрахунки приземних концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі для хімічних факторів дали можливість одержати значення показників екологічної небезпеки. Розрахунки цих показників проводились згідно методики запропонованої проф. Шмандій В.М.

У табл. 1 наведені дані з оцінки рівня екологічної небезпеки діючого виробництва ПАР (АТ “Час”, Харківська область).

У результаті аналізу цих даних поставлене завдання зниження рівня екологічної небезпеки шляхом виключення рідких лужних відходів, мінімізації шкідливих газоподібних викидів і зниження вмісту фосфатів у готовому товарному продукті з досягненням стандартизованих значень показників небезпечних факторів.

Рішення цих задач запропоновано для подальших досліджень технологічних процесів виробництва ПАР.

Таблиця 1

Оцінка рівня екологічної небезпеки діючого виробництва ПАР

Найменування факторів		Величина ГДК або нормована величина	Фактичне значення параметра	Значення показника екологічної небезпеки
Хімічні	Газоподібні викиди органічної сировини в атмосферне повітря, (вміст, мг/м ³)	0,1	0,365	3,65
	Викиди SO ₂ в атмосферне повітря, (вміст, мг/м ³)	0,05	0,125	2,5
	Скидання стічних вод, що містять фосфати, (вміст фосфатів, мг/л)	20	35	1,75
Трансформації ландшафту	Відвід земельної ділянки під рідкі лужні відходи, га	2,0	2,0	1,0

У третьому розділі наведені результати досліджень підвищення екологічної безпеки процесу одержання сульфатуючого агента.

Раніше було показано, що як сульфатуючий агент застосовується триоксид сірки, одержаний шляхом одностадійного каталітичного окислення 5 %-ного двооксиду сірки під атмосферним тиском. Процес реалізується у діапазоні температур 703–843 К на ванадієвому каталізаторі СВД у чотиришаровому контактному апараті з проміжним відводом реакційного тепла у трьох виносних теплообмінниках. При цьому ступінь перетворення SO₂ у SO₃ становить 95 %.

Розрахунки показали, що з метою поліпшення характеристик екологічної безпеки і ресурсозбереження необхідно підвищити ступінь перетворення SO₂ до 99 %, що приведе до зменшення його вмісту в проконтактованому газі до 0,05 %. Така концентрація SO₂ у газоповітряному потоці дозволяє на стадії очищення, по-перше, довести величину концентрації SO₂ у приземному шарі атмосферного повітря до відповідних норм ГДК і, по-друге, одержати лужний розчин, що містить 0,2 % сульфїту натрію, який може бути використаний далі у процесі нейтралізації, що дозволить виключити рідкі відходи виробництва.

Відомо, що для одержання такого вмісту SO₂ у газоповітряному потоці після контактного апарата може бути застосований метод подвійного контактування, який припускає проведення ка-

талітичного окислення в двох послідовно встановлених контактних апаратах з проміжною абсорбцією триоксиду сірки.

У роботах В. І. Тошинського, Р. К. Кохреїдзе та інших наведено, що такі показники можуть бути одержані при окислюванні двооксиду сірки високої концентрації (10–12 % SO_2) у режимі одностадійного контактування під тиском 1,0 МПа. У літературі відсутні дані про каталітичне окислення двооксиду сірки низької концентрації ($\text{SO}_2 = 5\%$) під тиском у режимі одностадійного контактування.

З метою визначення значень тиску і температури, при яких теоретично можливе досягнення вмісту двооксиду сірки з рівнем 0,05 % (початковий вміст у газоповітряній суміші $\text{SO}_2 = 5\%$ та $\text{O}_2 = 16\%$), були виконані розрахунки основних термодинамічних параметрів – константи рівноваги K_p і рівноважного ступеня перетворення z_p .

Як показали розрахунки, при окисленні двооксиду сірки ($a_H = 5\%$, $b_H = 16\%$) необхідний вміст SO_2 в потоці після контактного апарата досягається при 675 К ($P = 0,1$ МПа), при 705 К ($P = 0,3$ МПа), при 730 К ($P = 0,6$ МПа), при 745 К ($P = 1,0$ МПа).

Відомо, що ванадієвий каталізатор ефективно працює у діапазоні температур 703–873 К. У зв'язку з цим зроблено висновок, що на ньому при атмосферному тиску неможливо досягти необхідних показників і доцільно проведення процесу окислення SO_2 під тиском.

Були проведені експериментальні дослідження з визначенням кінетичних закономірностей процесу окислення 5 % SO_2 на ванадієвому каталізаторі під тиском до 1,0 МПа у діапазоні температур 703–863 К. Експериментальні дослідження проводили на проточно-циркуляційній установці з безградієнтним реактором і використанням ванадієвого каталізатора СВД.

На першому етапі необхідно було визначити, під яким тиском проводити процес окислення SO_2 . Як видно з рис. 2, під тиском від 0,3 МПа до 1 МПа вміст SO_2 , наприклад, при температурі 723 К зменшується з 0,06 до 0,035 %, але після $P = 0,6$ МПа – зменшення незначне (0,005 %).

Рис. 2. Залежність вмісту SO_2 у газоповітряному потоці після контактного апарата від тиску

Температура, К:

1 – 718; 2 – 723; 3 – 728

Таким чином, можна стверджувати, що при $P = 0,6$ МПа досягається вміст SO_2 у газоповітряному потоці після контактного апарата менш 0,05 % і такий тиск можна взяти як базовий при

проведенні процесу.

На другому етапі, з метою одержання залежності спостережуваної швидкості процесу від тиску, були проведені експериментальні дослідження в інтервалі температур (703–863 К) під тиском до 1,0 МПа (рис. 3).

Рис. 3. Залежність спостережуваної швидкості процесу від тиску
Температура, К: 1, 4, 7 – 823; 2, 5, 8 – 773; 3, 6, 9 – 723.
Ступінь перетворення, %:
1, 2, 3 – 30; 4, 5, 6 – 60;
7, 8, 9 – 80

З літератури відомо, що спостережувана швидкість процесу каталітичного окислення SO_2 на ванадієвому каталізаторі залежить від тиску в степені 0,5, що пояснюється впливом внутрішньодифузійного гальмування на швидкість процесу. Однак при обробці експериментальних даних було одержано, що показник степені змінюється від 0,42 до 0,74.

Такі дані пояснюються посиленням зовнішньодифузійного гальмування при низьких концентраціях двооксиду сірки і можуть бути описані рівнянням:

$$W_{\text{спос}} = W_x(C, T) \cdot z^{(1-n)}, \quad (1)$$

$$\text{де } n = \left(0,24 + \frac{6,4}{\eta + 10} \right) \cdot (0,0038 \cdot T - 1,53), \quad (2)$$

$$W_x(C, T) = K \cdot C_{\text{O}_2} \cdot \frac{C_{\text{SO}_2}}{C_{\text{SO}_2} + A \cdot C_{\text{SO}_3}} \left(1 - \left(\frac{C_{\text{SO}_3}}{K_p \cdot C_{\text{SO}_2} \cdot C_{\text{O}_2}^{0,5}} \right)^2 \right), \quad (3)$$

$W_{\text{спос}}$ – спостережувана швидкість процесу, кмоль/кг·с; C – поточна концентрація, кмоль/м³; T – температура, К; $W_x(C, T)$ – кінетична швидкість реакції, кмоль/кг·с; z – ступінь перетворення, %; K – константа швидкості реакції, с⁻¹; A – постійний коефіцієнт; C_{SO_2} , C_{SO_3} , C_{O_2} – концентрації реагентів, кмоль/м³.

Залишкове середньоквадратичне відхилення розрахованих за рівнянням (1) значень становить $0,04 \cdot 10^{-5}$ кмоль/кг·с у діапазоні 10 % < z < 90 % та $703 < T < 863$ К.

Для визначення технологічних параметрів процесу окислення і основних характеристик контактного апарата (час контактування, ступінь перетворення, температур у шарах каталізатора, об'єм каталізатора, діаметр та висота реактора) застосовували метод математичного моделювання

процесу.

Математична модель процесу окислення двооксиду сірки була представлена системою рівнянь (4–7), з яких: 4 – рівняння матеріального балансу, 5 – рівняння теплового балансу, 6 – рівняння оптимальної температури, 7 – рівняння спостережуваної швидкості процесу:

$$Q \frac{dC}{dl} - W_x \cdot C, T = 0, \quad (4)$$

$$Q \cdot c_{\Gamma} \frac{dT}{dl} - Q_p \cdot W_x(C, T) = 0, \quad (5)$$

$$T_{\text{опт}} = \frac{T_p}{1 + \frac{R \cdot T_p}{2Q_p} \cdot \ln \frac{E + 2Q_p}{E}}, \quad (6)$$

$$W_{\text{спос}} = W_x(C, T) \cdot P^{(1-n)}, \quad (7)$$

де Q – об'ємна витрата газоповітряного потоку, м³/с; c_{Γ} – питома теплоємність потоку, кДж/кмоль·К; $T_{\text{опт}}$, T_p – оптимальна і рівноважна температура, К; R – універсальна газова постійна, кДж/кмоль·К; Q_p – тепловий ефект реакції, кДж/кмоль; E – енергія активації, кДж/кмоль, l – довжина, м.

Розрахунок процесу та апарата проводився у два етапи. На першому етапі був побудований графік оптимальної температури процесу з початковим вмістом SO₂ = 5 % та O₂ = 16 %, тиском $P = 0,6$ МПа. Аналіз цих даних показав, що процес окислення двооксиду сірки може бути реалізований у двошаровому реакторі при окисленні SO₂ у адіабатичному режимі з проміжним відводом тепла.

На другому етапі був проведений розрахунок контактного апарата з двома шарами каталізатора та з вбудованим теплообмінником при продуктивності по готовому продукту 10 та 15 тис. т/рік ПАР, лінійній швидкості газоповітряного потоку $V_{\Gamma} = 0,5$ м/с.

Результати розрахунку першого та другого етапів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку контактного апарата

Продуктивність, тис. т/рік	Діаметр апарата, м	Висота апарата, м	Об'єм каталізатора, м ³	Висота шару каталізатора, м		Поверхня теплообмінника, м ²	Гідравлічний опір, МПа	Вміст SO ₂ у потоці після контактного апарата, %
				I	II			
10	1,2	3,5	1,4	0,4	0,55	40	0,004	0,04
15	1,6	3,5	2,1	0,4	0,55	60	0,004	0,04

Як видно з табл. 2, контактний апарат, наприклад при продуктивності 10 тис. т/рік, має діаметр 1,2 м, висоту 3,5 м, об'єм каталізатора 1,4 м³, висоту I шару 0,4 м, висоту II шару 0,55 м, поверхню теплообміну 40 м², гідравлічний опір 0,004 МПа. Вміст SO₂ у газоповітряному потоці на виході з контактного апарата досягає 0,04 %.

Таким чином, на стадії одержання сульфатуючого агента досягнуто вміст SO₂ у потоці після контактного апарата менш 0,05 %, що дозволить використовувати лужні відходи зі стадії очищення на стадії нейтралізації.

У четвертому розділі наведені результати досліджень підвищення екологічної безпеки процесу сульфатування органічної сировини: алкілбензолів і вищих спиртів, а також сумішей вищих спиртів і моноетаноламідів карбонових кислот, використання яких дозволить створити екологічно безпечні миючі засоби та піноутворюючі сполуки.

Екологічність, ресурсо- і енергозбереження процесу визначаються мольним співвідношенням реагентів "сульфатуючий агент: органічна сировина", температурою та часом процесу, а також режимом змішування реагентів.

Якісні показники процесу характеризуються ступенем сульфатування (γ , %) і кольоровістю кінцевого продукту (j , одиниць по йодній шкалі).

У цей час даний процес проводиться в об'ємному реакторі змішування при мольному співвідношенні реагентів, що дорівнює 1,1:1, температурі 323 К, часу перебування 40 хвилин. При цьому ступінь сульфатування досягає не більше 90 % при кольоровості кінцевого продукту $j = 3$ од. (для одержання СМЗ високої якості необхідно мати продукти с кольоровістю $j = 1$ од.).

Крім того, низький ступінь сульфатування призводить при використанні ПАР до утворення шкідливих газоподібних викидів в атмосферу (показник екологічної небезпеки $A_{11}=3,65$).

Аналітичний огляд довів, що для одержання нормованих значень показника екологічної небезпеки необхідно що б вміст органічної сировини у продуктах сульфатування був на рівні 2,5 %, що досягається проведенням процесу сульфатування органічної сировини в прямоточному трубчастому реакторі з одночасним відведенням надлишкового реакційного тепла.

Експериментальні дослідження процесу сульфатування проводили в трубчастому реакторі діаметром 0,005 м і довжиною 0,7 м при зміні мольного співвідношення реагентів від 0,9:1 до 1,2:1, температурі в реакторі 305–335 К, концентрації SO_3 4-6 %, лінійній швидкості 15–20 м/с.

На рис. 4 наведені залежності вмісту органічної сировини у продуктах сульфатування і кольоровості кінцевого продукту від мольного співвідношення реагентів для сумішей органічної сировини при температурі 313 К, концентрації $\text{SO}_3 = 5$ %, часу перебування реакційної суміші $\phi = 20$ с, лінійній швидкості газоповітряного потоку $V_{\Gamma} = 18$ м/с.

Рис. 4. Залежність вмісту органічної сировини у продуктах сульфатування S і кольоровості кінцевого продукту j від мольного співвідношення реагентів M_0

Як видно з рис.4, збільшення мольного співвідношення реагентів з 0,95:1 до 1,07:1 приводить до зменшення вмісту органічної сировини до 2,5 % при незмінному значенню кольоровості кінцевого продукту $j = 1$.

Подальше збільшення мольного співвідношення призводить до різкого підвищення кольоровості кінцевого продукту і незначного зниження вмісту органічної сировини, що пов'язано з утворенням темнокольорових побічних продуктів.

Результати досліджень впливу температури на процес сульфатування наведені на рис. 5.

Рис. 5. Залежність вмісту органічної сировини у продуктах сульфатування S і кольоровості кінцевого продукту j від температури T при $M_0 = 1,07:1$, $\phi = 20$ с, $V_\Gamma = 18$ м/с

Зі збільшенням температури у діапазоні 295–310 К (рис. 5) знижується як вміст органічної сировини у продуктах сульфатування так і кольоровість кінцевого продукту до $j = 1$. Зі збільшенням температури понад 310 К значно погіршується кольоровість кінцевого продукту, що пов'язано з посиленням швидкості побічних реакцій.

Таким чином, для досягнення вмісту органічної сировини у продуктах сульфатування на рівні 2,5 % і кольоровості $j = 1$ необхідно підтримувати мольне співвідношення реагентів 1,07:1, температуру процесу 310К, лінійну швидкість газоповітряного потоку 18 м/с, час перебування 20 с.

Аналогічні дослідження були проведені на вищих спиртах і алкилбензолах. Одержані експериментальні дані дозволяють рекомендувати наступні технологічні параметри: для вищих спиртів – мольне співвідношення реагентів 1,06:1, температура процесу 313 К; для алкилбензолів – мольне співвідношення реагентів 1,08:1, температура процесу 318 К.

Розрахунок трубчастого реактора проводили з застосуванням математичної моделі, яка була представлена системою рівнянь (8–13), з яких: рівняння 8–10 являють собою швидкість теплообміну, 11 – швидкість дифузії, 12 – швидкість абсорбції триоксиду сірки, 13 – розрахунок коефіцієнту масопередачі:

$$\frac{dT_{\text{Ж}}}{dl} = \frac{F}{G_{\text{Ж}} \cdot c_{\text{Ж}}} [K_{\Gamma} \cdot Y \cdot Q_{\text{P}} - K_{\text{ТХ}}(T_{\text{Ж}} - T_{\text{Х}}) - K_{\text{ТГ}}(T_{\text{Ж}} - T_{\Gamma})], \quad (8)$$

$$\frac{dT_{\text{Х}}}{dl} = \frac{F}{G_{\text{Х}} \cdot c_{\text{Х}}} K_{\text{ТХ}}(T_{\text{Ж}} - T_{\text{Х}}), \quad (9)$$

$$\frac{dT_{\Gamma}}{dl} = \frac{F}{G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma}} K_{\text{ТГ}}(T_{\text{Ж}} - T_{\Gamma}) + \frac{dC^*}{dl} G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}, \quad (10)$$

$$\frac{dY}{d\ell} = \frac{dC^*}{d\ell} C_B - \frac{1}{Q_\Gamma} \cdot \frac{dG_a}{d\ell}, \quad (11)$$

$$\frac{dG_a}{d\ell} = F \cdot K_\Gamma \cdot Y, \quad (12)$$

$$K_\Gamma = 0,0087 \cdot V_\Gamma^{0,8}, \quad (13)$$

де $T_{ж}$, T_X , T_Γ – температура відповідно: рідини, хладагенту, газоповітряного потоку, К; ℓ – довжина, м; F – площа масо- і теплообміну, m^2 ; $G_{ж}$, G_X , G_Γ – масова витрата відповідно: рідини, хладагенту, газоповітряного потоку, кг/с; $c_{ж}$, c_X , c_Γ – питома теплоємність відповідно: рідини, хладагенту, газоповітряного потоку, кДж/кмоль·К; K_Γ – коефіцієнт масопередачі, м/с; Y – рушійна сила, кмоль/м³; $K_{ТХ}$ – коефіцієнт теплопередачі від рідини до хладагенту, кВт/м²·К; $K_{ТГ}$ – коефіцієнт теплопередачі від рідини до потоку газу, кВт/м²·К; C_B – концентрація SO₃ у газоповітряному потоці, кмоль/м³; G_a – кількість абсорбованого SO₃, кмоль/м³; C^* – відношення концентрації SO₃ улюбій точці реактора к концентрації SO₃ в ядрі потоку; Q_Γ – об'ємна витрата газоповітряного потоку, м³/с; V_Γ – швидкість газоповітряного потоку, м/с;.

Для визначення числових значень основних характеристик процесу математичну модель доповняли рівняннями розрахунку основних компонентів продуктів сульфатування, рівняннями щільності, в'язкості середовищ, які були одержані на основі експериментальних даних.

У табл. 3 приведені результати розрахунку трубчастого реактора сульфатування продуктивністю 10 та 15 тис. т/рік ПАР при мольному співвідношенні реагентів 1,07:1, лінійній швидкості газоповітряного потоку 18 м/с; щільності зрошення $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Таблиця 3

Результати розрахунку трубчастого реактора

Продуктивність, тис. т/рік	Характеристика реактора					Вміст органічної сировини у продуктах сульфатування, %	Кольоровість кінцевого продукту, од.
	Діаметр труб, м	Довжина труб, м	Кількість труб, шт	Загальний діаметр, м	Загальна довжина, м		
10	0,045	5,5	32	0,8	7,0	2,5	1
15	0,045	5,5	48	1,0	7,0	2,5	1

Результати розрахунку показали, що трубчастий реактор, наприклад при продуктивності 10 тис. т/рік, буде загальною довжиною 7,0 м, діаметром 0,8 м, має 32 труби діаметром 0,045 м та довжиною 5,5 м. При мольному співвідношенні SO₃ : органічна сировина 1,07:1 був досягнутий вміст органічної сировини у продуктах сульфатування 2,5 % при кольоровості кінцевого продукту j

= 1.

Таким чином на стадії сульфатування вдалося поліпшити ресурсозберігаючі показники на 7,5 %, досягнути при використанні ПАР вмісту шкідливих газоподібних викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря нижче орієнтовано безпечного рівня впливу.

П'ятий розділ присвячений дослідженню процесу очищення газоповітряного потоку від непрореагуваного двооксиду сірки на стадії одержання сульфатуючого агента.

Очищення проводиться за допомогою 10 %-ного розчину гідроксиду натрію. У цей час процес здійснюється в абсорбційній насадочній колоні. Як насадки використовують кільця Рашига, які створюють високий гідравлічний опір. Ступінь очищення при цьому не перевищує 95 %.

Теоретичний аналіз даного процесу показав, що досягнення екологічно безпечних показників по SO_2 і зниження гідравлічного опору можливі при реалізації швидкісної абсорбції з застосуванням блочних масообмінних елементів, які характеризуються високою ефективністю і низьким гідравлічним опором. Для цього використовували блочну керамічну насадку з похилими каналами (БН), розроблену НТУ “ХП” спільно з УкрНДІЕмальхіммаш (м. Полтава).

Ефективність насадок визначали у процесі десорбції аміаку з водного розчину повітрям. Для переходу від газорідинної системи “розчин NH_4OH – повітря” до “розчин $NaOH$ – SO_2 ” застосували відоме рівняння аналогії Чилтона-Кольборна.

Як показали результати досліджень (рис. 6), ступінь очищення при швидкості потоку 1,5 м/с і щільності зрошення $0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ збільшується з 95,6 % (кільця Рашига) до 98,7 % (БН).

Рис. 6. Залежність ступеня очищення S_0 від швидкості газоповітряного потоку V_T

1 – БН;
2 – Кільця Рашига.

При цьому гідравлічний опір пропонованої насадки БН при швидкості 1,5 м/с у 5,5 рази нижче, ніж у кільця Рашига (рис. 7).

Рис. 7. Залежність гідравлічного опору насадок ΔP від швидкості газоповітряного потоку V_{Γ}
 1 – БН;
 2 – Кільця Рашига.

Розрахунок абсорбційної колони проводили з застосуванням математичної моделі, що представлена системою рівнянь (14–19), з яких: 14 – розрахунок коефіцієнта витягу; 15 – розрахунок витрати поглинача; 16 – розрахунок абсорбційного фактора; 17 – розрахунок висоти одиниці переносу; 18 – розрахунок числа одиниць переносу; 19 – розрахунок висоти абсорбційної колони:

$$\xi = \frac{y_1 - y_2}{y_1 - mx_1 + b}, \quad (14)$$

$$G_n = 1,35 \cdot \frac{y_1 - y_2}{\frac{y_1 - b}{m} - x_2}, \quad (15)$$

$$A_{\Phi} = \frac{G_n}{m}, \quad (16)$$

$$H_{\text{ОГ}} = \frac{G_{\Gamma}}{K'_V \cdot F_C}, \quad (17)$$

$$N_{\text{ОГ}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A_{\Phi}}} \cdot \ln \frac{1 - \frac{\xi}{A_{\Phi}}}{1 - \xi}, \quad (18)$$

$$h = N_{\text{ОГ}} \cdot H_{\text{ОГ}}, \quad (19)$$

де ξ – коефіцієнт витягу; y_1, y_2 – концентрація SO_2 у газоповітряному потоці відповідно на вході і виході з колони, мольні долі; x_1, x_2 – концентрація сульфїту натрію у розчині гідроксиду натрію на вході і виході колони, мольні долі; b – постійний коефіцієнт; m – константа фазової рівноваги; A_{Φ} – абсорбційний фактор; $G_{\text{П}}$ – витрата поглинача, кг/с; $H_{\text{ОГ}}$ – висота одиниці переносу, м; G_{Γ} – витрата

газоповітряного потоку, кг/с; K'_V – об'ємний коефіцієнт масопередачі з урахуванням хемосорбції, кг/м³·с·Па; F_C – площа перетину колони, м²; N_{OG} – число одиниць переносу; h – висота насадки, м.

У табл. 4 наведені результати розрахунку абсорбційної колони при продуктивності по готовому продукту 10 та 15 тис. т/рік, з початковою концентрацією SO₂ 0,05 %, концентрацією абсорбенту 10 %, лінійній швидкості потоку $V_T = 1,2$ м/с, щільністю зрошення $\Gamma = 0,7 \cdot 10^{-2}$ м³/м²·с, з насадкою – БН.

Таблиця 4

Результати розрахунку абсорбційної колони

Продуктивність, тис. т/рік	Характеристика колони			Вміст двооксиду сірки в потоці на виході з колони, %	Гідравлічний опір, МПа
	Діаметр, м	Висота насадки, м	Загальна висота, м		
10	0,8	4,2	6,0	0,005	0,0004
15	1,0	4,8	6,5	0,005	0,0005

Результати розрахунку показали, що абсорбційна колона, наприклад при продуктивності 10 тис. т/рік, буде мати наступні розміри: діаметр колони 0,8 м, загальна висота 6 м, висота насадки 4,2 м. При цьому вміст двооксиду сірки в потоці на виході з колони 0,005 %, гідравлічний опір насадки 0,0004 МПа.

Таким чином, одержані результати дали можливість знизити вміст SO₂ у приземному шарі атмосферного повітря до величини ГДК за рахунок високої ефективності блочної керамічної насадки.

У шостому розділі наведені результати дослідних і промислових випробувань, а також дані про практичне використання одержаних результатів.

Дослідні випробування процесу одержання сульфатуючого агента проводили в контактному апараті діаметром 0,12 м, висотою 2,5 м з 2-мя шарами каталізатора СВД (висота 1-го шару 0,4 м, 2-го шару 0,6 м). Після 1-го шару каталізатора був вбудований теплообмінник для охолодження газоповітряного потоку. Концентрація двооксиду сірки у газоповітряному потоці на вході в апарат 5 %, температура у 1-му шарі: на вході 723 К, на виході 848 К; у 2-му шарі: на вході 713 К, на виході 730 К, тиск в апараті 0,6 МПа. Був досягнутий вміст SO₂ у газоповітряному потоці після контактного апарата на рівні 0,05 %.

Таким чином, одержані дані підтвердили перспективність каталітичного окислення SO₂ за підвищеним тиском для одержання сульфатуючого агента у виробництві ПАР.

Дослідні випробування процесу сульфатування проводили в трубчастому реакторі діаметром 0,021 м і довжиною 2,9 м. Технологічні параметри, наприклад, для сумішей органічної сировини були наступні: мольне співвідношення реагентів 1,07:1, концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці 5 %, температура в реакторі 310 К, щільність зрошення $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. При цьому вміст органічної сировини у продуктах сульфатування був 2,5 %, а кольоровість кінцевого продукту 1 од.

Промислові випробування процесу сульфатування проводили на Волгодонському хімічному заводі (Російська Федерація). Реактор сульфатування складався з кожухотрубного елемента з 35-ю реакційними трубками діаметром 0,05 м при наступних технологічних параметрах: витрата органічної сировини 0,4–0,45 кг/с; витрата газоповітряного потоку 0,8–0,9 $\text{м}^3/\text{с}$; витрата охолоджуючої води – 0,02–0,024 $\text{м}^3/\text{с}$; концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці 5–8 %; мольне співвідношення реагентів 1,07:1, щільність зрошення $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. У цих умовах були досягнуті наступні показники: ступінь сульфатування 94–96 %, кольоровість кінцевого продукту 1–2 одиниці, вміст органічної сировини у продуктах сульфатування 3–5 %. Більш високих якісних та екологічних показників досягти не вдалося через коливання вмісту триоксиду сірки в газоповітряному потоці. Це пов'язано з незадовільною технологією одержання сульфатуючого агента, а саме: отдувкою SO_3 з олеуму, а не окислюванням SO_2 у каталітичному реакторі.

Таким чином, перевірка процесу сульфатування в умовах дослідної установки та промислових умовах показала можливість досягнення високої якості проміжного продукту та зниження вмісту органічної сировини у продуктах сульфатування до 2,5 %.

Дослідну перевірку процесу очищення газоподібних викидів здійснювали в абсорбційній колоні діаметром 0,4 м, висотою 3,5 м, при лінійній швидкості 1,5 м/с, щільності зрошення $0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, витрати газоповітряного потоку 0,15 $\text{м}^3/\text{с}$. Випробування підтвердили лабораторні дані про те, що блочна насадка має гідравлічний опір у 5,5 рази нижчий, ніж у кілець Рашига. Вміст двооксиду сірки в потоці на виході з колони становить 0,005%. Такі результати дають можливість рекомендувати абсорбційну колону з блочною насадкою для процесів очищення газоповітряного потоку від SO_2 .

Були напрацьовані дослідно-промислові партії нових миючих засобів, одержаних з використанням розроблених нами ПАР на основі суміші вищих спиртів та моноетаноламідів карбонових кислот. Нові миючі засоби, містять у 2,5 рази менше фосфатів й можуть бути віднесені до екологічно безпечних продуктів, тому що відомо, що фосфати негативно впливають на поверхнево-водні об'єкти та здоров'я населення.

Були напрацьовані дослідно-промислові партії пінних систем, випробування яких підтвердили їх високу ефективність при обробці призабійних зон нафтових свердловин, що полягає у поліпшенні ресурсозберігаючих характеристик процесу видобутку нафти. Розроблені піноутворюючі

сполуки за піноутворюючою здатністю та вогнегасною ефективністю на 20 % перевершують застосовувані у цей час.

За результатами досліджень і проведених випробувань розроблена технологічна схема екологічно безпечного ресурсозберігаючого виробництва ПАР, а схема його техногенного впливу наведена на рис. 8.

Рис. 8. Схема техногенного впливу пропонованого виробництва ПАР на навколишнє природне середовище

Як видно з рис. 8, рідкі відходи зі стадії очищення у повному об'ємі подають на стадію нейтралізації проміжного продукту. Залишки SO_2 у відхідних газах зменшуються у 2,5 рази, газоподібні викиди органічної сировини при використанні ПАР зменшуються у 7,3 рази, вміст фосфатів в миючих засобах зменшується у 2,5 рази.

У цьому розділі наведені результати оцінки рівня екологічної безпеки пропонованого виробництва ПАР і розрахунки техніко-економічних та екологічних показників.

Техніко-економічні та екологічні показники діючого (АТ "Час", Харківська область) та пропонованого виробництва ПАР зведені в табл. 5.

З табл. 5 видно, що питомі ресурсозберігаючі показники виробництва поліпшуються: на витраті сірки – на 4,1 %, на витраті органічної сировини – на 8,5 %, на витраті луку – на 27 %.

Таблиця 5

Техніко-економічні та екологічні показники діючого і пропонованого виробництва ПАР на 1 т 100 % ПАР

N п/п	Найменування	Кількісні характеристики, кг	
		Діюче виробництво	Пропоноване виробництво
1	Витрата сірки	123	118
2	Витрата органічної сировини	779	712
3	Витрата луку	185	135
4	Кількість рідких відходів (лужний розчин сульфату натрію)	160	–
5	Кількість шкідливих викидів (двооксид сірки) після стадії очищення	0,55	0,21
6	Кількість газоподібних викидів органічної сировини при використанні ПАР	77,9	10,7

Були проведені розрахунки приземних концентрацій двооксиду сірки та газоподібної органічної сировини в атмосферному повітрі для пропонованого екологічно безпечного виробництва ПАР. Результати проведених розрахунків наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Оцінка рівня екологічної небезпеки пропонованого виробництва ПАР

Найменування факторів		Величина ГДК або нормована величина	Фактичне значення параметра	Значення показника екологічної небезпеки
Хімічні	Газоподібні викиди органічної сировини в атмосферне повітря, (вміст, мг/м ³)	0,1	0,05	0,5
	Викиди SO ₂ в атмосферне повітря, (вміст, мг/м ³)	0,05	0,05	1,0
	Скидання стічних вод, що містять фосфати, (вміст фосфатів, мг/л)	20	14	0,7
Трансформації ландшафту	Відвід земельної ділянки під рідкі лужні відходи, га	2,0	0	0

Аналіз даних табл. 6 показує, що в результаті проведених досліджень вдалося досягти наступних показників екологічної небезпеки: вміст шкідливих газоподібних викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря $A_{11} = 0,5$, вміст двооксиду сірки у приземному шарі атмосферного повітря $A_{21} = 1,0$, вміст фосфатів у стічних водах $A_{31} = 0,7$, рідкі лужні відходи повністю виключені ($A_{41} = 0$).

Зіставлення даних по ресурсозберігаючим та екологічним показникам діючого виробництва ПАР в Україні, діючого виробництва ПАР в Італії та пропонованого виробництва ПАР наведені в табл. 7.

Ресурсозберігаючі та екологічні показники виробництва ПАР

	Витрати, кг/т ПАР			Рідкі відходи, кг/т	Газоподібні викиди	
	Органічна сировина	SO ₃	NaOH		Органічна сировина, кг/т	Вміст SO ₂ , %
Діюче виробництво (Україна)	779	263	185	160	77,9	0,05
Діюче виробництво (Італія)	712	252	148	128	10,7	0,03
Пропоноване виробництво	712	252	135	відсутні (використовуються у технологічному циклі)	10,7	0,005

Таким чином, пропоноване виробництво ПАР знаходиться за основними показниками на рівні кращого світового аналога, а за скиданням рідких відходів та викидів двооксиду сірки має кращі показники.

Економічний ефект від упровадження результатів досліджень склав у перерахунку на гривні 1,16 млн. грн. Економічний ефект, що очікується від модернізації лише одного виробництва ПАР при його продуктивності 10 тис. т/рік становитиме за рахунок підвищення ресурсозберігаючих характеристик 0,74 млн. грн./рік, за рахунок зменшення плати за шкідливі викиди в атмосферу 0,038 млн. грн./рік, попереджена шкода 1,46 млн. грн./рік.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено нове рішення науково-технічної проблеми, що виражається в розробці екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві поверхнево-активних речовин шляхом виключення рідких відходів і мінімізації шкідливих викидів в атмосферне повітря.

1. Встановлено, що у виробництві ПАР найбільш екологічно небезпечними стадіями є: одержання сульфатуючого агента та сульфатування органічної сировини. У зв'язку з цим розробка екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві ПАР є актуальною науковою проблемою.

2. Проведено аналіз стану і впливу промислових відходів та шкідливих викидів на стан екологічної безпеки в Україні. Встановлені закономірності утворення промислових відходів та

шкідливих викидів на підприємствах і показано, що вирішення проблеми екологічної безпеки країни неможливо без зниження промислових відходів та шкідливих викидів. Уперше вивчено закономірності утворення відходів та шкідливих викидів виробництва ПАР і показано, що щорічно в навколишнє природне середовище лише одним підприємством викидається: рідких лужних відходів – 1600 т, газоподібних викидів органічної сировини – 779 т, газоподібних викидів двооксиду сірки – 5,5 т. Зроблено висновок, що необхідною умовою їх розвитку в Україні є створення екологічно безпечних виробництв.

3. Виконано теоретичні та експериментальні дослідження процесу одержання сульфатуючого агента шляхом каталітичного окислення двооксиду сірки низької концентрації ($\text{SO}_2 = 5\%$) під тиском ($P = 0,3\text{--}1,0$ МПа). Встановлено, що для досягнення екологічно безпечних концентрацій двооксиду сірки у газоповітряному потоці після контактного апарата ($\text{SO}_2 = 0,05\%$) необхідно процес проводити під тиском $P = 0,6$ МПа в політропічному режимі у діапазоні температур 713–863 К.

4. Встановлені основні закономірності процесу сульфатування органічної сировини триоксидом сірки у трубчастому реакторі. Вперше сформульовано і науково обґрунтовано спосіб одержання ПАР сульфатуванням сумішеш органічної сировини, що дає можливість створити екологічно безпечні миючі засоби та піноутворюючі сполуки зі зменшенням їх впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я населення. Визначено оптимальні технологічні параметри процесу. Сульфатування суміші органічної сировини рекомендовано проводити при наступних умовах: $M_0 = 1,07:1$, $\text{SO}_3 = 5\%$, температура у реакторі 310 К, щільність зрошення $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. При цьому досягається вміст органічної сировини у продуктах сульфатування на рівні 2,5 % при кольоровості кінцевого продукту $j = 1$, що дозволяє вирішити питання ресурсозбереження сировини, досягнути при використанні ПАР вмісту шкідливих газоподібних викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря нижче орієнтовано безпечного рівня впливу.

5. Вперше теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість використання лужних відходів стадії очищення для нейтралізації продуктів сульфатування, що дозволило виключити рідкі відходи виробництва. В цьому випадку при будівництві нових виробництв ПАР не треба відводити земельну ділянку під поле фільтрації, а при реконструкції діючих виробництв зменшити забруднення ґрунту та покращити стан підземних вод.

6. Результати досліджень процесу швидкісної абсорбції SO_2 з використанням блочних масообмінних елементів дозволили знизити в 5,5 рази гідравлічний опір абсорбційної колони і підвищити ступінь очищення, який забезпечує у приземному шарі атмосферного повітря вміст SO_2 на рівні гранично-допустимої концентрації.

7. На основі математичних моделей процесів розроблено алгоритми та програми розрахунків основного устаткування виробництва ПАР. Закладено наукові основи створення екологічно

безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві ПАР. Новизна розробок підтверджена авторськими свідоцтвами на винаходи.

8. Розроблена технологічна схема екологічно безпечного ресурсозберігаючого виробництва ПАР, яка дозволяє виключити скидання лужних рідких відходів у навколишнє природне середовище, залишки SO_2 у відхідних газах зменшити у 2,5 рази, газоподібні викиди органічної сировини при використанні ПАР зменшити у 7,3 рази. Крім того, поліпшуються ресурсозберігаючі показники виробництва: за витратою сірки – на 4,1 %, за витратою органічної сировини – на 8,5 %, за витратою луку – на 27 %. Розроблено основне устаткування виробництва ПАР для підвищення його екологічної безпеки: контактний апарат з вбудованим теплообмінником, реактор сульфатування, абсорбційна колона.

9. Дослідно-промислові партії миючих засобів було одержано з використанням розроблених нами ПАР на основі суміші вищих спиртів та моноетаноламідів карбонових кислот зі зменшенням у 2,5 рази кількості фосфатів порівняно з тими, що виробляються на цей час. Нові миючі засоби можна віднести до екологічно безпечних продуктів, оскільки зменшено вміст фосфатів, які негативно впливають на поверхнево-водні об'єкти та здоров'я населення. Крім того, присутність сульфатів моноетаноламідів карбонових кислот у миючих засобах при ручних праннях дає можливість знизити їхній вплив на здоров'я населення, тому що відомо пом'якшуюча дія таких ПАР на шкірний покрив організму людини.

10. Випробування пінних систем у ВО "Юганськнафтогаз" (Російська Федерація) підтвердили їх високу ефективність при обробці призабійних зон нафтових свердловин, яка полягає у поліпшенні ресурсозберігаючих характеристик процесу видобутку нафти. Розроблені піноутворюючі сполуки за піноутворюючою здатністю та вогнегасною ефективністю мають на 20 % кращі показники, ніж ті, що застосовуються на цей час. Використання нових пінних систем дозволить у нафтовій промисловості та пожарогасінні виключити використання піноутворюючих сполук з низьким ступенем біорозкладення, які негативно впливають на навколишнє природне середовище.

11. Проведена оцінка рівня екологічної безпеки діючого і пропонованого виробництва ПАР. Показано, що основними факторами екологічної небезпеки даного виробництва є хімічні фактори та трансформації ландшафту. Дані розрахунків показали, що в пропонованому виробництві ПАР у приземному шарі атмосферного повітря досягається вміст двооксиду сірки на рівні гранично-допустимої концентрації, а вміст шкідливих викидів органічної сировини нижче орієнтовано безпечного рівня впливу.

12. На Волгодонському хімічному заводі (Російська Федерація) впроваджена установка плівкового сульфатування органічної сировини продуктивністю 15 тис. т/рік зі зменшенням при використанні ПАР вмісту шкідливих викидів органічної сировини у приземному шарі атмосферного повітря у 2,5 рази. Результати роботи використані ВАТ "УкрНДІхіммаш" (м. Харків) при

проектуванні та виготовленні промислового трубчастого реактора сульфатування, ДНДІ МІНДП (м. Суми) при розробці систем очищення газоповітряних потоків від двооксиду сірки та прийнятті НІОХІМ (м. Харків) для використання при проектуванні нових екологічно безпечних виробництв ПАР.

Економічний ефект від упровадження результатів досліджень становить у перерахунку на гривні 1,16 млн. грн. Економічний ефект, що очікується від модернізації лише одного виробництва ПАР при його продуктивності 10 тис. т/рік за рахунок підвищення ресурсозберігаючих характеристик досягне 0,74 млн. грн./рік, за рахунок зменшення плати за шкідливі викиди в атмосферу 0,038 млн. грн./рік, попереджена шкода 1,46 млн. грн./рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Подустов М.А., Виниченко В.С., Правдин В.Г., Ефимов В.Т., Чернова Т.Е. Комбинированные анионные поверхностно-активные вещества // Журнал прикладной химии. – 1985. – №7. – С. 1627–1630.

Здобувачеві належить ідея та здійснення процесу одержання нових екологічно безпечних ПАР.

2. Подустов М.А., Правдин В.Г., Литвиненко И.И., Петров В.Н., Клименко О.В. Принципы управления процессом получения алкилсульфатов // Вестник ХПИ: Химическая техника. – Харьков: ХПИ. – 1988. – №258, вып. 1. – С. 8–10.

Здобувач запропонував та обґрунтував принципи керування.

3. Подустов М. А., Правдин В. Г., Моргунова Т. С., Петров В. Н. Сульфатирование смесей нефтехимических продуктов газообразным триоксидом серы // Химическая технология. – 1991. – № 1. – С. 37–39.

Здобувачеві належить постановка задачі досліджень і визначення напрямку її рішення.

4. Подустов М. А. Сульфатирование смесей нефтехимических продуктов как одно из направлений процесса получения высококачественных ПАВ // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 28. – С. 16–18.

5. Подустов М. А., Тошинский В. И., Литвиненко И. И., Петров В. Н. Экологические аспекты производства поверхностно-активных веществ // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. – № 3. – С. 150–153.

Здобувач визначив основні шляхи утворення рідких відходів і газоподібних викидів, розробив схему техногенного впливу виробництва ПАР на навколишнє природне середовище.

6. Подустов М. А., Тошинский В. И., Литвиненко И. И. Концепция создания ресурсосбере-

гающего экологически ориентированного процесса получения сульфатирующего агента в производстве поверхностно-активных веществ // Интегровані технології та енергозбереження. – 2001. – № 3. – С. 101–105.

Здобувач провів розрахунки термодинамічних характеристик процесу, визначив напрямки підвищення екологічної безпеки.

7. Подустов М. А., Тошинский В. И., Литвиненко И. И., Дзевочко А. М., Наконечный О. Н. Математическое моделирование контактного узла производства поверхностно-активных веществ // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2003. – № 11, Т. 2. – С. 80–85.

Здобувач розвив математичну модель процесу, розробив метод розрахунку, провів узагальнення одержаних результатів.

8. Подустов М. А., Тошинский В. И., Литвиненко И. И., Дзевочко А. М., Наконечный О. Н. Ресурсосберегающая и экологически безопасная технология получения сульфатирующего агента в производстве поверхностно-активных веществ // Интегровані технології та енергозбереження. – 2003. – № 2. – С. 111–118.

Здобувачеві належить ідея та здійснення процесу одержання сульфатууючого агента для підвищення його екологічної безпеки.

9. Подустов М. А., Тошинский В. И., Петров В. Н. Новые подходы к очистке газовых выбросов в производстве поверхностно-активных веществ // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2003. – № 15. – С. 26–31.

Здобувачем запропоновано нові методи підвищення екологічної безпеки процесу очищення газоповітряних потоків від SO_2 .

10. Подустов М. А., Тошинский В. И., Дзевочко А. М. Совершенствование процесса получения сульфатирующего агента с целью повышения экологической безопасности // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – № 6. – С. 59–61.

Здобувачем проаналізовані основні фактори впливу на якісні характеристики процесу, визначені шляхи підвищення екологічної безпеки.

11. Подустов М. А. Замкнутая схема нейтрализации продуктов сульфатирования и очистки газовых выбросов в производстве ПАВ // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА. – 2004. – Вип. 27. – С. 67–72.

12. Подустов М. А., Тошинский В. И., Дзевочко А. М. Изучение процесса получения сульфатирующего агента при повышенных давлениях // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2004. – № 15. – С. 41–48.

Здобувачем здійснено аналіз експериментальних даних, проведено узагальнення одержаних результатів.

13. Подустов М. А. Повышение степени переработки органического сырья – одно из направлений снижения отходов в производстве поверхностно-активных веществ // Вестник науки и техники. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 2–3. – С. 49–55.

14. Подустов М. А. Анализ состояния и влияния промышленных отходов на окружающую среду // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2004. – № 4. – С. 172–174.

15. Подустов М. А., Тошинский В. И., Дзевочко А. М. Расчет контактного узла производства поверхностно-активных веществ // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 5. – С. 182–185.

Здобувач розробив методику та алгоритм розрахунку, виконав інтерпретацію одержаних даних.

16. Подустов М. А., Петров В. Н. Математическое моделирование процесса сульфатирования органических продуктов в производстве поверхностно-активных веществ // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2004. – № 4. – С. 38–48.

Здобувачем розроблено математичну модель процесу, проведено узагальнення одержаних результатів.

17. Подустов М. А., Петров В. Н. Разработка алгоритмов и программ расчета пленочного реактора сульфатирования // Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2005. – № 26. – С. 145–149.

Здобувачем здійснено аналіз математичної моделі, розроблено алгоритм розрахунку.

18. Подустов М. А., Тошинский В. И. Очистка газоздушного потока от диоксида серы в производстве ПАВ // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2006. – № 4. – С. 64–68.

Здобувачем здійснено аналіз математичної моделі процесу, розроблено алгоритм розрахунку, проведено узагальнення одержаних результатів.

19. Подустов М. А., Тошинский В. И. Экологически безопасные пенообразующие составы промышленного назначения // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА. – 2006. – Вип. 39. – С. 244–248.

Здобувач сформулював основні шляхи розробки екологічно безпечних сполук, обґрунтував вміст компонентів.

20. Подустов М. А., Тошинский В. И. Оценка уровня экологической безопасности получения и применения поверхностно-активных веществ // Экология и промышленность. – 2006. – № 4. – С. 52–55.

Здобувач визначив основні фактори небезпеки, розрахував їхні показники, провів оцінку рівня екологічної безпеки виробництва ПАВ.

21. Подустов М. А., Тошинский В. И. Экологически безопасное ресурсосберегающее производство поверхностно-активных веществ: его технико-экономические и экологические показатели // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – № 12. – С. 22–26.

Здобувачем проаналізовано основні умови створення екологічно безпечного виробництва ПАВ, проведені розрахунки техніко-економічних та екологічних показників.

22. Способ получения поверхностно-активного вещества: А. с. 1051068 СССР, МКИ С 07С 143/155 / В. Г. Правдин, М. А. Подустов, В. С. Виниченко, В. Т. Ефимов, В. И. Заяц, А. А. Бордюг, Е. С. Карюкин, Д. И. Земенков, М. Д. Троян. (СССР). – № 3424582/23; Заяв. 15.04.82; Оpubл. 30.10.83, Бюл. № 40. – 6 с.

Здобувач запропонував ідею та спосіб одержання, обґрунтував концентрацію органічного продукту і поступове зниження температури.

23. Способ получения поверхностно-активного вещества: А. с. 1214657 СССР, МКИ С 07С 143/155 / М. А. Подустов, В. Г. Правдин, В. С. Виниченко, Н. С. Гамаюнов, А. С. Басов, А. А. Бордюг, Т. Е. Чернова, В. Н. Петров, В. Н. Сорокин. (СССР). – № 3759864/23; Заяв. 26.06.84; Оpubл. 23.03.87, Бюл. № 11. – 4 с.

Здобувач запропонував проводити попереднє нагрівання компонентів, обґрунтував їх вміст.

24. Пенообразующий состав для удаления жидкости из нефтяных и газовых скважин: А. с. 1298356 СССР, МКИ Е 21В 43/25 / М. А. Подустов, В. Г. Правдин, Э. М. Тосунов, С. А. Рябоконт, И. И. Литвиненко, А. П. Мельник, Д. И. Земенков, С. М. Шаршков. (СССР). – № 3948723/22; Заяв. 12.07.85; Оpubл. 23.03.87, Бюл. № 11. – 4 с.

Здобувач запропонував ідею одержання піноутворюючої сполуки та обґрунтував вміст алкілсульфату, сульфату алканоламіду і вищого спирту.

25. Реагент-пенообразователь трехфазных пен: А. с. 1456393 СССР, МКИ С 09К 7/02 / М. А. Подустов, В. Г. Правдин, А. Н. Моргунов, С. М. Шаршков., Э. М. Тосунов, Л. П. Вахрушев, А. П. Мельник (СССР). – № 4189685/31; Заяв. 02.02.87; Оpubл. 07.02.89, Бюл. № 5. – 5 с.

Здобувач запропонував сполуку, експериментально обґрунтував склад компонентів.

26. Пенообразующий состав для удаления жидкости из скважин: А. с. 1504332 СССР, МКИ Е 21В 43/00 / М. А. Подустов, В. Г. Правдин, Ю. Д. Панаев, И. Н. Жуков, Э. М. Тосунов, Д. И. Земенков, А. П. Рудой. (СССР). – № 4256696/23; Заяв. 04.06.87; Оpubл. 30.08.89, Бюл. № 34. – 4 с.

Здобувач запропонував сполуку, обґрунтував склад компонентів.

27. Подустов М. А., Тошинский В. И. Решение вопросов экологической безопасности производства поверхностно-активных веществ // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Збірник наукових праць Українського науково-дослідного ін-

ституту екологічних проблем. – Харків: УкрНДІЕП. – 2004. – С. 158–163.

Здобувачем запропоновано основні шляхи створення екологічно безпечного виробництва ПАР, розроблено нову технологічну схему.

28. Подустов М. А., Тошинский В. И. Взаимосвязь выбросов в атмосферу с окружающей природной средой // Сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции “Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов”. – Харьков: Райдер. – 2004. – С. 182–185.

Здобувач провів аналіз стану та впливу шкідливих викидів на навколишнє природне середовище та здоров'я населення.

29. Подустов М. А. Технические аспекты повышения экологической безопасности производства поверхностно-активных веществ // Науковий збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції “Екологічна та техногенна безпека”. – Харків: ХІСП. – 2004. – Вип. 1 (6). – С. 77–82.

30. Подустов М. А., Тошинский В. И. Разработка экологически безопасных технологических процессов в производстве поверхностно-активных веществ // Збірник наукових праць I Міжнародної науково-практичної конференції “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: У 2 т. – Харків: Райдер. – 2005. – Т. 2. – С. 145–150.

Здобувач провів аналіз виробництва ПАР як джерела відходів та шкідливих викидів, виконав теоретичне та експериментальне узагальнення одержаних результатів.

31. Подустов М. А., Тошинский В. И. Производство поверхностно-активных веществ: пути повышения экологической безопасности // Збірник наукових статей II Міжнародної науково-практичної конференції “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: У 2 т. – Харків: Райдер. – 2006. – Т. 2. – С. 298–302.

Здобувач сформулював основні проблеми та шляхи підвищення екологічної безпеки.

АНОТАЦІЇ

Подустов М. О. Екологічно безпечні ресурсозберігаючі технологічні процеси та устаткування у виробництві поверхнево-активних речовин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків, 2007.

Дисертація присвячена розробці теоретичних основ та технічних рішень створення екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві поверхнево-активних речовин шляхом виключення рідких відходів і мінімізації шкідливих викидів в

атмосферне повітря.

Проведено системний аналіз стану екологічної безпеки виробництва ПАР.

Встановлено, що каталітичне окислення двооксиду сірки необхідно проводити під тиском ($P = 0,6$ МПа) у політропічному режимі у діапазоні температур 713–863 К, що дозволяє досягти екологічно безпечних концентрацій SO_2 у газоповітряному потоці після контактного апарата.

Встановлено основні закономірності процесу сульфатування органічної сировини в прямо-точному трубчастому реакторі, що дало можливість зменшити шкідливі викиди при використанні ПАР у 7,3 рази.

Запропонована та експериментально обґрунтована замкнута система процесу нейтралізації та очищення газоподібних викидів, що дозволяє виключити скидання рідких відходів у навколишнє природне середовище.

Показано перспективне застосування блочної насадки, яка дозволяє підвищити ступінь очищення газоповітряного потоку від SO_2 , що забезпечує у приземному шарі атмосферного повітря вміст SO_2 на рівні ГДК.

Економічний ефект від упровадження результатів досліджень склав 1,16 млн. грн.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, ресурсозбереження, екологічна безпека, двооксид сірки, очищення, каталітичне окислення, економічний ефект.

Подустов М. А. Экологически безопасные ресурсосберегающие технологические процессы и оборудование в производстве поверхностно-активных веществ. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Харьков, 2007.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ и технических решений создания экологически безопасных ресурсосберегающих технологических процессов и оборудования в производстве поверхностно-активных веществ путём исключения жидких отходов и минимизации вредных выбросов в атмосферный воздух.

Проведен анализ состояния и влияния промышленных отходов и вредных выбросов на окружающую природную среду и здоровье населения и показано, что решение проблемы экологической безопасности страны невозможно без снижения промышленных отходов и вредных выбросов. Изучены закономерности образования отходов и вредных выбросов производства ПАВ и показано, что необходимым условием их развития в Украине является создание экологически безопасных производств.

Исследован процесс получения сульфатирующего агента путём каталитического окисления диоксида серы до триоксида серы при повышенных давлениях. Показано, что при атмосферном

давлении можно достичь степени превращения SO_2 на уровне 98 %. Для достижения более высокой степени превращения процесс следует проводить под давлением $P = 0,6$ МПа в политропическом режиме в диапазоне температур 713–863 К. Изучены закономерности процесса окисления диоксида серы при различных степенях превращения, давлениях и температурах для условий производства ПАВ. Определены оптимальные параметры процесса. Получены уравнения для расчёта. Получила дальнейшее развитие математическая модель процесса. Результаты исследований позволили достичь экологически безопасных концентраций SO_2 в газовой воздушном потоке после контактного аппарата.

Установлены основные закономерности процесса сульфатирования органического сырья в прямоточном трубчатом реакторе.

Сформулирован и научно обоснован способ получения ПАВ сульфатированием смесей органического сырья, что дало возможность создать экологически безопасные моющие средства и пенообразующие составы с уменьшением их влияния на окружающую природную среду и здоровье населения.

Определены оптимальные технологические параметры: при сульфатировании смеси органического сырья мольное соотношение реагентов 1,07:1, концентрация триоксида серы 5 %, температура в реакторе 310 К, плотность орошения $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. При этом достигается содержание органического сырья в продуктах сульфатирования на уровне 2,5 % при цветности конечного продукта $j = 1$, что позволяет решить вопросы ресурсосбережения и достичь при использовании ПАВ содержания вредных газообразных выбросов органического сырья в приземном слое атмосферного воздуха ниже ориентировочно безопасного уровня воздействия.

С целью исключения жидких щелочных отходов производства предложена и экспериментально обоснована замкнутая система процесса нейтрализации и очистки газообразных выбросов путем использования щелочных отходов стадии очистки в качестве нейтрализующего агента на стадии нейтрализации.

Выполнено сравнительное исследование различных насадок, используемых на стадии очистки газообразных выбросов. Показано перспективное применение блочной насадки, которая позволяет повысить степень очистки газовой воздушного потока от SO_2 , что обеспечивает в приземном слое атмосферного воздуха содержание SO_2 на уровне ПДК и снизить в 5,5 раз гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны.

Исследованы поверхностно-активные свойства полученных ПАВ и показана возможность их широкого применения.

Результаты исследований дали возможность разработать технологическую схему экологически безопасного ресурсосберегающего производства ПАВ, которая позволяет исключить сброс жидких щелочных отходов, выбросы SO_2 с отходящими газами уменьшить в 2,5 раза, вредные

выбросы органического сырья при использовании ПАВ уменьшить в 7,3 раза и, кроме того, улучшить удельные ресурсосберегающие показатели производства: по расходу серы – на 4,1 %, по расходу органического сырья – на 8,5 %, по расходу щелочи – на 27 %.

Проведена оценка уровня экологической безопасности действующего (АО “Время”, Харьковская область) и предлагаемого производства ПАВ.

В соответствии с новыми разработанными технологическими процессами были выпущены опытно-промышленные партии ПАВ, а на их основе экологически безопасные моющие средства и пенообразующие составы, которые прошли испытания у потребителей с положительными результатами.

Разработанные новые пенообразующие составы по пенообразующей способности и огнетушащей эффективности превосходят применяемые пенообразователи на 20 %, а использование составов для обработки нефтяных скважин позволит повысить их дебит.

Новизна разработок подтверждается 5 авторскими свидетельствами на изобретения.

На Волгодонском химическом заводе (Российская Федерация) внедрена установка плёночного сульфатирования органического сырья производительностью 15 тыс. т/год с уменьшением при использовании ПАВ содержания вредных выбросов органического сырья в приземном слое атмосферного воздуха в 2,5 раза.

Результаты работы использованы ОАО "УкрНИИхиммаш" (г. Харьков) при проектировании и изготовлении промышленного трубчатого реактора сульфатирования, ГосНИИ МИНДИП (г. Сумы) при разработке систем очистки газоздушных потоков от SO₂ и приняты НИОХИМ (г. Харьков) для использования при проектировании новых экологически безопасных производств ПАВ.

Экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 1,16 млн. грн.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, ресурсосбережение, экологическая безопасность, диоксид серы, очистка, каталитическое окисление, экономический эффект.

Podustov M. A. Ecologically safety resources – saving technological processes and the equipment in the production of surfactant. – Typescript.

Dissertation for the doctor of technical science degree in speciality 21.06.01 – Ecological Safety. – Ukrainian Scientific and Research Institute of Ecological Problems, Kharkiv, 2007.

The dissertation concerns the development of theoretical principles and technical solution, in order to elaborate ecologically safety resources – saving technological processes and the equipment in the production of surfactant by means of exclusion of liquid waste and of reduction of harmful emissions in atmospheric air.

The system analysis of state of ecological safety of producing surfactant has been carried out.

The catalysis oxidation of dioxide sulfur is to be carried out under pressure ($P = 0,6$ megapascal) in polytropic conditions in the temperature scope of 713-863 K, which permit to attain ecological safety concentration of SO_2 in gas-air flow after contact reactor, is determined.

The principal regularities of organic raw material sulphation in uniflow pipe reactor have been determined, which gave the possibility to reduce harmful emission during the use of surfactant species in 7,3 times.

The close system of neutralization and gas emission cleaning has been proposed and substantiated by experiment, which permits to exclude the discharge of liquid waste into the environment.

The perspective application of block nozzle permitting to raise the gas cleaning gas-air flow from SO_2 degree has been shown, which assures the content of SO_2 in the ground layer of the atmospheric air at the level of maximum permissible concentration (MPC).

The economical effect from the research results implementation was UAH 1,16 mln.

Key words: surfactant, resource – saving, ecological safety, dioxide sulfur, cleaning, catalysis oxidation, economical effect.