

Дзевочко О.М., к.техн. наук, доцент, Подустов М.О., д.техн.наук, професор,
Дзевочко А.І., к.техн.наук

РОЗРОБКА НОВОЇ АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: апаратурно-технологічна схема, сульфатування, суміш, органічна речовина.

Вступ. Поверхнево-активна речовина (ПАР) на основі вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ знаходить основне використання в широкому спектрі засобів особистої гігієни, таких як шампуні, піноутворюючі засоби для ван, зубні пасти, рідина для миття посуду, делікатні засоби для прання білизни [1, 2] та ін. Використання ПАР на основі суміші вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ та моноетаноламідів вищих жирних спиртів кокосової олії [3] дає можливість значно покращити якісні характеристики засобів особистої гігієни.

Аналіз літературних даних. Огляд літератури [4–9] показує, що процесу отримання поверхнево-активних речовин приділяють у світі значну увагу. В літературі [10] повністю наведено опис апаратури на окремих етапах отримання ПАР, зокрема і на етапі процесу сульфатування. Автор підтверджує, що для процесу сульфатування рекомендується використовувати трубчасті плівкові абсорбери. Автори [11] на базі трубчастого плівкового абсорбера провели значну кількість експериментальних даних з визначенням основних технологічних параметрів процесу сульфатування. Однак даних з сульфатування сумішей органічних речовин недостатньо. Такі дослідження дадуть можливість значно покращити якість продуктів косметичної промисловості, що випускаються.

Мета роботи. Розрахувати промисловий трубчастий плівковий абсорбер для сульфатування двокомпонентної суміші органічних речовин і на його основі розробити нову апаратурно-технологічну схему процесу сульфатування.

Основна частина. Основним елементом апаратурно-технологічної схеми процесу сульфатування сумішей органічних речовин є трубчастий плівковий абсорбер. Згідно проведених раніше досліджень [11] було показано, що для сульфатування двокомпонентних сумішей органічних речовин на основі вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ та моноетаноламідів вищих жирних кислот кокосової олії необхідно використовувати трубчастий плівковий абсорбер [9], який має двоступінчате охолодження – верхня частина 1/3 довжини абсорбера, нижня частина 2/3 довжини абсорбера. Швидкість газоповітряного потоку планується підтримувати на рівні $V_r = 20$ м/с, мольне співвідношення реагентів 1,08 : 1,0, концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці – 3,7 %, температура вихідних реагентів : рідинної фази – 313 К, газоповітряного потоку – 303 К, охолоджувальної води – 293 К.

Виходячи з таких вихідних даних був проведений розрахунок трубчастого плівкового абсорбера. Дані розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку промислового трубчастого абсорбера для сульфатування двокомпонентної суміші органічних речовин

Параметр	Показник
Продуктивність установки, т/рік	5000
Витрата суміші органічних речовин, м ³ /год	0,651
Лінійна щільність зрошування, м ² /с	0,82·10 ⁻⁴
Швидкість газоповітряного потоку в трубах, м/с	20
Концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці	3,7
Мольне співвідношення реагентів	1,08 : 1,0
Початкова температура рідинної фази на вході в абсорбер, К	313
Кінцева температура рідинної фази на виході з абсорбера, К	305
Температура охолоджувальної води на вході в абсорбер, К	293
Внутрішній діаметр труб, м	0,037
Довжина реакційних труб, м	5,5
Товщина стінки труб, м	0,0025
Кількість труб, шт	19
Поверхня теплообміну верхньої секції, м ²	4,28
Поверхня теплообміну нижньої секції, м ²	8,56
Загальний діаметр абсорбера, м	0,5
Загальна висота абсорбера, м	7
Кінцевий ступінь сульфатування, %	97,9
Кольоровість отриманих продуктів, j , одиниць за йодною шкалою	1

Розрахунок промислового трубчастого абсорбера проводився згідно з розробленим алгоритмом та програмою на мові MatLab. В програмі був використаний ітераційний метод та реалізований розрахунок абсорбера на задану продуктивність за кількістю продуктів, що сульфатуються.

В трубчастому плівковому абсорбері труби розподіляються по його перетину за трикутною схемою (схема рівнобічних трикутників) [12].

Кількість труб для їх розташування за такою схемою розраховується за формулою:

$$n_{\text{тр}} = 3 \cdot a_N \cdot (a_N + 1) + 1, \quad (1)$$

де a_N – порядковий номер шестикутника рахуючи від центру.

Враховуючи конструктивні особливості системи плівкоутворення, відстань між центрами труб реактора сульфатування більша, ніж загальноприйнята, і розраховується за формулою:

$$S = 2 \cdot d_{\text{тр}}, \quad (2)$$

де $d_{\text{тр}}$ – зовнішній діаметр труб, м.

Розрахувавши кількість труб в залежності від номера шестикутника були одержані наступні результати (табл. 2)

Таблиця 2 – Розрахунок кількості труб

a_N	1	2	3	4
$n_{\text{тр}}$	7	19	37	61

З табл. 2 можна бачити, що значення кількості труб $n_{\text{тр}} = 19$ при $a_N = 2$. Товщина трубної решітки складе:

$$\delta_{\text{пріп}} \geq 5 = 1 \cdot d, \quad (3)$$

тобто $\delta = 40$ мм.

В результаті розрахунку на трубній решітці розташовано 19 трубок діаметром 0,037/0,042, діаметр трубної решітки 0,5 м, площа трубного простору складає 0,0204 м², площа міжтрубного простору 0,1384 м².

Компанування трубного пучку в трубній решітці наведена на рис. 1.

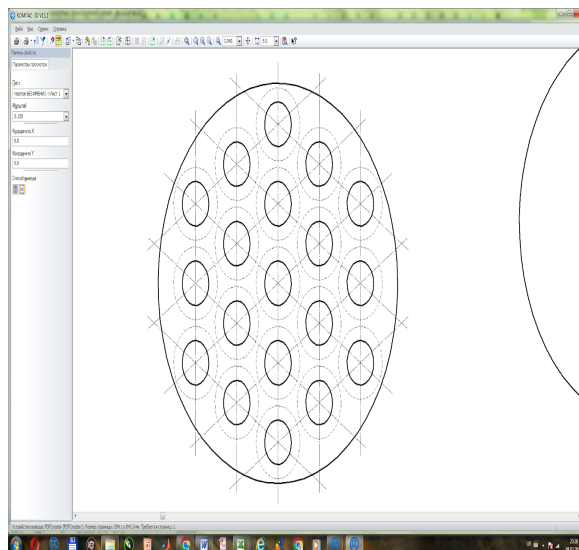


Рисунок 1 – Компонування 19 труб в трубному пучку

Були розглянуті основні конструктивні особливості трубчастого плівкового абсорбера згідно рекомендацій за літературними даними [9]. На рис. 2 наведено загальний вигляд абсорбера в зібраному стані.

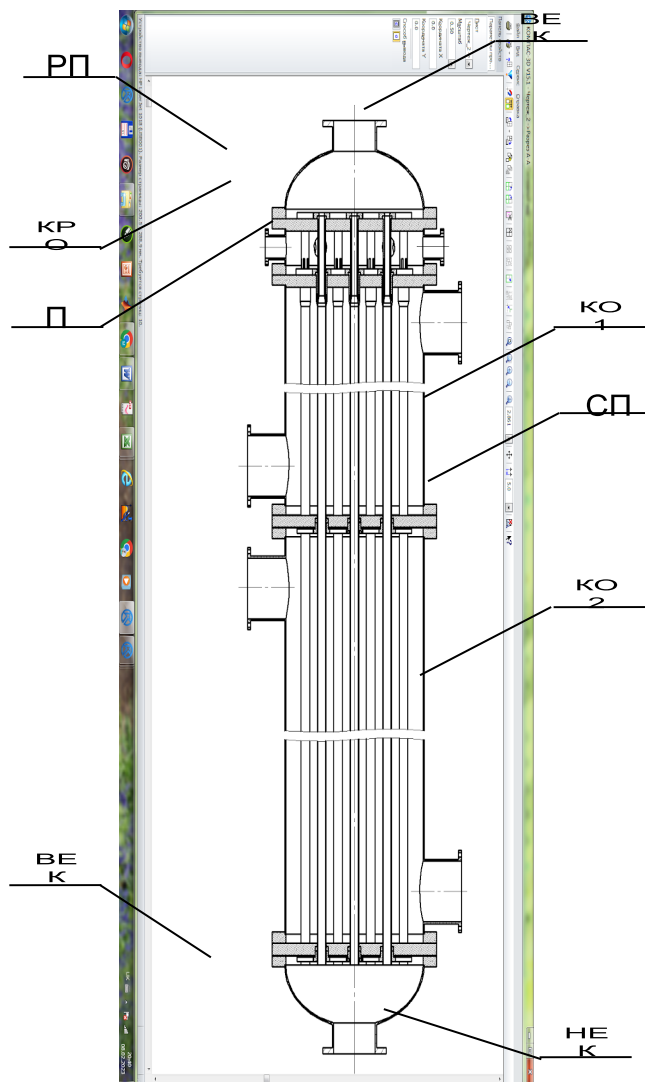


Рисунок 2 – Загальний вигляд абсорбера в складеному (зібраному) стані

Як можна побачити з рис. 2 абсорбер складається з таких основних елементів, це – верхньої еліптичної кришки (ВЕК), розподільчої плити (РП) газоповітряного потоку (сульфатуючого агенту), камери для розподілу суміші органічних речовин (КРО), плівкоутворювачів (П), двох камер охолодження (КО1 та КО2) з роздільними проміжними сальниковими плитами (СП) та нижньої еліптичної кришки (НЕК).

На основі промислового трубчастого плівкового абсорбера була запропонована нова апаратурно-технологічна схема (рис. 3), яка забезпечить високу якість зотриманого продукту, значне зменшення шкідливих викидів, зниження питомих показників ресурсо- та енергоємності.

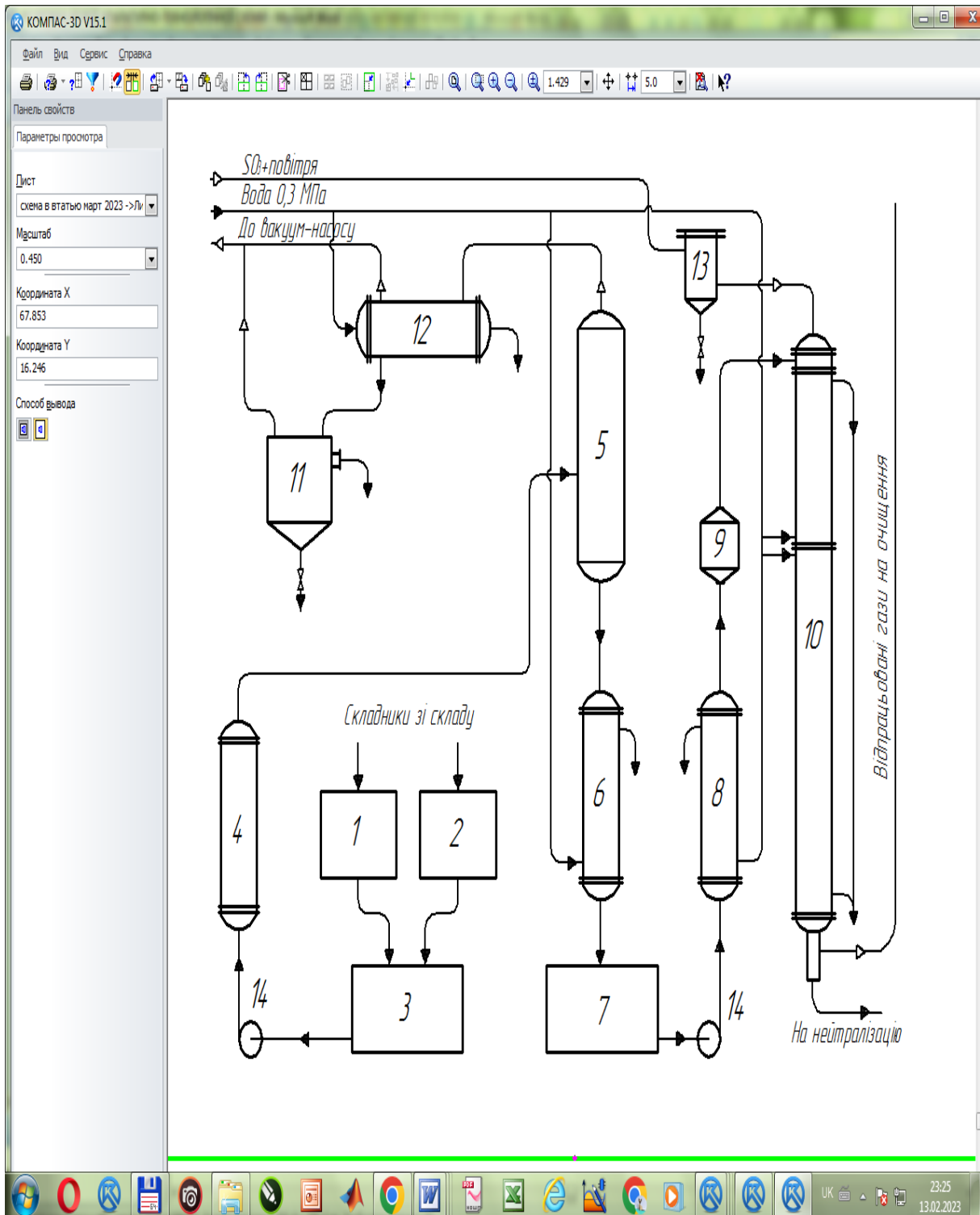


Рисунок 3 – Принципова апаратурно-технологічна схема процесу сульфатування двохкомпонентних сумішей органічних речовин газоподібним триоксидом сірки

1 – 2 – ємності з окремими складниками; 3 – ємність для початкової речовини (суміш органічних речовин); 4 – підігрівач початкової речовини; 5 – вакуумосушувач; 6 – охолоджувач; 7 – ємність для осушеної початкової речовини; 8 – холодильник-термостат;

9 – фільтр; 10 – трубчастий плівковий абсорбер; 11 – барометрична ємність; 12 – конденсатор;
13 – краплевідбійник; 14 – насоси

Були проведені розрахунки основних техніко-економічних та екологічних показників від впровадження результатів досліджень. В табл. 3 показано, що реалізація запропонованої схеми відділення сульфатування продуктивністю 5 тис. т/рік поверхнево-активних речовин сприяє підвищенню ресурсощадних показників виробництва: по органічній речовині за рахунок збільшення ступеня сульфатування з 91,4 % до 97,9 %, тобто на 6,5 %. Це дає можливість знизити витратні коефіцієнти з 0,779 т до 0,7 т органічних речовин на 1 т ПАР, використано суміші органічних речовин з більш низькою ціною, зменшено витрати на зовнішню електроенергію на 100 %.

Висновки

1. Проведено розрахунок конструкції промислового трубчастого плівкового абсорбера для здійснення процесу сульфатування двокомпонентних сумішей органічних речовин продуктивністю 5 тис. т/рік поверхнево-активних речовин.

2. Розроблена нова апаратурно-технологічна схема енерго- та ресурсощадного відділення сульфатування органічних речовин виробництва ПАР на базі промислового трубчастого плівкового абсорбера, що дозволяє за рахунок підвищеного ступеня сульфатування на рівні 97,9 % зменшити витрату органічної речовини на 9,3 % мас., тобто з 0,779 до 0,7 т. на 1 т. готового продукту.

Таблиця 3 – Техніко-економічні та екологічні показники процесу сульфатування в каскаді реакторів з мішалками і запропонованому трубчастому плівковому абсорбері на 1 т ПАР

№ п/п	Найменування	Кількісні характеристики, кг	
		Каскад реакторів з мішалками	Трубчастий плівковий абсорбер
1	Витрата органічної речовини	779	700
2	Кількість газоподібних викидів органічних речовин при використанні ПАР	71,6	10,8
3	Витрати електроенергії	85,2 кВт·год	–

Література

1. Аналіз ринку побутової хімії в Україні. 2021 рік. URL : <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-bytovoij-himii-v-ukraine-2021-god>.

2. Аналіз ринку рідкої побутової хімії в Україні. 2022 рік. URL : <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-zhidkoj-bytovoj-himii-v-ukraine-2022-god>.
3. Дзевочко О.М., Подустов М.О. Дослідження процесу сульфатування органічних речовин газоподібним триоксидом сірки. Інтегровані технології та енергозбереження. Харків : НТУ «ХПІ». 2018. № 2. С. 50–55.
4. Dabir B. Riazi M. R., Davoudirad H. R. Modelling of Falling Film Reactors. Chem. Engng. Sci. 1996. No. 51. P. 2553–2558.
5. Talens F.L. The modeling of falling film chemical reactor. Chem. Eng. Sci. 1999. Vol. 54, No. 12. PP. 1871–1881.
6. Akanksha P., Pant K.K., Srivastava V.K. Modelling of sulphanation of tridecylbenzene in a falling film reactor. Math. Comp. Model. 2007. Vol. 46, No. 9–10. P. 1332–1344.
7. Roberts D.W. Optimization of linear alkyl benzene sulfonation process for surfactant manufacture. Org. Process Res. Dev. 2003. Vol. 7, P. 172–184.
8. Federico I. Talens-Alesson. The modelling of falling film chemical reactors. Chem. Engng. Sci. 1999. Vol. 54. P. 1871–1881.
9. Дзевочко О.М., Подустов М.О., Дзевочко А.І. Дослідження теплових і масообмінних процесів в газорідних плівкових абсорберах у технології поверхнево-активних речовин. Інтегровані технології та енергозбереження. 2021. № 3. С. 3–16.
10. Norman C. Foster PhD., P.E. Sulfonation and Sulfation. The Chemithon Corporation. 2009. 27 p.
11. Gutierrez G.Y., Mans T.C. Improved mathematical model for a falling film sul-fonation reactor. Ind. Eng. Chem. Res. 1988. Vol. 27, No. 9. P. 1701–1707.
12. Остапчук М.В., Рибак А.І. Системи технологій (за видами діяльності). Навчальний посібник. Київ : ЦУП. 2003. 888 с.

Bibliography (transliterated)

1. Analiz rynku pobutovoi khimii v Ukraini. 2021 rik. URL : <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-bytovoj-himii-v-ukraine-2021-god>.
2. Analiz rynku ridkoi pobutovoi khimii v Ukraini. 2022 rik. URL : <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-zhidkoj-bytovoj-himii-v-ukraine-2022-god>.
3. Dzevochko O.M., Podustov M.O. Doslidzhennia protsesu sulfatuvannia orhanichnykh rehovyn hazopodibnym tryoksydom sirky. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kharkiv : NTU KhPI. 2018. № 2. P. 50–55.
4. Dabir B. Riazi M. R., Davoudirad H. R. Modelling of Falling Film Reactors. Chem. Engng. Sci. 1996. No. 51. P. 2553–2558.
5. Talens F.L. The modeling of falling film chemical reactor. Chem. Eng. Sci. 1999. Vol. 54, No. 12. P. 1871–1881.

6. Akanksha P., Pant K.K., Srivastava V.K. Modelling of sulphanation of tridecylbenzene in a falling film reactor. *Math. Comp. Model.* 2007. Vol. 46, No. 9–10. P. 1332–1344.
7. Roberts D.W. Optimization of linear alkyl benzene sulfonation process for surfactant manufacture. *Org. Process Res. Dev.* 2003. Vol. 7, P. 172–184.
8. Federico I. Talens-Alesson. The modelling of falling film chemical reactors. *Chem. Engng. Sci.* 1999. Vol. 54. P. 1871–1881.
9. Dzevochko O.M., Podustov M.O., Dzevochko A.I. Doslidzhennia teplovykh i masoobminnykh protsesiv v hazoridnykh plivkovykh absorberakh u tekhnologii poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn. *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia.* Kharkiv : NTU KhPI. 2021. № 3. P. 3–16.
10. Norman C. Foster PhD., P.E. Sulfonation and Sulfation. The Chemithon Corporation. 2009. 27 p.
11. Gutierrez G.Y., Mans T.C. Improved mathematical model for a falling film sul-fonation reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1988. Vol. 27, No. 9. P. 1701–1707.
12. Ostapchuk M.V., Rybak A.I. *Systemy tekhnologii (za vydamy diialnosti).* Navchalnyi posibnyk. Kyiv : TsUP. 2003. 888 p.

УДК 661.185 : 66.02

Дзевочко О.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.О., д. техн. наук, професор,
Дзевочко А.І., к. техн. наук

РОЗРОБКА НОВОЇ АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

В статті наведено, що поверхнево-активні речовини на основі вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ знаходять основне використання в широкому спектрі засобів особистої гігієни, таких як шампуні, піноутворювачі для ван, зубні пасти, рідина для миття посуду, делікатні засоби для прання білизни. Використання ПАР на основі суміші вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ та моноетаноламідів вищих жирних кислот кокосової олії дає можливість значно покращити якісні характеристики засобів особистої гігієни.

Наведено, що сновним елементом апаратно-технологічної схеми процесу сульфатування сумішей органічних речовин є трубчастий плівковий абсорбер.

Показано, що для сульфатування двохкомпонентних сумішей органічних речовин на основі вищих спиртів фр. $C_{12} - C_{14}$ та моноетаноламідів вищих жирних кислот кокосової олії необхідно використовувати трубчастий плівковий абсорбер, який має двоступінчасте охолодження – верхня частина 1/3 довжини абсорбера, нижня частина 2/3 довжини абсорбера. Швидкість газоповітряного потоку підтримується на рівні $V_{\Gamma} = 20$ м/с, мольне співвідношення реагентів 1,08 : 1,0 концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці – 3,7 % об., температура вихідних реагентів: рідинної фази – 313 К, газоповітряного потоку – 303 К, охолоджувальної води – 293 К. Виходячи з таких

початкових даних був розрахований промисловий трубчастий абсорбер. Наведені дані такого розрахунку.

Наведено, що розрахунок промислового трубчастого плівкового абсорбера проводився згідно з розробленим алгоритмом та програмою на мові MatLab, в програмі використано ітераційний метод розрахунку.

Наведено розрахунок кількості труб промислового абсорбера.

Показано, що абсорбер складається з таких основних елементів – верхньої еліптичної кришки, розподільчої плити газоповітряного потоку, камери для розподілу суміші органічних речовин, плівкоутворювачів, двох камер охолодження, нижньої еліптичної кришки.

Наведено, що на основі промислового трубчастого плівкового абсорбера розроблена та приведена нова апаратурно-технологічна схема.

Наведено основні техніко-економічні та екологічні показники від впровадження такої апаратурно-технологічної схеми.

Ключові слова: апаратурно-технологічна схема, сульфатування, суміш органічних речовин.

Дзевочко А.М., к.техн.наук, доцент, Подустов М.А, д.техн.наук, професор,
Дзевочко А.И., к.техн.наук.

РАЗРАБОТКА НОВОГО АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СХЕМЫ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТИРОВАНИЯ СМЕСЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В статье указано, что поверхностно-активные вещества на основе высших спиртов фр. $C_{12} - C_{14}$ находят основное использование в широком спектре средств личной гигиены, таких как шампуни, пенообразователи для ванн, зубные пасты, жидкость для мытья посуды, деликатные средства для стирки белья. Использование ПАВ на основе смеси высших спиртов фр. $C_{12} - C_{14}$ и моноэтаноламидов высших жирных кислот кокосового масла дает возможность существенно улучшить качественные характеристики средств личной гигиены.

Приведено, что основным элементом аппаратно-технологической схемы процесса сульфатирования смесей органических веществ является трубчатый пленочный абсорбер.

Показано, что для сульфирования двухкомпонентных смесей органических веществ на основе высших спиртов фр. $C_{12} - C_{14}$ и моноэтаноламидов высших жирных кислот кокосового масла необходимо использовать трубчатый пленочный абсорбер, имеющий двухступенчатое охлаждение – верхняя часть 1/3 длины абсорбера, нижняя часть 2/3 длины абсорбера. Скорость газовой воздушного потока поддерживается на уровне $V_{г} = 20$ м/с, мольное соотношение реагентов 1,08:1,0 концентрация триоксида серы в газовой воздушном потоке – 3,7% об. температура исходных реагентов: жидкой фазы – 313 К, газовой воздушного потока – 303 К, охлаждающей воды – 293 К. Исходя из таких исходных данных был рассчитан промышленный трубчатый абсорбер. Представлены данные такого расчета.

Приведено, что расчет промышленного трубчатого пленочного абсорбера производился согласно разработанному алгоритму и программе на языке MatLab, в программе использован итерационный метод расчета.

Представлен расчет количества труб промышленного абсорбера.

Показано, что абсорбер состоит из следующих основных элементов – верхней эллиптической крышки, распределительной плиты газовоздушного потока, камеры для распределения смеси органических веществ, пленкообразователей, двух камер охлаждения, нижней эллиптической крышки.

Представлено, что на основе промышленного трубчатого пленочного абсорбера разработана и приведена новая аппаратурно-технологическая схема.

Приведены основные технико-экономические и экологические показатели внедрения такой аппаратурно-технологической схемы.

Ключевые слова: аппаратурно-технологическая схема, сульфатирование, смесь органических веществ.

Dzevochko O., Podustov M., Dzevochko A.

DESIGNING OF A NEW HARDWARE AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE PROCESS OF ORGANIC SUBSTANCES MIXTURES SULPHING

The article states that surfactants based on higher alcohols fr. $C_{12} - C_{14}$ are mainly used in a wide range of personal hygiene products, such as shampoos, foaming agents for baths, toothpastes, dishwashing liquid, and delicate laundry detergents. The use of surfactants based on a mixture of higher alcohols fr. $C_{12} - C_{14}$ and monoethanolamides of higher fatty acids of coconut oil makes it possible to significantly improve the quality characteristics of personal hygiene products.

It is stated that the main element of the apparatus and technological scheme of the sulfation process of mixtures of organic substances is a tubular film absorber.

It is shown that for the sulfation of two-component mixtures of organic substances based on higher alcohols fr. $C_{12} - C_{14}$ and monoethanolamides of higher fatty acids of coconut oil must use a tubular film absorber, which has two-stage cooling - the upper part 1/3 of the length of the absorber, the lower part 2/3 of the length of the absorber. The speed of the gas-air flow is maintained at $V_g = 20$ m/s, the molar ratio of reagents is 1.08 : 1.0, the concentration of sulfur trioxide in the gas-air flow is 3.7% vol., the temperature of the initial reactants: liquid phase is 313 K, gas-air flow is 303 K, cooling water - 293 K. Based on such initial data, an industrial tubular absorber was calculated. The data of such a calculation are given.

It is stated that the calculation of the industrial tubular film absorber was carried out according to the developed algorithm and program in the MatLab language, the iterative method of calculation was used in the program.

The calculation of the number of pipes of an industrial absorber is given.

It is shown that the absorber consists of the following main elements - an upper elliptical cover, a gas-air flow distribution plate, a chamber for distributing a mixture of organic substances, film formers, two cooling chambers, and a lower elliptical cover.

It is stated that on the basis of an industrial tubular film absorber, a new equipment and technological scheme has been designed and presented.

The main technical, economic and environmental indicators of the implementation of such a hardware and technological scheme are presented.

Keywords: equipment and technological scheme, sulfation, mixture of organic substances.