**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімії**

|  |
| --- |
| **Кваліфікаційна робота** |
| **магістра** |

на тему

«Дослідження властивостей багатокомпонентних систем ПАР різної природи»

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Виконав: | студент | 2 | курсу, групи | 8.1022 |
| спеціальності  | 102 «Хімія» |
| освітньо-професійної програми «Хімія» |
| Федюк В.М. |
|  |
| Керівник | канд. біол. наук, доцент Корнет М.М,  |
|  |  |
| Рецензент | зав. каф., проф., д-р біол. наук Бражко О.А. |

Запоріжжя

2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

|  |
| --- |
| Біологічний факультет |
| Кафедра хімії |
| Рівень вищої освіти магістерський |
| Спеціальність 102 «Хімія» |
| Освітньо-професійна програма «Хімія»  |

|  |  |
| --- | --- |
| **ЗАТВЕРДЖУЮ** |  |
| Завідувач кафедри хімії, д-р. біол. наук, проф.  |
| О.А. Бражко  |
| «17» |  | \_\_\_жовтня\_\_ | \_\_2022\_\_року |

|  |
| --- |
| **ЗАВДАННЯ**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ) |
| Федюк Віктор Михайлович |
| (прізвище, ім’я, по-батькові) |
| 1. Тема роботи | Дослідження властивостей багатокомпонентних систем ПАР різної природи |
| керівник роботи | Корнет Марина Миколаївна, канд.біол.наук, доцент (прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) |
| затверджена наказом ЗНУ від | « | 01 | » | \_травня\_ | 2023 р. | № | 644-с |
| 2. Строк подання студентом роботи | «17» жовтня 2023 року |
| 3. Вихідні дані до роботи | Огляд наукової літератури з питань використання ПАР у мийних засобах та прогнозування властивостей їх сумішей. |
| 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно |
| розробити): |  |
| У роботі мають бути розглянуті наступні питання: |
| Розгляд властивостей найпоширеніших ПАР, методи визначення мийної здатності, дослідити залежність мийної здатності від концентрації окремих ПАР та їх сумішей, прогноз найбільш ефективної комбінації та її експериментальна перевірка  |
| 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 11 таблиць, 11 рисунків |

6. Консультанти розділів роботи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ім’я, по-батькові та посада консультанта | Підпис, дата |
| завдання видав | завдання прийняв |
| 4 | Перетятько В.В., к.пед.н., доцент | Жовтень 2022 | Травень 2023 |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_17 жовтня 2022\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітки |
| 1. | Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи | жовтень − грудень 2022 | Виконано |
| 2. | Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи | січень – лютий 2023 | Виконано |
| 3. | Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи | квітень − березень 2023 | Виконано |
| 4. | Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту (таблиці, рисунки). Написання відповідного розділу роботи | травень, червень, вересень 2023 | Виконано |
| 5. | Оформлення кваліфікаційної роботи.Передзахист роботи | жовтень − грудень 2023 | Виконано |
| 6. | Рецензування кваліфікаційної роботи | грудень 2023 | Виконано |
| 7. | Захист кваліфікаційної роботи | грудень 2023 | Виконано |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент (-ка) |  |  |  | В.М. Федюк |
| Керівник роботи |  |  |  | М.М. Корнет |
| **Нормоконтроль пройдено** |
| Нормоконтролер |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  |

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Дослідження властивостей багатокомпонентних систем ПАР різної природи»: 51 ст., 11 рис., 11 табл., 50 використаних літературних джерел.

Об’єкт дослідження – багатокомпонентні суміші ПАР різної природи

Предмет дослідження – мийна здатність. поверхневий натяг, критична концентрація міцелоутворення.

Мета кваліфікаційної магістерської роботи – Встановлення закономірностей зміни мийної здатності багатокомпонентних систем ПАР в залежності від їх фізико-хімічних властивостей.

Методи дослідження:

вимірювання фізико-хімічних властивостей та мийної здатності, статистична обробка.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню властивостей багатокомпонентних систем поверхнево-активних речовин. Для досліджень було обрано найбільш поширені на вітчизняному ринку поверхнево-активні речовини, що використовуються у виробництві мийних засобів. Оскільки основним критерієм ефективності мийних засобів є мийна здатність, то побудова моделей здатних її прогнозувати в залежності від складу сумішей ПАР є актуальною задачею, вирішення якої здатне значно скоротити час та вартість розробки ефективних засобів.

В роботі досліджено концентраційні залежності мийної здатності для ряду ПАР та обґрунтовано їх співвідношення у багатокомпонентних сумішах.

ПАР, МИЙНА ЗДАТНІСТЬ, БАГАТОКОМПОНЕНТНІ СИСТЕМИ. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ABSTRACT

Qualifying master's thesis on topic "Investigation of properties of multicomponent mixtures of surfactants of various nature": consist of 3 parts, 51 pages, including 11 figures, 11 tables, 50 used literary sources.

The object of the study is multicomponent mixtures of surfactants of different nature

The subject of the study is washing ability. surface tension, critical concentration of micelle formation.

The purpose of the qualifying master's thesis is to establish the regularities of changes in the detergency of multicomponent systems of surfactants depending on their physical and chemical properties.

Research methods:

measurement of physico-chemical properties and washing ability, statistical processing.

The qualification work is devoted to the study of the properties of multicomponent systems of surface-active substances. The most common surface-active substances used in the production of detergents on the domestic market were selected for research. Since the main criterion for the effectiveness of detergents is detergency, the construction of models capable of predicting it depending on the composition of surfactant mixtures is an urgent task, the solution of which can significantly reduce the time and cost of developing effective washing agents.

Concentration dependences of detergency for a number of surfactants and their mixtures were studied and optimal ratio for multicomponent mixtures was propoused.

SURFACTANT, DETERGENCY, MULTI-COMPONENT SYSTEMS. PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES.

ЗМІСТ

[РЕФЕРАТ 4](#_Toc153242065)

[ABSTRACT 5](#_Toc153242066)

[ЗМІСТ 6](#_Toc153242067)

[ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 8](#_Toc153242068)

[ВСТУП 9](#_Toc153242069)

[ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ 12](#_Toc153242070)

[1.1 Класифікація поверхнево-активних речовин 12](#_Toc153242071)

[1.1.1 Аніонні ПАР 12](#_Toc153242072)

[1.1.2 Неіоногенні ПАР 15](#_Toc153242073)

[1.1.3 Катіонні ПАР 16](#_Toc153242074)

[1.1.4 Амфотерні ПАР 18](#_Toc153242075)

[1.2 Властивості повверхнево-активних речовин 19](#_Toc153242076)

[1.2.1 Гідрофільно-ліпофільний баланс 19](#_Toc153242077)

[1.2.3 Критична концентрація міцелоутворення 20](#_Toc153242078)

[1.2.4 Мийна здатність як основний показник ефективності детергентів 22](#_Toc153242079)

[МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 24](#_Toc153242080)

[2.1 Використовані матеріали 24](#_Toc153242081)

[2.2 Визначення мийної здатності за ДСТУ 2665 25](#_Toc153242082)

[ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 28](#_Toc153242083)

[ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 38](#_Toc153242084)

[4.1 Вступ 38](#_Toc153242085)

[4.2 Основні вимоги до безпеки під час роботи в лабораторії 38](#_Toc153242086)

[ВИСНОВКИ 43](#_Toc153242087)

[ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ 44](#_Toc153242088)

[ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 45](#_Toc153242089)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПАР – поверхнево-активні речовини

АПАР – аніонні поверхнево-активні речовини

КПАР – катіонні поверхнево-активні речовини

ЧАС – четвертинні амонієві солі

ГЛБ – гідрофільно-ліпофільний баланс

ККМ – критична концентрація міцелоутворення

INCI – International Nomenclature of Cosmetic Ingredients(Міжнародна номенклатура косметичних інгредієнтів)

SLES – Sodium Laureth Sulfates

ДСТУ – Державний стандарт України

ВСТУП

Сучасний етап розвитку науки і техніки визначається стрімким розширенням обсягу наукових досліджень у різних галузях, зокрема в хімії. Однією з актуальних та важливих галузей цього напряму є дослідження властивостей багатокомпонентних систем, зокрема сумішей поверхнево-активних речовин, які мають різну природу.

Поверхнево активні речовини (ПАР) широко застосовуються у різних галузях промисловості: для виробництва миючих засобів, фарб, паперу, засобів для догляду за шкірою, у виробництві текстильних виробів та інш. [[1](#_ENREF_1)]. Поверхнево-активні речовини проявляють змочувальну, емульгуючу, розчинюючу, антистатичну, антисептичну дію [[2](#_ENREF_2)], антикорозійну [[3](#_ENREF_3)], впливають на в'язкість рідких середовищ, сприяють утворенню або зменшенню піни і мають ряд цілий ряд інших властивостей, які дозволяють використовувати їх у якості диспергаторів, дефлокулянтів, змочувачів, гідроторопів, стабілізаторів, піноутворювачів та піногасників.. Ці речовини характеризуються високою поверхневою активністю і не призводять до погіршення якісних показників оброблюваних продуктів [[3](#_ENREF_3)]. Такі продукти застосовуються у виробництві органічних барвників, використовуються в якості текстильно-допоміжних речовин, для стабілізації латексів, для зниження гігроскопічності мінеральних добрив, в будівельній індустрії як компоненти пластифікуючих добавок та інше.

Останніми роками вивчення змішаних систем поверхнево-активних речовин ведеться доволі інтенсивно. Це пов’язано з тим, що при використанні сумішей ПАР на практиці виявляється зміна багатьох колоїдно-хімічних властивостей (зниження поверхневого і міжфазного натягу, поліпшення змочування, солюбилізації, піноутворення та інших.). Синергетична дія ПАР у подвійних та потрійних сумішах ПАР цікава з точки зору створення різних композицій з покращеними споживчими характеристиками та заданими властивостями, зокрема – піномийних та чистящих засобів.

У літературі переважно описано поведінку бінарних сумішей традиційних ПАР. При виробництві косметичних і побутових засобів дедалі частіше використовують екологічно безпечні ПАР, що піддаються біорозкладу. Прикладами ПАР, одержуваних з відновлюваної природної сировини, є неіоногенні ПАР типу алкілполіглюкозидів та етоксилатів жирних спиртів. Додавання таких ПАР до аніонних ПАР здатна знизити подразнюючу дію системи по відношенню до слизової оболонки очей і шкіри та покращує показники суміш за рядом властивостей. Бінарні та потрійні суміші, що містять алкілполіглюкозиди та етоксильовані спирти, вивчені недостатньо, що робить актуальним подальше дослідження комбінованих систем з використанням різних експериментальних методів та теорій.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи: є встановлення закономірностей зміни мийної здатності багатокомпонентних систем ПАР в залежності від їх фізико-хімічних властивостей.

Методи дослідження: вимірювання фізико-хімічних властивостей та мийної здатності, статистична обробка.

Завдання кваліфікаційної магістерської роботи:

1. Визначення мийної здатності окремих ПАР в залежності від концентрації;
2. Аналіз отриманих залежностей та визначення оптимальних концентрацій;
3. Перевірка ефективності прогнозованих рецептур.

Робота присвячена дослідженню властивостей багатокомпонентних систем поверхнево-активних речовин. Для досліджень було обрано найбільш поширені на вітчизняному ринку поверхнево-активні речовини, що використовуються у виробництві мийних засобів. Об’єктами дослідження стали: Spolapon 247 (INCI: Laureth-7, C12-C14 алкіл7EO), Spolapon 242/70 (Sodium Laureth Sulfates (SLES)) C12-C14 алкілетерсульфат 2EO, Glukopon 650 (Caprylyl & Decyl & Lauryl Glucoside) C8-C14 алкілполіглюкозид. Оскільки основним критерієм ефективності мийних засобів згідно ДСТУ 2972 є мийна здатність, то побудова моделей здатних її прогнозувати в залежності від складу сумішей ПАР є актуальною задачею, вирішення якої здатне значно скоротити час та вартість розробки ефективних засобів.

Результати подібних досліджень у науковій літературі практично відсутні, що може бути пов’язано з тим, що у більшості випадків їх пов’язують з комерційною таємницею та не публікують у відкритий доступ.

Систематичне дослідження мийної здатності є часо та ресурсо затратно тому зазвичай цим займаються доволі крупні комерційні компанії, що або патентують отримані результаті у вигляді рецептуру або зберігають у секреті.

ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Поверхнево-активні речовини - хімічні речовини, які знижують поверхневий натяг рідини, полегшуючи розтікання, у тому числі знижуючи поверхневий натяг на межі двох рідин [[4](#_ENREF_4)].

В принципі, будь-яка речовинa, яка знижує поверхнeвий натяг, є поверхнево-aктивною, але термін ПAР відноситься до речовин з певними властивостями, структурою та aдсорбційною здатністю. Першою відомою людству поверхнево-активною речовиною було мило, перші відомості про його виготовлення датуються 2200 до н.е. [[5](#_ENREF_5)].

Поверхнево-активні речовини знаходять застосування у багатьох галузях промисловості, а також у побуті. Ряд поверхнево-активних речовин проявляють антикорозійні властивості [[3](#_ENREF_3)].

## 1.1 Класифікація поверхнево-активних речовин

Існує кілька класифікацій поверхнево-активних речовин, найбільш поширеною є класифікація по продуктам дисоціації. Таким чином їх розподіляють на: аніонні, катіонні, неіоногенні, амфотерні [[6](#_ENREF_6)]. За іншою класифікацією ПАР розподіляють за рівнем гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) на піногасники, емульгатори, гідротропи. Згідно походженню паворхнево-активні речовини поділяють на синтетичні [[7](#_ENREF_7)], натуральні [[8-10](#_ENREF_8)], мікробні [[11](#_ENREF_11),[12](#_ENREF_12)].

## 1.1.1 Аніонні ПАР

Аніонні поверхнево-aктивні речовини (АПАР) — амфіфільні органічні сполуки, які дисоціюють у вoді з утворенням аніонів з довгими вуглеводневими групами — поверхнево-активних носіїв, кaтіони поверхнево-активними не є. Основні АПАР включають:

- Мило RCCONa, RCOOK;

-Алкілсульфати та алкілфосфати ROSO3Me, ROPO3Me2;

- Алкіларилсульфонати (найпоширенішим є алкілбензолсульфонат RC6H4SO3Me);

- Алкілсульфонати та алкілфосфонати RSO3Me, RPO3Me2;

- Алкілсульфосукцинат **1.1**

1.1

- Алкіл-етоксисульфати **1.2** та алкіл-етоксифосфати**1.3**

1.2

1.3

Аніонні ПАР викoристовуються як зволожувачі, миючі та піноутворювачі [[13](#_ENREF_13)]. Вони є найбільш різноманітними основними міцелоутворюючими ПАР. АПАР нaйбільш активно проявляють свої властивості в лужному середовищі, хоча їх можна використовувaти в кислому середовищі, наприклад, при обробці металів кислотами для видалення оксидних плівок.

Полярні групи можуть мiститися не тільки на кінцях вуглеводневих ланцюгів. Крім того, молекула мoже містити інші полярні групи, які збільшують амфіфільність молекули. До цих груп належaть сульфаніламід-OSO2NH2, простий етер -С-О-С- та естер -СОО-.

Найбільш широко використовуваними аніонними ПАР є сполуки, що містять від 10 до 20 атомів вуглецю в алкільному радикалі. Якщо аліфатичний ланцюг містить бензольне кільце як замісник, то мінімальнa кількість атомів вуглецю зменшується до 8-14. Аніонактивні ПАР за обсягом виробництва є найбільш поширеними серед усіх вироблених поверхнево-активних речовин, а серед аніонних лідируючі позиції займають алкілбензолсульфанати та лауретсульфати.

У якості катіону АПАР можуть мати іони натрію, калію, амонію, моно-, ди-, три-, етанол аміни у катіонній формі. Крім перерахованих вище поверхнево-активних речовин, широко використовуються також і нші сульфітовані похідні карбонових кислот. Наприклад сульфоетаноламіди **1.4**, **1.5**

1.4

1.5

## 1.1.2 Неіоногенні ПАР

Неіоногенні ПАР - це сполуки, які не дисоціюють при розчиненні та на утворюють іонів.

До них належать:

- Оксиалкільовaні первинні та вторинні жирні спирти;

- Поліетиленгліколеві ефіри;

-Оксиалкільовані алкілфеноли;

- алкілгліцериди, алкілглікозиди, та інш.

Неіоногенні ПАР проявляють високу мийну здатність як у м’якій так і жорсткій воді. Їх властивості можна регулювати зміною довжини вуглецевого ланцюгу та ступенем етоксолювання. Можливість регулювати їх властивості та здатність до біорозкладу зумовлюють їх широке виробництво і використання.

Гідрофільні групи неіоногенних поверхнево-активних речовин:

• Етиленоксид -ОСН2СН2-,

• Етаноламін **1.6**

1.6

• Діетаноламін **1.7**

1.7

та інш.

Неіоногенні ПАР на основі етиленоксиду мають загaльну формулу **1.8**:

1.8

де R - алкіл, X - атом кисню, азоту, сірки або фрагмент функціональної групи: карбоксильної -COO- , амідної -CONH-, фенольної - C6H4O- та ін.

Залежно від будови гідрoфобної чaстини молекули, тобто в залежності від того, які вихідні речовини слугують основою - протонодонорами для оксиетилювання, неіоногенні ПАР ділять на 11 груп (див. таблицю 1.1).

## 1.1.3 Катіонні ПАР

Катіонні поверхнево-активні речовини (КПАР) - це дифільні органічні сполуки, які, диcоціюючись в воді, утворюють поверхнево-активний катіон; аніон при цьому не є поверхнево-активним [[14](#_ENREF_14)].

Перше катіонний ПАР було отримано в 1927 р [[14](#_ENREF_14)]. Це були ациламіноетилтріалкіламланієві солі (Sapamines). У 1934 р. було відкрито дезінфікуючі властивості катіонних ПАР, що призвело до розробки алкілдиметилбензиламмониевых солей, що випускаються під торговою маркою Zephirol (I.G. Farbenindustrie) [[4](#_ENREF_4)].

Спільним для всіх цих матеріалів є наявність позитивно зарядженого азоту. Аміни у кислому середовищі, можуть бути позитивно зарядженими у вигляді амонієві катіонів, проте істинним катіонним речовинам не потрібно протонування для придбання позитивного заряду [[15](#_ENREF_15)]. Найбільш важливими катіонними сполуками для використання як ПАР є четвертинні сполуки азоту, хоча сульфонієві і фосфонієві сполуки також істинно четвертинні, в них, подібно до атома азоту, є пара електронів у атомів фосфору і сірки, приєднані до алкільної групи. Аніони в цих сполуках не мають поверхневої активності.

 До катіонних ПАР належать:

– Аліфатичні та ароматичні первинні, вторинні та третинні аміни та їхні солі.

- Четвертинні амонієві солі (ЧАС), включаючи солі піридинових основ.

– Оксиди третинних амідів.

Солі ЧАС і піридинових основ розчиняються здатні розчинятись як у кислому, так і в лужному середовищі.

КПАР використовують як інгібітори корозії, флотаційні агенти, фунгіциди, дезінфікуючі засіби.

Таблиця 1.1.

Оксиетильовані продукти

|  |  |
| --- | --- |
| Формулa ПАР | Назвa класу |
|  | Оксиетильовані (оксиалкіловані) спирти |
|  | Оксиетильовані (оксиалкіловані) алкіл карбонові кислоти |
|  | Оксиетильовані (оксиалкіловані) алкілфеноли |
|  | Оксиетильовані (оксиалкіловані) алкіламіни |
|  | Оксиетильовані (оксиалкіловані) алкілоламіди алкіл карбонових кислот |

## 1.1.4 Амфотерні ПАР

Амфотерні ПАР - це сполуки, що містять у складі молекули обидва типи груп: кислотні (найчастіше карбоксильні) і основні (зазвичай аміногрупи з різним ступенем заміщення).

Залежно від рН середовища можуть проявляти влaстивості катіонних (рН <4), неіоногенних (4 - 9), аніонних (рН> 9) ПАР.

 Найбільш поширеними є:

а) Алкіламінокарбонові кислоти,

б) Бетаїни: Алкілбетаїни, сульфобетаїни, бетаїнфосфати, амідобетаїни, оксиетильовані бетаїни.

Промислове значення мають амфотери похідних амінокислот, карбоксибетаїнового та імідазолінового рядів [[16](#_ENREF_16)].

Оскільки молекули амфотерних ПАР мають кислотні та основні групи, їх властивості подібні до властивостей сумішей кaтіонних і неіоногенних ПАР, а також аніонних і неіоногенних ПАР[[17-19](#_ENREF_17)].

Це поєднання поверхнево-активних властивостей молекул різних класів ПАР в одній молекулі aмфолітних ПАР дозволяє підвищити ефективність дії миючих засобів.

Наприклад, миюча здатність бетаїну і сульфобетаїну відповідає композиції оксиетильованих алканолів і неорганічних фосфатів.

Амфотерні ПАР пом'якшують тканини і волосся, мають антистатичний ефект, можуть ефективно діяти в жорсткій і холодній воді.

Амфотерні ПАР легко поєднуються з усіма видами поверхнево-активних речовин і мають хорошу піноутворювальну здатність, бактерицидну дію.

## 1.2 Властивості повверхнево-активних речовин

Застосування ПАР в основному пов'язане з використанням водних розчинів, але в міру того як ПАР знаходять все нові і нові області застосування, деякі властивості водних розчинів поступово поширюються і на інші полярні розчинники і масла [[20](#_ENREF_20)]. Багато з них пов'язані з мікроемульсіями та зворотними мікроемульсіями, що розглядаються як спеціалізовані розчини [[17](#_ENREF_17)]. Серед основних характеристик поверхнево-активних речовин слід відмітити гідрофільно-ліпофільний баланс (ГЛБ) та критична концентрація міцелоутворення (ККМ).

Задля оцінки ефективності мийних засобів використовують параметр мийної здатності, який визначають у % відносно еталону.

## 1.2.1 Гідрофільно-ліпофільний баланс

Властивості колоїдних ПАР визначаються співвідношенням полярних функціональних груп (гідрофільна частина молекули) до вуглеводневих залишків (ліпофільна частина молекули) в молекулі.

Це співвідношення називається гідрофільно-ліпофільним балaнсом (ГЛБ).

Згідно зі шкалою, розробленою Гріффіном[[21](#_ENREF_21)], ГЛБ колоїдних ПАР коливається від 1 до 40 умовних одиниць [[22](#_ENREF_22)].

Чим краще поверхнево-активна речовина розчиняється у воді, тим вище значення ГЛБ. Те ж сaме вірно і навпаки. Чим нижче ГЛБ, тим краще речовина розчиняється в неполярних рідинах [[23](#_ENREF_23)].

Значення ГЛБ для кожної речовини можна визначити дослідним шляхом або розрахувати за спеціальними формулами.

ГЛБ є адитивним і його значення обчислюється як сума номерів груп: Кожна функціональна група має певне значення ГЛБ.

Отже, для групи --СООNa ГЛБ становить 19,1.

Для груп – ООН – 2,4, для -ОН груп – 1,9.

Значення ГЛБ вуглеводневого залишку збільшується на 0,475 для кожної -СН2 групи зі збільшенням його довжини.

Для розрахунку ГЛБ органічної речовини використовують таку формулу:

ГЛБПАР = 7 + ГЛБ (полярна група) – ГЛБ (радикал).

Область застосування ПАР визнaчається значенням ГЛБ.

Так, значення ГЛБ ПАР для змочувачів має становити 7-9, емульгаторів ‑ 3-5 або 8-13 (залежно від типу емульсії), детергентів - 13-15, солюбілізаторів – 15-18.

## 1.2.3 Критична концентрація міцелоутворення

Міцели утворюються, коли мономери поєднуються у відносно вузькому діапазоні концентрацій. Критична концентрація міцелоутворення (ККМ) — це концентрація поверхнево-активної речовини, при якій велика кількість міцел з’являється в розчині в термодинамічній рівновазі з молекулами (іонами)[[24](#_ENREF_24)]. Утворення міцел у розчині означає появу нової фази в розчині, що призводить до різкої зміни всіх фізико-хімічних властивостей системи [[25](#_ENREF_25),[26](#_ENREF_26)]. Усі методи визначення ККМ залежать від концентраційної залежності фізико-хімічних влaстивостей розчину ПАР (поверхневий натяг sg, каламутність r, молярна провідність I, осмоляльність n, показник заломлення n (рис.1.1) і базуються на реєстрації дробів до зображеної діаграми.

Одна гілка такої кривої відображає влaстивості системи в молекулярному стані, а інша — властивості системи в колоїдному стані.

Вважається, що точка розриву відповідає переходу молекули в міцелу, тобто відповідний СКК[[27](#_ENREF_27)].



Рис.1.1**Залежність фізико-хімічних величин від концентрації ПАР**

Поверхневу активність колоїдних ПАР можна приблизно оцінити через ККМ, наприклад, для неіоногенних .

У колоїдних ПАР граничні значення ст 0 - для границі розділу вода - повітря мало відрізняються і становлять близько 71,5 - 28 = = 43,5 мДж / м 2 . Значення ККМ розрізняються на 2-3 порядки, тому можна вважати, що поверхнева активність колоїдних ПАР обернено пропорційна ККМ.

Справжня розчинність, тобто рівноважна концентрація речовини, що знаходиться в водному розчині в молекулярній (або іонній) формі, для таких ПАР невелика і складає для йонoгенних ПАР соті або тисячні частки кмоль / м 3 , для неіоногенних ПАР може бути ще на один - два порядки нижче [[28](#_ENREF_28)]. Зазвичай справжня розчинність G1AB знаходиться в діапазоні концентрацій менше ІГ 6 --10 3 М. В такому ж діапазоні знaходиться область значень ККМ [[29](#_ENREF_29),[30](#_ENREF_30)].

При концентраціях ПАР у водному розчині, перевищує ККМ, утворюються сферичні агрегати - міцели Гартлі [[31](#_ENREF_31)]. Внутрішня частина міцел Гартлі складається з переплетених вуглеводневих радикалів, полярні групи молекул ПАР звернені у водне cередовище. Діаметр таких міцел дорівнює подвоєною довжині молекул ПАР [[32](#_ENREF_32),[33](#_ENREF_33)]. Число молекул в міцелі швидко зростає в межах вузького інтервалу концентрацій, при подальшому збільшенні концентрації практично не змінюється (збільшується число міцел)[[34-36](#_ENREF_34)].

Сферичні міцели можуть містити від 20 до 100 молекул і більш. Число молекул в міцелі називається числом агрегації: *т =* 20 -5- 100. Крім числа агрегації міцел характеризується міцелярної масою - сумою молекулярних мас молекул, що утворюють агрегат.

## 1.2.4 Мийна здатність як основний показник ефективності детергентів

У сучасному суспільстві, де збереження гігієни та чистоти є важливим аспектом життя не останню роль грають засоби для догляду за домом, одягом та шкірою [[37](#_ENREF_37)]. Наглядно людство відчуло це під час пандемії СOVID-19. Коли попит на мийні та дезинційкуючи засоби значно зріс. Тому розгляд мийної здатності детергентів, її підвищеня у межах собівартості стає надзвичайно важливим завданням [[9](#_ENREF_9)]. Мийність, або мийна здатність, є ключовою властивістю детергентів, визначаючи їхню здатність ефективно видаляти бруд, жири та інші забруднення з різних поверхонь [[38-41](#_ENREF_38)].

Для засобів для прання мийна здатність є ключовим показником якості. І хоча діючий стандарт визначення мийної здатності не можна назвати ідеальним, від грає значну роль при виборі того чи іншого мийного засобу [[42](#_ENREF_42)].

Мийна здатність може бути визначена як здатність детергенту видаляти забруднення [[43](#_ENREF_43)]. Незважаючи на те що людство використовує різноманітні детергенти досить давно, та існує купа досліджень впливу різних чинників на результати прання, однак досі не універсальної теорії, яка б могла з достатньою точністю прогнозувати мийну здатність різноманітних композицій детергентів [[44](#_ENREF_44)]. Причин цьому можна назвати багато, тим не менш у більшості випадків дослідження мийної здатності зводяться до виявлення емпіричних залежностей різних фізико-хімічних дескрипторів [[45](#_ENREF_45)]. Але дані моделі здатні адекватно описати поведінку лише вузького кола комбінацій поверхнево-активних речовин відносно окремих видів забруднення.

Загалом процес видалення забруднень розподіляють на три основні стадіії: змочування, адгезії та емульгації [[46](#_ENREF_46)]. Стосовно кожній стадіі існують методи оцінювання здатності до змочування, енергіі взаємоді з поверхнею та здатності утримувати забруднення у розчині [[47](#_ENREF_47)]. Однак досі не вдається спрогнозувати резьтат усього процесу в цілому. На даний процес впливає ціла купи факторів, дейкі з них можна стандартизувати до певного рівня, на деякі вплинути досіть важко [[48](#_ENREF_48)]. Результат прання залежить від температури, концентрації мийного засобу, модулю ванни (відношення кількості білизни до загального об'єму мийного розчину, якість нанесення забруднення, його “свіжість”, механічного впливу при пранні та інше.Тому при вивченні властивостей детергентів та їх мийної здатності має враховуватися ряд факторів, таких як тип поверхнево-активної речовини, концентрація детергенту, температура води та наявність інших хімічних речовин у середовищі.

Для об'єктивного визначення мийної здатності застосовуються різні методи, включаючи, але не обмежуючись, спектрофотометричні аналізи, методи вимірювання кута змочування та визначення поверхневого натягу. Ці методи дозволяють отримати кількісні показники мийної ефективності та порівнювати різні детергенти з точки зору їхнього впливу на забруднення.

На разі в Україне діє ДСТУ 2665 яке визначае метод визначення мийної здатності для засобів для прання. Метод являє собою моделювання процесу прання у лабораторній пральній машині, у порівнянні з еталонним засобом з викоритання штучного забруднення.

Мийність визначає ефективність детергентів у різних сферах застосування [[49](#_ENREF_49)]. У побуті, ефективні детергенти з високою мийною здатністю забезпечують чистоту побутових поверхонь та одягу. У промисловості, вони використовуються для очищення обладнання та виробничих поверхонь, забезпечуючи необхідний стандарт санітації та гігієни. Мийна здатність є одним з основних показників якості, які враховуються при проведенні тендерів та. Інше [[46](#_ENREF_46)].

Тому дослідження в галузі мийної здатності важливі для оптимізації формул детергентів, розробки нових продуктів та вдосконалення технологій очищення в різних галузях промисловості, та побуті.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1 Використовані матеріали

Для досліджень використовували комерційно доступні ПАР.

Етоксильований жирний спирт С 12-14, під торгівельною маркою Spolapon 247 виробництва ENASPOL (Чехія), Алкілполіглюкозид С8-С14, торгівельная назва Glucopon EC 650. виробництва BASF., аніонний ПАР, SLES, торгівельна назва Spolapon 242/70 виробництва Enaspol.

Для приготування штучного забрудння використовували наступне обладнная та матеріали:

Сажа – 10,0 г

Синтанол – 0,10 г

Кислота олеїнова – 96,0 г

Олія соняшникова або оливкова – 120,0 г

Масло вазелінове – 65,0 г

Казеїн технічний – 2,40 г

Водний розчин з масовою часткою аміаку 25%, см3

Посуд: ступка керамічна з пестиком, ваги аналітичні 2 класу точності Radwag AS220. магнітна мішалка Ріва 2, виробнцтва “укрорпіпетка пастера, стакан скляний 50 мл. стакан скляний 150 мл.

При визначенні мийної здатності умови прання забезпечували за допомогою Бані-шейкері MaxTurdy 45, виробництва Daihan scientific (Корея). Сканування забрудненої тканини до і після прання проводили за допомогою фотометра “Колір” виробництва ТОВ “Тригла” (Україна).

Статистичну обробку результатів та графичне представлення даних проводили за допомогою програмного забезпечення MS Excell.

## 2.2 Визначення мийної здатності за ДСТУ 2665

Випробування розчину засобу для випробування проводять паралельно з випробування розчину засобу порівняння одночасно на кожному виді забрудненої, відповідно до певного призначення, тканини за концентрації від 2,5 г/дм3 до 10,0 г/дм3 .

У бак лабораторної пральної машини наливають здистильовану до зазначеної позначки, встановлюють потрібну температуру на терморегуляторі і вмикають нагрівальну систему.

У кожну банку вміщують по п’ять фторопластових кульок масою (1,4 ± 0,2) г кожна в чотири банки наливають по 100 см3 розчину засобу для випробування, в інші чотири банки – по 100 г засобу порівняння і швидко один за одним опускають по чотири понумерованих і відфотометрованих зразки тканини. Початкова температура розчинів у банках перед пранням має становити (20 ± 2) оС. Банки, закріплені у гніздах ротора, закривають кришками, вмикають двигун і зазначають час початку прання за секундоміром. Тривалість прання (20 ± 1) хв.

Умови прання залежно від складу засобу та його призначення наведені в додатку Б. Для засобу, розрахованих на низькотемпературне прання, допускається зниження температури прання до 30оС.

Після закінчення прання відпрацьований розчин зливають, залишаючи зразки тканини у банках. Полоскання проводять у тих самих банках. Для цього у кожну банку наливають по 200 см3 води за температури (50 ± 2) оС, закривають кришками, встановлюють у гнізда ротора, вмикають мотор і проводять полоскання протягом 2 хв за температури води у пральній машині (50 ± 2) оС або вручну. Після закінчення полоскання мотор вимикають, банки відкривають, воду зливають.

Друге полоскання проводять у тих самих банках за температури води у банках і у банці пральної машини (25 ± 2) оС або у такій самій кількості водопровідної води в банках вручну. Тривалість полоскання становить 2 хв.

Зразки тканини після закінчення полоскання просушують на аркуші паперу і прасують праскою між двома аркушами фільтрувального паперу. Вимірюють коефіцієнти відбиття кожного зразка тканини на тих самих ділянках, що і до прання.

Умови прання (концентрація мийного розчину засобу для випробування, тривалість і температура прання замочування та прання) можуть бути іншими (з урахуванням способу застосування конкретного мийного засобу), що також має бути зафіксовано в протоколі випробування.

Мийну здатність засобу для випробування, Y, у відсотках обчислюють за формулою:

 (1)

Де XN – ступінь зняття забруднення засобу для випробування

XS – ступінь зняття забруднення засобом порівняння

 (2)

 (3)

де R1 – середнє арифметичне 16 вимірювань коефіцієнтів відбиття зразків певного виду тканини до прання

R2 – середнє арифметичне 16 вимірювань коефіцієнтів відбиття зразків певного виду тканини, що одержані після прання розчином засобу для прання (N) чи розчином засобу порівняння (S) у двох банках по 4 зразки в кожній

R3 – коефіцієнт відбиття вихідної (незабрудненої) тканини певного виду

За результат випробування приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних визначань, розбіжність між найбільше відмінними значеннями яких не перевищує значення допустимої розбіжності, що дорівнює ± 5,6%.

Границі допустимого значення сумарної похибки результати випробувань складають ± 4% за довірчої ймовірності Р=0,95.

 Готування забруднювачів: бавовняна платтяна та сорочкова, бязь бавовняна, платтяна з хімічних волокон

Сажа – 10,0 ± 0,5 г

Синтанол – 0,10 ± 0,02 г

Кислота олеїнова – 96,0 ± 0,5 г

Олія соняшникова або оливкова – 120,0 ± 0,5г

Масло вазелінове – 65,0 ± 0,5 г

Казеїн технічний – 2,40 ± 0,03 г

Водний розчин з масовою часткою аміаку 25%, см3 – 48,0 ± 1,0 г

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Діапазон досліджуваних концентрацій обирали з розрахунку та типовий вміст ПАР у мийних засобах. Від 0до 20 %.

Результати представляли у перерахунку вмісту ПАР на 10 л мийного розчину, (типовій об’єм основного циклу прання для більшості пральних машин, розрахованих на завантаження до 4,5 кг білизни. При побудові залежності мийної здатності від вмісту ПАР у мийному розчині, концентрації ПАР виражали у перерахунку на г активної речовини ПАР на цикл прання, тобто реальну наважку ПАР до пральної машини. Такий підхід дозволяє спростити тлумачення отриманих результатів оминаючи перерахунки дозування, та концентрації ПАР у мийному засобі.

Для побудови залежності мийної здатності багатокомпонентних систем використовували модель поетапної оптимізації, коли спочатку виявляли залежність мийної здатності від концентрації окремих ПАР, а лише потім переходили до двокомпонентних комбінацій.

у першому експерименті вивчали особливості поведінки неіоногенного ПАР Spolapon 247 виробництва Enaspol (Чехія).

Зазвичай у більшості комерційних рідких засобів для прання декларований вміст неіоногенних ПАР знаходиться у межах 1-5% тому, дозування сполапону до мйного розчину було підібрано таким чином, що у  перераунку на повний цикл прання дозування становило від 1 до 10 г.

Для полегшення дозування готували 10 % водний розчин сполапону, який ввже додавали до мийного розчину.

Табл. 3.1

Результати прання сполапону у дозуваннях від 1 до 10 г на цикл прання.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання |  | Коеф. зняття забруд. | **Мийна здатність** | Конц. г/цикл прання |
| Склад порівняння | 0,3022 | 0,3518 |  | 9,222759 | **100,0** |  |
| СП-100 | 0,3083 | 0,312 |  | 0,695881 | **7,5** | 1 |
| СП-200 | 0,3021 | 0,3268 |  | 4,591932 | **49,8** | 2 |
| СП-300 | 0,3083 | 0,3298 |  | 4,043634 | **43,8** | 3 |
| СП-400 | 0,3027 | 0,3266 |  | 4,448167 | **48,2** | 4 |
| СП-500 | 0,3075 | 0,339 |  | 5,915493 | **64,1** | 5 |
| СП-600 | 0,309 | 0,3425 |  | 6,308851 | **68,4** | 6 |
| СП-700 | 0,3057 | 0,3391 |  | 6,25117 | **67,8** | 7 |
| СП-800 | 0,3051 | 0,3342 |  | 5,440269 | **59,0** | 8 |
| СП-900 | 0,3111 | 0,3413 |  | 5,709964 | **61,9** | 9 |
| СП1000 | 0,3115 | 0,3461 |  | 6,546831 | **71,0** | 10 |



Рис. 3.1 Залежність мийної здатності розчинів сполапону 247 від концентрації



Рис. 3.2 Моделювання залежностей мийної здатності сполапону 247 у різних діапазонах концентрацій

Табл. 3.2

Результати прання сполапон 247 у дозуваннях від 1 до 10 г на цикл прання.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба | Коеф. відбиття чистої тканини | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Конц. г/цикл прання | Коеф. зняття забруд. | **Мийна здатність** |
| Склад порівняння | 0,84 | 0,3382 | 0,4139 | 0,3382 | 0,4139 | 15,08569 | 15,08569 | **100,0** |
| 1 | 0,84 | 0,3407 | 0,3802 | 0,3382 | 0,4139 | 7,911076 | 15,08569 | **52,4** |
| 2 | 0,84 | 0,3387 | 0,3837 | 0,3382 | 0,4139 | 8,976661 | 15,08569 | **59,5** |
| 3 | 0,84 | 0,3381 | 0,3934 | 0,3382 | 0,4139 | 11,01813 | 15,08569 | **73,0** |
| 4 | 0,84 | 0,3377 | 0,3853 | 0,3382 | 0,4139 | 9,476409 | 15,08569 | **62,8** |
| 5 | 0,84 | 0,3365 | 0,3878 | 0,3382 | 0,4139 | 10,18868 | 15,08569 | **67,5** |
| 6 | 0,84 | 0,3383 | 0,3922 | 0,3382 | 0,4139 | 10,74347 | 15,08569 | **71,2** |
| 7 | 0,84 | 0,337 | 0,3929 | 0,3382 | 0,4139 | 11,11332 | 15,08569 | **73,7** |
| 8 | 0,84 | 0,3363 | 0,3941 | 0,3382 | 0,4139 | 11,47508 | 15,08569 | **76,1** |
| 9 | 0,84 | 0,3362 | 0,4021 | 0,3382 | 0,4139 | 13,08059 | 15,08569 | **86,7** |
| 10 | 0,84 | 0,3371 | 0,3966 | 0,3382 | 0,4139 | 11,83138 | 15,08569 | **78,4** |

Табл. 3.3

Результати прання сполапон 247 у дозуваннях від 2 до 20 г на цикл прання.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Проба | Конц. г/цикл прання | Коеф. зняття забруд. | Мийна здатність |
| 1 | 2 | 7,911076 | 52,4 |
| 2 | 4 | 8,976661 | 59,5 |
| 3 | 6 | 11,01813 | 73 |
| 4 | 8 | 9,476409 | 62,8 |
| 5 | 10 | 10,18868 | 67,5 |
| 6 | 12 | 10,74347 | 71,2 |
| 7 | 14 | 11,11332 | 73,7 |
| 8 | 16 | 11,47508 | 76,1 |
| 9 | 18 | 13,08059 | 86,7 |
| 10 | 20 | 11,83138 | 78,4 |



Рис. 3.3 Залежність мийної здатності розчинів сполапону 247 від концентрації



Рис. 3.4 Суперпозиція результатів двох випробувань розчинів сполапону 247



Рис. 3.5 Усереднення коефіцієнту зняття забруднення еталону

Після другого прання у діапазоні концентрація від 1 до 20 с кроком у 2 г. було виявлено, суттєву різницю у результатах для схожих даних концентрації (див. Рис. 3.4). Причиною стала розбіжність у результаті прання засобом еталоном. При перерахунку результатів прання відносно одного й того ж коефіцієнта зняття забруднення дозволило побудувати об’єднаний графік залежності мийної здатності віз концентрації неіоногенного ПАР.

Табл. 3.4

Усереднення результатів двох випробувань

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Конц. г/цикл прання | Мийна здатність 1 прання | Мийна здатність 2 прання | Середнє значення |
| 1 | 7,5 |  | 7,5 |
| 2 | 49,8 | 52,4 | 51,1 |
| 3 | 43,8 |  | 43,8 |
| 4 | 48,2 | 59,5 | 53,9 |
| 5 | 64,1 |  | 64,1 |
| 6 | 68,4 | 73 | 70,7 |
| 7 | 67,8 |  | 67,8 |
| 8 | 59,0 | 62,8 | 60,9 |
| 9 | 61,9 |  | 61,9 |
| 10 | 71,0 | 67,5 | 69,3 |
| 12 |  | 71,2 | 71,2 |
| 14 |  | 73,7 | 73,7 |
| 16 |  | 76,1 | 76,1 |
| 18 |  | 86,7 | 86,7 |
| 20 |  | 78,4 | 78,4 |



Рис. 3.6 Моделювання залежностей мийної здатності сполапону 247 у різних діапазонах концентрацій (усередненні данні)

Наступним кроком схожим образом виявили залежність для SLES (табл. 3.5) та глюкопону.

Табл. 3.5

Результати прання SLES у дозуваннях від 1 до 10 г на цикл прання.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба | Коеф. відбиття чистої тканини | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання |  | Коеф. зняття забруд. | **Мийна здатність** |
| Склад порівняння | 0,84 | 0,327 | 0,4209 | 0,327 | 0,4209 |   | 18,3041 | **100,0** |
| Лаурет 0,100 | 0,84 | 0,3333 | 0,3961 | 0,327 | 0,4209 |   | 12,3939 | **67,7** |
| Лаурет 0,200 | 0,84 | 0,3359 | 0,4075 | 0,327 | 0,4209 |   | 14,2035 | **77,6** |
| Лаурет 0,300 | 0,84 | 0,333 | 0,4092 | 0,327 | 0,4209 |   | 15,0296 | **82,1** |
| Лаурет 0,400 | 0,84 | 0,3318 | 0,4175 | 0,327 | 0,4209 |   | 16,8634 | **92,1** |
| Лаурет 0,500 | 0,84 | 0,3302 | 0,4129 | 0,327 | 0,4209 |   | 16,222 | **88,6** |
| Лаурет 0,600 | 0,84 | 0,3274 | 0,4097 | 0,327 | 0,4209 |   | 16,0554 | **87,7** |
| Лаурет 0,700 | 0,84 | 0,3275 | 0,4096 | 0,327 | 0,4209 |   | 16,0195 | **87,5** |
| Лаурет 0,800 | 0,84 | 0,3292 | 0,4087 | 0,327 | 0,4209 |   | 15,5638 | **85,0** |
| Лаурет 0,900 | 0,84 | 0,3246 | 0,4123 | 0,327 | 0,4209 |   | 17,0159 | **93,0** |

Табл. 3.6

Перерахунок наважки у концентрацію г/ на цикл прання

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба л  | Маса на 100 мл | Мийна здатність | г/ на літр | г/ на цикл прання |
| 0,1 | 0,03 | 67,7 | 0,3 | 3 |
| 0,2 | 0,06 | 77,6 | 0,6 | 6 |
| 0,3 | 0,09 | 82,1 | 0,9 | 9 |
| 0,4 | 0,12 | 92,1 | 1,2 | 12 |
| 0,5 | 0,15 | 88,6 | 1,5 | 15 |
| 0,6 | 0,18 | 87,7 | 1,8 | 18 |
| 0,7 | 0,21 | 87,5 | 2,1 | 21 |
| 0,8 | 0,24 | 85 | 2,4 | 24 |
| 9 | 0,27 | 93 | 2,7 | 27 |



Рис. 3.7 Залежність мийної здатності розчинів SLES від концентрації

З отриманих результатів, представлених на рис. 3.6 випливає що ефективна концентрація неіоногенного пар типу лаурет-7 дорівнює 6 г на цикл прання. Тобто при збільшенні дозування мийна здатність зростає значно меншою мірою ніж у діапазоні від 0 до 6 г/цикл.

Схожа картина спостерігається і у випадку зі SLES (рис. 3.7), але там точкою зменшення ефективності виявилась концентрація у 12г 70 % SLES г на цикл прання

Наступним кроком у схожих умовах було протестовано розчин алкілполіглюзиу Glucopon 650ES



Рис. 3.8 Залежність мийної здатності розчинів Glucopon 650 від концентрації

Табл. 3.7

Результати прання Glucopon 650ES у дозуваннях від 1 до 10 г/цикл прання.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба | Коеф. відбиття чистої тканини | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. зняття забруд | **Мийна здатність** |
| Склад порівняння | 0,84 | 0,34 | 0,427 | 0,34 | 0,427 | 17,4 | **100,0** |
| Глюкапон 0,100 | 0,84 | 0,3428 | 0,3724 | 0,34 | 0,427 | 5,95334 | **34,2** |
| Глюкапон 0,200 | 0,84 | 0,3431 | 0,379 | 0,34 | 0,427 | 7,22479 | **41,5** |
| Глюкапон 0,300 | 0,84 | 0,3407 | 0,3791 | 0,34 | 0,427 | 7,69077 | **44,2** |
| Глюкапон 0,400 | 0,84 | 0,336 | 0,38 | 0,34 | 0,427 | 8,73016 | **50,2** |
| Глюкапон 0,500 | 0,84 | 0,3396 | 0,3817 | 0,34 | 0,427 | 8,41327 | **48,4** |
| Глюкапон 0,600 | 0,84 | 0,3342 | 0,3865 | 0,34 | 0,427 | 10,3401 | **59,4** |
| Глюкапон 0,700 | 0,84 | 0,3351 | 0,3793 | 0,34 | 0,427 | 8,75421 | **50,3** |
| Глюкапон 0,800 | 0,84 | 0,332 | 0,389 | 0,34 | 0,427 | 11,2205 | **64,5** |
| Глюкапон 0,900 | 0,84 | 0,3295 | 0,3889 | 0,34 | 0,427 | 11,6357 | **66,9** |
| Глюкапон 1000 | 0,84 | 0,337 | 0,3926 | 0,34 | 0,427 | 11,0537 | **63,5** |

Табл. 3.8

Перерахунок наважки у концентрацію г/ на цикл прання

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Проба | г / цикл прання | 100 |
| 0,01 | 1 | 34,2 |
| 0,02 | 2 | 41,5 |
| 0,03 | 3 | 44,2 |
| 0,04 | 4 | 50,2 |
| 0,05 | 5 | 48,4 |
| 0,06 | 6 | 59,4 |
| 0,07 | 7 | 50,3 |
| 0,08 | 8 | 64,5 |
| 0,09 | 9 | 66,9 |
| 0,1 | 10 | 63,5 |

У випадку с глюкопоном, мийна здатність підвищувалась нерівномірно, що може свідчити або про недосконалість методики, або про вплив інших факторів, які не були враховані при плануванні експерименту.

Тим не менш загальна картина у випадку с Glucopon 650ES виглядає як поступове зростання мийної здатності на всьому діапазоні досліджуваних концентрацій.

Другим етапом  було протестовано суміш лауреату-7 та SLES, у співвідношенні 6 к 12. З цією метою було приготовано 100 мл розчину, що мітив 6 % за масою Spolapon 247 та 12 % Spolapon 242/70. що відповідає загальному вмісту ПАР у 14,6%.

Табл. 3.9

Результати прання суміші лауреату-7 та SLES у дозуваннях від 1 до 10 г/цикл прання

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проба | Коеф. відбиття чистої тканини | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. відбиття до прання | Коеф. відбиття після прання | Коеф. зняття забруд | **Мийна здатність** |
| Склад порівняння | 0,84 | 0,3249 | 0,4048 | 0,3249 | 0,4048 | 15,5116 | **100,0** |
| 0,1 | 0,84 | 0,3125 | 0,3631 | 0,3249 | 0,4048 | 9,59242 | **61,8** |
| 0,2 | 0,84 | 0,3197 | 0,3721 | 0,3249 | 0,4048 | 10,0711 | **64,9** |
| 0,3 | 0,84 | 0,3346 | 0,3948 | 0,3249 | 0,4048 | 11,9114 | **76,8** |
| 0,5 | 0,84 | 0,3392 | 0,4053 | 0,3249 | 0,4048 | 13,1989 | **85,1** |
| 0,7 | 0,84 | 0,3428 | 0,4241 | 0,3249 | 0,4048 | 16,3516 | **105,4** |
| 1 | 0,84 | 0,3407 | 0,4169 | 0,3249 | 0,4048 | 15,2614 | **98,4** |
| 1,25 | 0,84 | 0,3436 | 0,4266 | 0,3249 | 0,4048 | 16,7204 | **107,8** |
| 1,5 | 0,84 | 0,3427 | 0,4322 | 0,3249 | 0,4048 | 17,9972 | **116,0** |

Табл. 3.10

Перерахунок наважки у концентрацію г/ на цикл прання

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | вага пар як є у дозі на цикл прання (10 л води) |
| г / цикл прання | г/ 100 мл | г / цикл прання | г/ 100 мл | Мийна здатність |
| 1,8 | 0,018 | 1,8 | 0,1 | 61,8 |
| 3,6 | 0,036 | 3,6 | 0,2 | 64,9 |
| 5,4 | 0,054 | 5,4 | 0,3 | 76,8 |
| 9 | 0,09 | 9 | 0,5 | 85,1 |
| 12,6 | 0,126 | 12,6 | 0,7 | 105,4 |
| 18 | 0,18 | 18 | 1 | 98,4 |
| 22,5 | 0,225 | 22,5 | 1,25 | 107,8 |
| 27 | 0,27 | 27 | 1,5 | 116 |



Рис. 3.9 Залежність мийної здатності розчину суміші лауреату-7 та SLES від концентрації



Рис. 3.10 Залежність мийної здатності розчину суміші лауреату-7 та SLES від концентрації

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЯХ

## 4.1 Вступ

Одним з головних принципів державної політики в галузі охорони праці є «пріоритет життя й здоров’я працівників стосовно результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності роботодавця за створення безпечних і нешкідливих умов праці». Тому заходи щодо підвищення рівня охорони й безпеки праці стають пріоритетними в загальній системі управління підприємством.

Уважне вивчення викладеного в програмі матеріалу й виконання вимог охорони праці на робочих місцях є запорукою збереження здоров’я й працездатності працівників, успішного виконання ними виробничих завдань, запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням та аваріям.

## 4.2 Основні вимоги до безпеки під час роботи в лабораторії

Основними джерелами небезпеки є: потенційно отруйні та агресивні речовини, скляний посуд, електроприлади.

При роботі для вентиляції була використана витяжна шафа (згідно з ГОСТ 3885-73 «Опалення, вентиляція і кондиціювання»).

Вимоги до безпеки, яких ми дотримувалися під час роботи в лабораторії:

1. Кожен працівник лабораторії повинен мати закріплене за ним робоче місце.

2. Перед початком роботи слід вдягати спецодяг.

3. При роботі зі скляними приладами необхідно:

– при розламуванні скляних трубок притримувати лівою рукою трубку біля надпилу;

– при закриванні колби, пробірки або іншої тонкостінної посудини пробкою, тримати посудину за верхню частину шийки ближче до місця, куди повинна бути вставлена пробка, захищаючи руку рушником.

4. Нагріту посудину не можна закривати притертою пробкою поки вона не охолоне.

5. Нагріваючи рідину в пробірці або інших посудинaх, їх тримають спеціальними утримувачами так, щоб отвір був спрямований від себе і працюючих поруч.

6. При переливанні рідин (крім тих, що містять біологічний матеріал) користуються лійкою.

7. При змішуванні (розведенні) речовин, що супроводжуються виділенням тепла, користуються термостійким хімічним посудом.

8. При роботі з кислотами та лугами використовують такі заході безпеки:

– всю роботу з концентрованими кислотами та лугами проводять у витяжній шафі, користуючись при цьому окулярами, гумовими рукавичками та фартухом;

– при приготуванні розчинів кислот, спочатку в посудину наливають необхідну кількість води, а потім помалу додають кислоту. Забороняється додавати воду в кислоту;

– при приготуванні розчинів лугів наважку лугу опускають у велику широкогорлу посудину, заливають необхідною кількістю води й старанно перемішують. Шматки лугу варто брати тільки щипцями;

– концентровані кислоти та луги виливають у раковину після попередньої їх нейтралізації.

9. При роботі з легкозаймистими речовинами дотримуються таких вимог:

– усі роботи проводяться у витяжній шафі при включеній вентиляції, вимкнутих газових пальниках і нагрівальних електроприладах відкритого типу;

– нагрівання легкозаймистих речовин проводять у витяжній шафі на піщаній або водяній бані з закритим електронагрівом[[50](#_ENREF_50)].

Робота з електроприладами в хімічній лабораторії вимагає великої уваги й безумовно виконання правил електробезпеки згідно з ДНАОП 0.00-1.21.- 98 «Правила безпечної експлантації електроустановок споживачів»:

1. В хімічній лабораторії слід користуватися електронагрівниками закритого типу та іншим електричним обладнанням тільки заводського виготовлення.

2. Заземлення електрообладнання необхідно виконувати згідно з ГОСТ 12.1.030-81 ССБП «Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

Вимоги безпеки по закінченню робіт. Вмикання і вимикання усієї електромережі лабораторії повинно виконуватись загальним рубильником. Забезпечення пожежної безпеки в лабораторії визначалося «Правилами пожежної безпеки в Україні»:

1. В лабораторії повинні бути справні первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники вуглекислотні, пінні або порошкові, які розміщують безпосередньо в лабораторії;ящик або відро з піском (об’ємом близько 0,01 м2) і совком; покривало з вогнетривкого матеріалу. До них обов’язково необхідно забезпечити вільний доступ.

2. У разі пожежі необхідно:

– повідомити пожежну охорону;

– вжити заходів щодо евакуації людей з приміщення;

– вимкнути електромережу.

У разі виникнення екстремальної ситуації та при необхідності надати першу медичну допомогу, ми б керувалися наступними правилами. При ураженні електрострумом потерпілого звільняють від контакту з електрострумом (якщо це не зроблено раніше). Виключають джерело електроживлення, а якщо це неможливо, то скидають обірваний провід дерев'яним сухим ціпком. При зупинці подиху проводять штучне дихання. Накладають стерильну пов'язку на рану. Штучне дихання не припиняють протягом тривалого часу. При зупинці серця – непрямий масаж серця. Госпіталізація. Транспортування лежачи на ношах в опікове чи хірургічне відділення.

Отруєння лугами. Причини: попадання лужних сполук натрію і калію, які є у регенеративній речовині, у дихальні шляхи. Ознаки: неприємний лужний смак у роті, кашель, різка печія слизових оболонок очей і гортані, біль за грудиною, розширення зіниць, різка слабість, загальні судоми. Допомога: забезпечити потерпілому приплив свіжого повітря, вивільнити його від одягу, який утруднює дихання, дати понюхати нашатирний спирт. У разі припинення дихання необхідно проводити штучне дихання.

Опіки шкіри. При опіках І і ІІ ст. слід негайно покласти на вражене місце примочку зі спиртом, горілкою, одеколоном або слабким розчином марганцевокислого калію. Спирт та його похідні стримують подальше руйнування клітини й водночас знезаражують місце ушкодження. При ІІІ-IV ст. на вражені місця накладають стерильні пов’язки. При великих опіках використовують чисті, випрасувані простирадла. Потерпілого слід напоїти чаєм або мінеральною водою і терміново доставити до лікарні.

В кожному робочому приміщенні лабораторії на видному та легкодоступному місці повинна знаходитись аптечка з необхідними медикаментами для надання першої допомоги.

Подальша допомога при хімічних опіках надається так само, як і при термічних.

При опіку шкіри кислотою робляться примочки (пов’язки) розчином питної соди (одна чайна ложка соди на склянку води).

При потраплянні кислоти у вигляді рідини, пари або газів в очі або порожнину рота необхідно промити їх великою кількістю води, а потім розчином питної соди (половина чайної ложки на склянку води).

Якщо в око потрапили тверді шматочки хімічної речовини, то спочатку їх потрібно видалити вологим тампоном, тому що при промиванні очей вони можуть поранити слизову оболонку і викликати додаткову травму.

При потраплянні кислоти або лугу в стравохід необхідно терміново викликати лікаря. До його приходу слід видалити слину та слиз з рота потерпілого, укласти його й тепло вкрити, а на живіт для ослаблення болю покласти «холод».

Якщо в потерпілого з’явилися ознаки задухи, необхідно робити йому штучне дихання за способом «з рота в ніс», оскільки слизова оболонка рота обпечена.

Не можна промивати шлунок водою, щоб викликати блювоту, або нейтралізувати кислоту чи луг, що потрапила в стравохід.

Якщо в потерпілого є блювання, йому можна дати випити не більше трьох склянок води, розбавляючи таким чином кислоту чи луг і зменшуючи їх палючу дію. Хороший ефект надає прийом внутрішньо молока, яєчного білка, рослинної олії, розчиненого крохмалю.

При значних опіках шкіри, а також при попаданні кислоти або лугу в очі потерпілого після надання першої допомоги слід відразу ж відправити до лікувальної установи.

ВИСНОВКИ

1. Залежність мийної здатності від концентрації індивідуальних ПАР має лінійний характер у певних межах;
2. Збільшення концентрації вище визначеного рівня не призводить до збільшення мийної здатності, а іноді і до її зниження;
3. Концентраційні залежності мийної здатності є більш надійними у порівнянні з окремими експериментами у зв'язку з великим розмахом отримуваних даних
4. Суміші ПАР різної природи проявляють синергію та є більш ефективними ніж окремі ПАР.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розширити діапазон досліджуваних концентрації та перелік використовуваних поверхнево-активних речовин. Дослідити три компонентні суміші ПАР на предмет екстремумів у залежності мийної здатності від концентрації компонентів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. A. Oulkhir, K. Lyamlouli, M. Danouche [et al.] / A critical review on natural surfactants and their potential for sustainable mineral flotation // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology – 2023. – Vol. 22, № 1. – P. 105-131.

2. J. Schages, R. Stamminger, D. P. Bockmühl / A New Method to Evaluate the Antimicrobial Efficacy of Domestic Laundry Detergents // Journal of Surfactants and Detergents – 2020. – Vol. 23, № 3. – P. 629-639.

3. C. Verma, C. M. Hussain, M. A. Quraishi, A. Alfantazi / Green surfactants for corrosion control: Design, performance and applications // Advances in Colloid and Interface Science – 2023. – Vol. 311, – P. 102822.

4. K. R. Lange.Surfactants: a practical handbook – Munich.׃ Carl Hanser Verlag, 1999. – 240 p.

5. T. Miyazawa, M. Itaya, G. C. Burdeos [et al.] / A Critical Review of the Use of Surfactant-Coated Nanoparticles in Nanomedicine and Food Nanotechnology // International Journal of Nanomedicine – 2021. – Vol. 16, № null. – P. 3937-3999.

6. D. Linke / Detergents: an overview / / Methods in enzymology – 2009. – Vol. 463, – P. 603-617.

7. S. Rebello, A. N. Anoopkumar, R. Sindhu [et al.] /23 - Comparative life-cycle analysis of synthetic detergents and biosurfactants—an overview // Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts – Academic Press, 2020. – P. 511-521.

8. S. Rai, E. Acharya-Siwakoti, A. Kafle [et al.] / Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications // Sci – 2021. – Vol. 3, № 4. – P. 44.

9. A. Ferri, M. Osset, K. Abeliotis [et al.] / Laundry Performance: Effect of Detergent and Additives on Consumer Satisfaction // Tenside Surfactants Detergents – 2016. – Vol. 53, № 4. – P. 375-386.

10. J. Li, J. Wang, Y. Zhao [et al.] / Surfactant-like peptides: From molecular design to controllable self-assembly with applications // Coordination Chemistry Reviews – 2020. – Vol. 421, – P. 213418.

11. A. B. Moldes, L. Rodríguez-López, M. Rincón-Fontán [et al.] / Synthetic and Bio-Derived Surfactants Versus Microbial Biosurfactants in the Cosmetic Industry: An Overview // International Journal of Molecular Sciences – 2021. – Vol. 22, № 5. – P. 2371.

12. A. A. Jimoh, J. Lin /Biosurfactant: A new frontier for greener technology and environmental sustainability // Ecotoxicology and Environmental Safety – 2019. – Vol. 184, – P. 109607.

13. B. Petkova, S. Tcholakova, M. Chenkova [et al.] / Foamability of aqueous solutions: Role of surfactant type and concentration // Advances in Colloid and Interface Science – 2020. – Vol. 276, – P. 102084.

14. R. A. Gonçalves, K. Holmberg, B. Lindman / Cationic surfactants: A review // Journal of Molecular Liquids – 2023. – Vol. 375, – P. 121335.

15. R. Day, S. M. Bradberry, S. H. L. Thomas, J. A. Vale / Liquid laundry detergent capsules (PODS): a review of their composition and mechanisms of toxicity, and of the circumstances, routes, features, and management of exposure // Clinical Toxicology – 2019. – Vol. 57, № 11. – P. 1053-1063.

16. M. Honisch, B. Brands, M. Weide [et al.] / Antimicrobial Efficacy of Laundry Detergents with Regard to Time and Temperature in Domestic Washing Machines // Tenside Surfactants Detergents – 2016. – Vol. 53, № 6. – P. 547-552.

17. E. P. Melián, D. E. Santiago, E. León [et al.] / Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment // Journal of Environmental Chemical Engineering – 2023. – Vol. 11, № 2. – P. 109302.

18. A. Celentano, M. Bissoli, F. Sesana, F. Scaglione / Why are adults exposed to liquid laundry detergent capsules? // Clinical Toxicology – – P. 1-2.

19. D. Bajpai, V. K. Tyagi / Laundry Detergents: An Overview // Journal of Oleo Science – 2007. – Vol. 56, № 7. – P. 327-340.

20. M. Khajvand, P. Drogui, L. Pichon [et al.] / Removal of nonylphenol ethoxylate from laundry wastewater using modified and functionalized activated carbon // Environmental Science: Water Research & Technology – 2023. – Vol. 9, № 9. – P. 2338-2354.

21. W. C. Griffin / Classification of surface-active agents by" HLB" // J. Soc. Cosmet. Chem. – 1949. – Vol. 1, – P. 311-325.

22. W. C. Griffin / Calculation of HLB values of non-ionic surfactants // J. Soc. Cosmet. Chem. – 1954. – Vol. 5, – P. 249-256.

23. J. Kleinen / Will biosurfactants replace conventional surfactants? // Current Opinion in Colloid & Interface Science – 2023. – Vol. 68, – P. 101764.

24. D. T. Abdeldaim, F. R. Mansour / Micelle-enhanced flow injection analysis // Reviews in Analytical Chemistry – 2018. – Vol. 37, № 3. –

25. M. M. Mabrouk, N. A. Hamed, F. R. Mansour / Spectroscopic methods for determination of critical micelle concentrations of surfactants; a comprehensive review // Applied Spectroscopy Reviews – 2023. – Vol. 58, № 3. – P. 206-234.

26. M. Giagnorio, A. Amelio, H. Grüttner, A. Tiraferri /Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industry // Journal of Cleaner Production – 2017. – Vol. 154, – P. 593-601.

27. S. Chowdhury, A. Rakshit, A. Acharjee, B. Saha / Novel Amphiphiles and Their Applications for Different Purposes with Special Emphasis on Polymeric Surfactants // ChemistrySelect – 2019. – Vol. 4, № 23. – P. 6978-6995.

28. M. Inès, B. Mouna, E. Marwa, G. Dhouha / Biosurfactants as Emerging Substitutes of Their Synthetic Counterpart in Detergent Formula: Efficiency and Environmental Friendly // Journal of Polymers and the Environment – 2023. – Vol. 31, № 7. – P. 2779-2791.

29. A. A. Sudheshna, M. Srivastava / Laundry Detergents: A Potential Resource of Pollution and Overutilisation // London Journal of Research in Science: Natural and Formal – 2022. – Vol. 22, № 7. – P. 15-23.

30. C. E. Drakontis, S. Amin / Biosurfactants: Formulations, properties, and applications // Current Opinion in Colloid & Interface Science – 2020. – Vol. 48, – P. 77-90.

31. M. Gradzielski / Polymer–surfactant interaction for controlling the rheological properties of aqueous surfactant solutions // Current Opinion in Colloid & Interface Science – 2023. – Vol. 63, – P. 101662.

32. S. O. Badmus, H. K. Amusa, T. A. Oyehan, T. A. Saleh / Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques // Environmental Science and Pollution Research – 2021. – Vol. 28, № 44. – P. 62085-62104.

33. D. Borah, A. Chaubey, A. Sonowal [et al.] / Microbial Biosurfactants and Their Potential Applications: An Overview // Microbial Biosurfactants: Preparation, Properties and Applications – Singapore.׃ Springer Singapore, 2021. – P. 91-116.

34. R. Day, S. M. Bradberry, G. Jackson [et al.] /A review of 4652 exposures to liquid laundry detergent capsules reported to the United Kingdom National Poisons Information Service 2008–2018 / Clinical Toxicology – 2019. – Vol. 57, № 12. – P. 1146-1153.

35. C. E. Gaw, H. A. Spiller, M. J. Casavant [et al.] / Safety Interventions and Liquid Laundry Detergent Packet Exposures / Pediatrics – 2019. – Vol. 144, № 1. – P. 1-9.

36. P. Sar, A. Ghosh, A. Scarso, B. Saha / Surfactant for better tomorrow: applied aspect of surfactant aggregates from laboratory to industry / Research on Chemical Intermediates – 2019. – Vol. 45, № 12. – P. 6021-6041.

37. H. Waldhoff, R. Spilker.Handbook Of Detergents, Part C: Analysis – CRC Press, 2016. – 654 p.

38. M. J. Castro-Alonso, F. G. Barbosa, T. A. Vieira [et al.] / New Formulations Based on Biosurfactants and Their Potential Applications / Biosurfactants and Sustainability – 2023. – P. 255-279.

39. K. Laitala, H. M. Jensen / Cleaning Effect of Household Laundry Detergents at Low Temperatures / Tenside Surfactants Detergents – 2010. – Vol. 47, № 6. – P. 413-420.

40. M. Honisch, R. Stamminger, D. P. Bockmühl / Impact of wash cycle time, temperature and detergent formulation on the hygiene effectiveness of domestic laundering // Journal of Applied Microbiology – 2014. – Vol. 117, № 6. – P. 1787-1797.

41. R. F. Nunes, A. C. S. C. Teixeira / An overview on surfactants as pollutants of concern: Occurrence, impacts and persulfate-based remediation technologies / Chemosphere – 2022. – Vol. 300, – P. 134507.

42. N. Khamis, A. Rahim, N. Ibrahim, K. Pahirulzaman / Microbial Surfactants: Classifications, Properties, Recovery, and Applications / JURNAL TEKNOLOGI-SCIENCES & ENGINEERING – 2022. – –

43. E. Smulders. Laundry Detergents – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2002. – 280 p.

44. Y. Yu, J. Zhao, A. E. Bayly / Development of Surfactants and Builders in Detergent Formulations / Chinese Journal of Chemical Engineering – 2008. – Vol. 16, № 4. – P. 517-527.

45. M. Procházková, V. Máša / Sustainable wastewater mana agement in industrial laundries / Chemical Engineering Transactions – 2022. – Vol. 94, – P. 577-582.

46. H. Krüssmann / Evaluation of detergents for washing fabrics / Journal of the American Oil Chemists' Society – 1978. – Vol. 55, № 1. – P. 165-169.

47. V. K. Gaur, P. Sharma, R. Sirohi [et al.] / Production of biosurfactants from agro-industrial waste and waste cooking oil in a circular bioeconomy: An overview / Bioresource technology – 2022. – Vol. 343, – P. 126059.

48. J. Davies / A quantitative kinetic theory of emulsion type, I. Physical chemistry of the emulsifying agent // Gas/Liquid and Liquid/Liquid Interface. Proceedings of the International Congress of Surface Activity. – P. 426-438.

49. A.-K. Briem, L. Bippus, A. Oraby [et al.] / Environmental impacts of biosurfactants from a life cycle perspective: A systematic literature review / Biosurfactants for the Biobased Economy – 2022. – – P. 235-269.

50. / НПАОП 73.1–1.11–2012. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. [Чинний від 2012-09-11]. Київ : МНС України №1192. – 2012. – 29 с. p.