

УДК 622.741.3.022;622.7;620.133

доцент **Олександр Любарець**,

liubarets.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1905-9283,

аспірант **Максим Микитенко**,

mykytenko_mr@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2891-6136,

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПОВІТРО- ТА ГАЗООЧИСНИХ ПРИСТРОЇВ З РІДИННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ДЛЯ УЛОВЛЮВАННЯ ПИЛУ ТА АБСОРБЦІЇ ШКІДЛИВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

***Анотація.** У статті розглянуто класифікацію повітро- та газоочисних апаратів, що використовують воду або водні розчини для вловлювання пилу та абсорбції шкідливих газоподібних домішок. Запропоновано систематизацію мокрих газоочисних пристроїв за принципом дії, механізмами захоплення домішок і структурою рідкої фази, що бере участь у процесі очищення. Виділено шість основних груп апаратів: насадкові скрубери, циклонно-водяні пристрої, відцентрові зрошувачі, пінні апарати, турбулентні промивачі та установки з коагуляційним осадженням. Надано короткий опис принципу роботи кожного типу, їхні переваги та обмеження. Окрему увагу приділено ролі абсорбційної рідини, що циркулює, у забезпеченні стабільності та ефективності процесу. У практичній частині наведено аналіз суднової газоочисної установки типу скрубер, реалізованої на судні з використанням системи компанії Wärtsilä. Описано особливості конструкції, режим роботи, температурні та гідродинамічні параметри процесу очищення відпрацьованих газів з високим вмістом оксидів сірки. Представлено приклади візуалізації системи моніторингу та керування. Отримані результати та узагальнена класифікація можуть слугувати основою для вибору ефективного апаратного рішення в умовах промислових або транспортних об'єктів, де необхідне очищення повітря чи газових викидів за участі рідкої фази.*

Ключові слова: очищення газів; пиловловлювання; скрубер; абсорбція; водяна завіса; рідинні апарати; класифікація газоочисного обладнання; відцентрові розпилювачі; пінні фільтри; судновий скрубер.

Вступ. Забруднення атмосферного повітря залишається однією з найбільш гострих екологічних проблем сьогодення, що негативно впливає на здоров'я населення, стан довкілля та функціонування екосистем. Основними джерелами техногенного навантаження є промислові підприємства, де в процесах виробництва утворюються викиди твердих частинок, парів і токсичних газів. Особливу небезпеку становлять комбіновані забруднення, що містять як пил, так і хімічно активні компоненти, зокрема кислоти, сполуки сірки, азоту та

важкі метали.

В умовах зростання екологічних вимог, необхідності енергоефективного виробництва та переходу до циркулярної економіки, зростає актуальність застосування універсальних систем очищення, здатних одночасно вловлювати тверді та газоподібні домішки. Серед таких технологій особливе місце займають мокрі (гідравлічні) газоочисні апарати, які використовують воду або водні розчини для забезпечення ефективного контакту фаз. У таких пристроях реалізуються різні механізми дії: інерційне й дифузійне захоплення, конденсація, абсорбція та реакційне осадження.

Різноманіття конструктивних рішень і принципів дії мокрих апаратів вимагає їх чіткої систематизації для спрощення вибору відповідного типу установки під конкретні технологічні умови. Систематизація класифікації дозволяє глибше зрозуміти особливості кожної групи апаратів, їх переваги та обмеження, а також сприяє впровадженню комбінованих і адаптивних рішень для очищення повітря й технологічних газів.

Актуальність дослідження. Зростання промислового навантаження на довкілля, як в Україні, так і у світі, зумовлює постійне збільшення обсягів викидів забруднювачів до атмосфери. Найбільшу загрозу становлять дрібнодисперсні пилові частки та газоподібні компоненти, які мають токсичний, канцерогенний або парниковий вплив. Забезпечення ефективного очищення таких змішаних викидів є ключовою умовою дотримання екологічних норм, зниження ризиків для здоров'я населення та забезпечення стійкого функціонування технологічних процесів.

У цьому контексті особливого значення набувають мокрі газоочисні апарати, здатні одночасно видаляти тверді й газоподібні домішки за допомогою рідинної фази. Їх використання є доцільним у низці галузей — від металургії та хімічного виробництва до харчової промисловості й суднової енергетики. Перевагами таких пристроїв є висока ефективність вилучення дрібнодисперсних часток, здатність працювати з гарячими газами, а також гнучкість конструктивного виконання.

Разом із тим, сучасна інженерна практика стикається з проблемами відсутності єдиної класифікації подібних апаратів, що ускладнює їхній вибір, проєктування та стандартизоване оцінювання ефективності. Не менш актуальною є потреба у врахуванні масообмінних процесів, що супроводжують очищення — зокрема абсорбції шкідливих газів рідинною фазою, яка може містити активні компоненти або циркулювати в системі.

Відтак, розроблення комплексної класифікації мокрих газоочисних апаратів, що охоплює принцип дії, гідродинамічну структуру, механізми захоплення забруднень і тип рідинного середовища, є нагальним завданням.

Воно сприятиме впорядкуванню наявних рішень, оптимізуванню інженерного вибору й подальшому розвитку ефективних систем очищення повітря та технологічних газів.

Останні дослідження та публікації. Упродовж останніх років опубліковано значну кількість робіт, присвячених удосконаленню конструкцій та ефективності дії мокрих газоочисних апаратів. Зокрема, у публікації [1] проаналізовано чинники, що впливають на ефективність знепилення аспіраційних викидів, та окреслено потребу в адаптації апаратів до складних аеродинамічних умов. У роботах [2–4] представлено сучасний підхід до аналізу дії скрубєрів у різних конфігураціях, зокрема як інструментів для зниження рівня викидів у суднових та промислових енергетичних установках. Огляд [2] систематизує переваги скрубєрів як універсальних засобів уловлювання кислотних газів, а дослідження [4] ґрунтується на експериментальному аналізі аерозольного розпилення у форсуночних насадках.

У документах ЕРА [3] детально описано конструкції та експлуатаційні параметри мокрих і сухих скрубєрів, що дозволяє обґрунтувати вибір типу апарата залежно від характеру забруднення. Сучасні математичні та гідродинамічні моделі систем очищення, зокрема багатофазні й турбулентні процеси, представлені в роботах [5, 7], де проаналізовано зони контакту газу й рідини та вплив структурного компонування скрубєрних систем на загальний коефіцієнт очищення.

Вітчизняні публікації [8–9] зосереджені на впливі конструктивних параметрів та гідравлічного опору на продуктивність пиловловлювальних систем, а також на математичному моделюванні руху повітря в циклонних пристроях. Практичні аспекти застосування скрубєрів для суднових потреб викладені у [10], де досліджено можливості реалізації інтегрованих систем очищення у вузьких умовах машинного відділення.

Окрему увагу приділено експериментальному перевірянню кінетики осадження пилу в умовах високотемпературного газового потоку [11] та загальній класифікації методів очищення повітря, яку подано у фундаментальній праці [12].

Попри наявні результати, досі залишається актуальним питання комплексної систематизації апаратів за ознаками механізму захоплення часток і властивостей рідкої фази. Робота покликана частково заповнити цю прогалину шляхом узагальнення досвіду та наукових підходів у вигляді класифікації шести основних груп рідинних повітро- та газоочисних апаратів.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є узагальнення та систематизація типів повітро- та газоочисних пристроїв, що використовують воду та водні розчини для пиловловлювання та сорбції шкідливих газоподібних

домішок, а також удосконалення класифікаційних підходів до таких апаратів з урахуванням сучасних технічних та експлуатаційних вимог.

У межах поставленої мети передбачається провести аналіз основних конструктивних груп апаратів: насадкових, пінних, інжекційних, відцентрових, турбулентних та конденсаційних, з акцентом на їхні функціональні особливості та механізми захоплення частинок. Окрему увагу приділено впливу циркуляції абсорбційної рідини на ефективність очищення газопилових потоків. Передбачено також формування таблиці класифікації, яка дозволяє орієнтуватися у виборі типу апарата залежно від характеру забруднення та умов його застосування.

Класифікація повітро- та газоочисних пристроїв з використанням рідин. Апаратні рішення для очищення запиленого та забрудненого газоподібними домішками повітря із застосуванням води або абсорбційних розчинів відзначаються різноманітністю. Залежно від механізму захоплення часток, структури диспергованої рідини та принципу дії, мокрі газоочисні апарати доцільно класифікувати на шість основних груп. Кожна з них має власні переваги, обмеження та конструктивні особливості (рис. 1, табл. 1).

1. Апарати з насадками (скрубери насадкового типу).

У таких апаратах очищення реалізується через контакт газового потоку з великою змоченою поверхнею насадки. Рідина, яка стікає по насипних шарах, трубчастих або щілинних елементах, створює плівку, що слугує ефективним середовищем для осадження пилу та поглинання шкідливих газів. Такий принцип дії демонструє високу ефективність масообміну, особливо у випадках очищення газів зі складною фазовою структурою.

2. Циклонно-водяні апарати.

Поєднують механізм інерційної сепарації та дії зрошення. Потік газу закручується, створюючи відцентрове поле, під дією якого частки пилу притискаються до стінок і взаємодіють з водяною плівкою, що утворюється на внутрішній поверхні корпусу. Прикладом такої конструкції є циклонно-зрошувальний скрубер типу «Піз-Антоні» (рис. 1, г). Апарат ефективний для видалення частинок середнього та крупного діаметру.

3. Відцентрові зрошувачі (дискові та роторні розпилювачі).

Ці апарати працюють за рахунок формування дрібнодисперсної аерозольної фази за допомогою обертальних елементів, зокрема дисків або щіток. У результаті утворюється насичене крапельне середовище, у якому інтенсивно відбувається захоплення пилу та частково – летких домішок. Представники цієї групи широко застосовуються у високотемпературних умовах та при обробленні повітря зі змінною вологістю. Один з прикладів конструкції наведено на рис. 1, в.

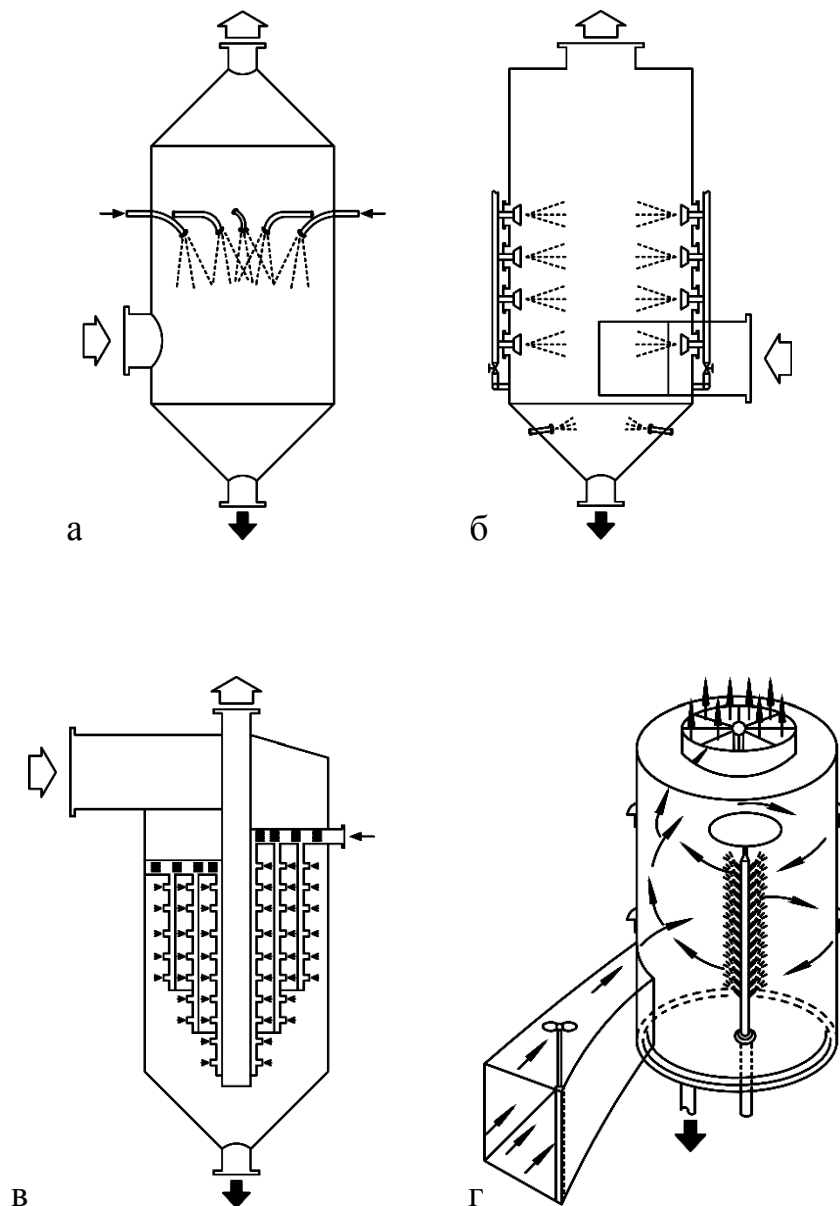


Рис. 1. Скрубери та циклонно-зрошувальні апарати з форсунковим диспергуванням рідини:

а – форсунковий скруббер з вертикальним напрямком розпилення абсорбційної рідини (підтип скрубберів з вертикальними колонами); б – скруббер з бічним розташуванням форсунок (варіант плівкового скруббера з горизонтальним обтіканням); в – відцентровий пиловловлювач з форсуночним розпилом (відноситься до циклону з водяною плівкою); г – зрошувальний скруббер типу «Піз-Антоні» з циркуляцією повітря та рідини (типовий представник комбінованого циклону-промивача).

Таблиця 1. Класифікація газоочисних апаратів за типом рідинної фази та механізмами осадження частинок пилу

Група / Тип апарата	Підтип / Представник	Стан рідкої фази (рідини)				Осідання частинок під дією		
		Плівка води на поверхні та стінках	Завіси з крапель, струмені (дош)	Піна	Турбулентний рух крапель	Спрямовані інерційні сили	Турбулентне перенесення	Гравітаційні сили
Скрубери	Насипні шари із гальки, стружки	●	▲			●	▲	
	Горизонтальні решітки, рейки, труби	●	▲			●	▲	
	Плівкові з вертикальними колонками	●				●		
	Ударно-інерційні (УСД)	●	▲			●		
Циклони	Циклон з водяною плівкою	●	■			●		
	Центробіжні скрубери з решітками	●	■			●	▲	
	Колонні циклони промивного типу	●	■			●		
	Циклон зі змінною напрямку повітря	●	■			●		
	Прямоточні мультициклони	●	■			●		
Вентиляторні	Вентилятор у вибухозахищеному корпусі	■	■		■	●	▲	
	ВМП (вентилятори мокрі пиловловлювачі)	■	■		■	●	▲	
	Фільтри ТББ та ОПВ	■	■		■	●	▲	
Пінні	Зливні решітки	■	▲	●		▲	●	
	Поздовжні решітки	■	■	●		▲	●	
	Затоплена решітка			●		▲	●	
	Циклонно-пінні	▲	▲	●		■	●	
	Ударно-пінні	▲	▲	●		■	●	
Турбулентні	Розпилювальні з соплами	▲	▲			●	●	
Конденсаційні	Конденсація на частинках пилу					■		■

Позначки:

- – основний фактор впливу;
- ▲ – другорядний фактор впливу;
- – проміжний фактор впливу.

4. Апарати з пінним шаром.

Фільтраційне середовище утворюється стабілізованим шаром піни, крізь який проходить запилений газ. Велика питома поверхня пінної структури дає ефективне утримання твердих частинок і поглинання газів. Особливістю апаратів цього типу є низький гідравлічний опір, що дозволяє використовувати їх у системах з обмеженою потужністю вентиляторного обладнання.

5. Турбулентні промивні апарати.

Очищення ґрунтується на інтенсивному перемішуванні газу з краплями рідини, утвореними форсунковим розпилом. Турбулентний режим руху крапель забезпечує ефективне захоплення навіть дрібнодисперсного пилю. Приклади конструкцій наведено на рис. 1, а–б.

6. Апарати з охолодженням і конденсацією пари.

Очищення відбувається шляхом утворення конденсату водяної пари на поверхні пилових частинок. Унаслідок цього збільшується їхній розмір, що сприяє подальшому осадженню під дією гравітаційних або відцентрових сил. Такі апарати водночас забезпечують охолодження гарячих газових потоків і можуть застосовуватися як попередній етап перед тоншим очищенням.

Циркуляція абсорбційної рідини відіграє ключову роль у багатьох апаратах. Вона дозволяє не тільки повторно використовувати рідину, а й підвищити ефективність очищення за рахунок підтримання стабільного режиму зволоження, розчинення та осадження домішок. Для окремих апаратів передбачено фільтрування та підготовлення рідини, що циркулює, для зниження концентрації шкідливих домішок, які накопичуються внаслідок поглинання.

У процесі промислового очищення газових викидів від сірчистих сполук особливе значення мають морські скрубери, здатні ефективно працювати в умовах обмеженого простору та підвищених навантажень. Прикладом таких установок є система газоочищення, інтегрована в енергетичну установку судна, де відпрацьовані гази проходять крізь скрубери перед викидом у атмосферу.

Очищення газів у судновому скрубери системи Wärtsilä. Для ефективного зниження викидів оксидів сірки (SO_x) в суднових енергетичних установках широко застосовується метод мокрого очищення газів із використанням скруберів (рис. 2). Системи цього типу забезпечують прямий контакт забруднених газів із водною фазою – морською водою або спеціальним абсорбційним розчином, – що дозволяє ефективно нейтралізувати кислотні домішки та значно зменшити екологічне навантаження. Установка функціонує за гібридною схемою, яка дає змогу перемикатися між відкритим і замкненим циклом залежно від умов експлуатації та географічного розташування судна, наприклад, у зонах контролю викидів (SECA), де діють більш жорсткі нормативи щодо вмісту сірки у відпрацьованих газах.



Рис. 2. Загальний вигляд машинного відділення судна: головний судновий двигун з термоізованим газовідвідним колектором, підключеним до системи очищення димових газів (скрубера).

Принцип роботи скрубера полягає в тому, що димові гази після згоряння палива надходять до вертикального корпусу апарата, де відбувається їхній контакт із краплями або плівкою абсорбційної рідини. У результаті цього контакту частинки SO_2 та інші шкідливі речовини частково розчиняються у воді та перетворюються на нейтральні сполуки, які виводяться з рециркуляційним потоком рідини. Для забезпечення ефективної роботи установки передбачено модулі подачі та очищення води, систему осадження шламу, термометрію, вимірювання рН та контроль витрати, які працюють у єдиному автоматизованому режимі (рис. 3).

Інтеграція скрубера до системи суднової енергетики забезпечує очищення димових газів як від головного двигуна, так і від допоміжних агрегатів, а також бойлера. Газ надходить у верхню частину установки, проходить через зону розпилення та охолодження, після чого виводиться через димову трубу. У нижній частині апарата відбувається акумуляція осаду, який надалі виводиться через фільтраційну систему. Автоматизоване керування фіксує ключові параметри в режимі реального часу та забезпечує відповідну реакцію на зміну умов (наприклад, підвищення температури або падіння тиску).

Температура вхідного потоку може перевищити $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому важливо забезпечити інтенсивне зрошення та охолодження до моменту нейтралізації (рис. 4). Система контролю дає змогу аналізувати тиск, температуру на вході та виході, а також показники рН у контурі. Це дозволяє підтримувати стабільність процесу навіть при зміні навантаження або хімічного складу палива.

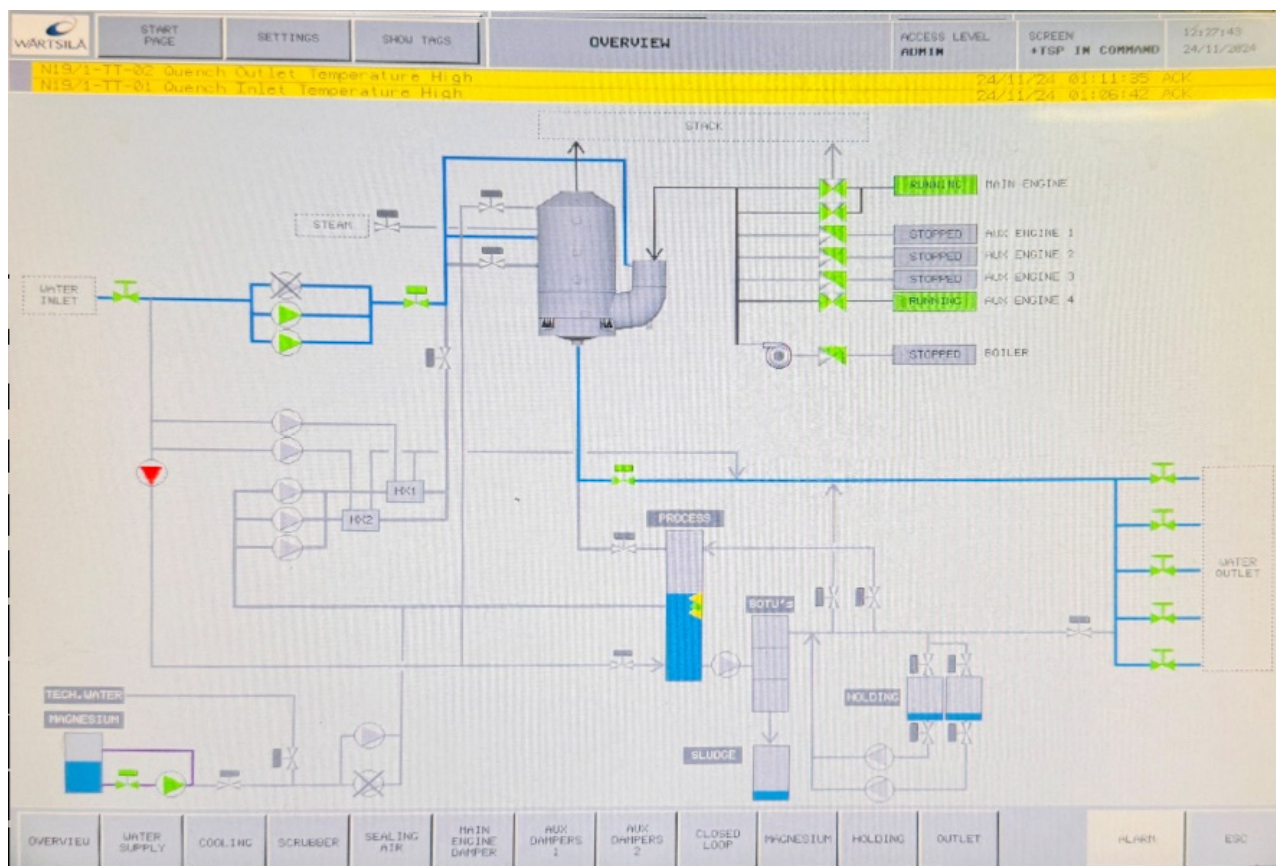


Рис. 3. Інтерфейс системи автоматизованого керування роботою газоочисного скрубера на судні: візуалізація потоків води, пари та технічних розчинів, стану двигунів і системи очищення димових газів.

Таким чином, впровадження скруберної системи Wärtsilä на суднах є ефективним інженерним рішенням, що дозволяє дотримуватись сучасних міжнародних вимог щодо контролю за викидами сірковмісних компонентів без необхідності використання дорогого низькосірчаного палива. Автоматизована система керування підтримує оптимальні режими роботи установки залежно від змін навантаження суднових двигунів з забезпеченням гнучкого перемикання між відкритим і замкненим циклами. Це дозволяє експлуатувати судно як у звичайних водах, так і в зонах із жорстким екологічним регулюванням (SECA). Ефективність очищення підтверджується контрольованими параметрами температури, тиску та хімічного складу рециркуляційної рідини, які візуалізуються у режимі реального часу на панелі оператора, що підвищує надійність та прозорість у роботі газоочисної системи.

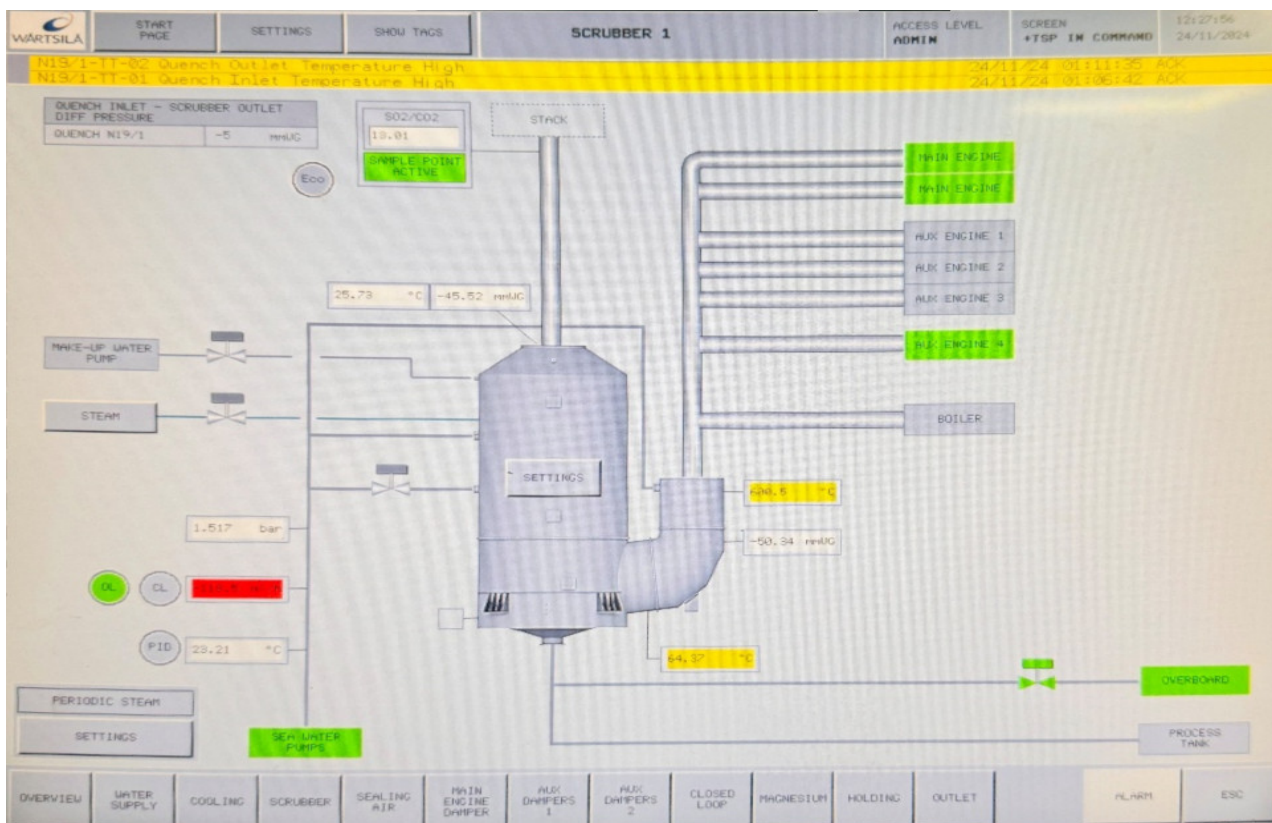


Рис. 4. Візуалізація параметрів роботи суднового скрубера на панелі керування: температурні та тискові показники, активність зразків, підключення основного та допоміжних двигунів

Висновки. У статті розглянуто сучасну класифікацію повітро- та газоочисних апаратів, що працюють із використанням води та водних розчинів для вилучення з повітря пилу та шкідливих газоподібних домішок. Запропонована класифікація охоплює шість основних груп апаратів, диференційованих за принципами дії, механізмами уловлювання частинок та конструктивними ознаками. Наведено коротку характеристику кожної групи, з акцентом на ефективність очищення, переваги та обмеження в експлуатації. Окрему увагу приділено аналізу структури живої фази рідини в межах газорідного контакту та механізмам осадження частинок — інерційним, турбулентним і гравітаційним. Показано, що ефективність мокрих газоочисних апаратів значною мірою залежить від правильно підбраного способу диспергування та циркуляції абсорбційної рідини, яка виконує не лише функцію уловлювання, а й стабілізує роботу системи. На основі прикладу суднової газоочисної установки Wärtsilä проілюстровано практичну реалізацію технології очищення газів в умовах експлуатації з високотемпературними викидами. Детально описано конструкцію, принцип дії, систему автоматичного контролю параметрів, а також переваги використання в контексті міжнародних екологічних стандартів (SECA). Проведений аналіз підтверджує доцільність впровадження мокрих газоочисних систем у різних галузях промисловості,

включно з морським транспортом, де вони забезпечують високу ефективність вилучення пилу та кислотних газів при порівняно низьких експлуатаційних витратах. Отримані результати та класифікаційна модель можуть бути використані для вибору, проектування та оптимізації таких систем під конкретні умови експлуатації.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення класифікаційного підходу до вибору повітро- та газоочисних апаратів, з урахуванням специфіки аерозольного складу та температурних характеристик викидів у різних галузях промисловості. Актуальним є вивчення впливу фізико-хімічних властивостей рідини, зокрема в'язкості, поверхневого натягу та здатності до абсорбції, на ефективність уловлювання пилу й шкідливих газів у мокрих апаратах різних типів.

Перспективним напрямом є дослідження систем із комбінованими механізмами дії — наприклад, поєднанням інерційного та конденсаційного осадження або турбулентного промивання з пінним фільтруванням, що дозволить підвищити універсальність газоочисних установок. Не менш важливим є аналіз стабільності роботи систем при використанні зворотної циркулюючої рідини зі змінним складом, особливо в замкнутих або гібридних циклах очищення.

Доцільно продовжити вивчення цифрового моделювання взаємодії газу та рідини в апаратах складної геометрії з турбулентним потоком, з урахуванням реальних промислових навантажень. Подальше інтегрування таких моделей у інтелектуальні системи моніторингу й автоматичного керування створює передумови для підвищення енергоефективності та екологічної безпеки очисних установок. Окремо варто розробити базу даних щодо ефективності різних апаратів залежно від умов експлуатації, що стане основою для цифрових платформ підтримання прийняття інженерних рішень.

References

1. Liubarets, O. P., Mykytenko, M. R. “Analiz faktoriv, shcho vplyvaiut na stan znepylennia aspiratsiinykh vykydiv”. *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplofazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 46, 2023, pp 89-108. (in Ukrainian)
2. Ede P., Ubong I.U., Harry-Ngei N. “A Review of the Scrubber as a Tool for the Control of Flue Gas Emissions in a Combustion System.” *European Journal of Engineering Research and Science*, Vol. 4, No. 11, 2019, pp. 1–6. (in English)
3. U.S. Environmental Protection Agency. *Wet and Dry Scrubbers for Acid Gas*

Control. Chapter 1 of EPA Air Pollution Control Cost Manual, 7th ed., 2017. (in English)

4. Fang X., Jiang B., Yuan L., Liang Y., Ren B., Tao W., Li X. “Experimental Study on Atomization Characteristics of Gas–Liquid Two-Phase Flow Nozzle and Its Dust Removal Effect.” *Processes*, 2022, 10(8):1655. (in English)

5. Hoyos A., Maldonado G., Gil A., et al. “Multiapproach Design Methodology of a Downscaled Wet Scrubber to Study the Collection of Submicronic Particles from Waste Incineration Flue Gas.” *Processes*, 2024, 12(8):1655. (in English)

6. Wärtsilä. Exhaust Gas Cleaning Systems. Company technical documentation. Available at: <https://www.wartsila.com> (accessed June 2025). (in English)

7. Avveduto A., Angelini R., Marozzi M., Lancia A. “Analysis of a Wet Scrubber Network in the Air Remediation of Industrial Workplaces with Multiple Sources.” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 93, 2016, pp. 1255–1262. (in English)

8. Sheliukh Yu. Ye. “Doslidzhennia vplyvu hidravlichnoho oporu na produktyvnist roboty vykhrovykh pylovlovliuvachiv novoho pokolinnia”. *Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti*, Iss. 13, pp. 137-143, 2016. (in Ukrainian)

9. Tysovskyi L. O., Dorundiak L. M., Liashenyk A. V., Dadak Yu. R. “Pobudova matematychnoi modeli dlia zadachi pro rukh povitria v tsykloni”. *Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal PHiP*, 2010, Iss. 2 (28), pp. 57-62.

10. Aftaniuk V.V., Kiris O.V., Danylenko D.V., Aftaniuk A.V. “Rozrobka integrovanoi konstruktsii skrubera dlia sudnovykh enerhetychnykh ustanovok.” *Sudnovi enerhetychni ustanovky: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 45, Odesa: NU «OMA», 2022, 201 p. (in Ukrainian)

11. Spinov V. M., Aftaniuk V. V. “Eksperymentalne doslidzhennia kinetyky mokroho pylovlovliuvacha. Enerhozberezhennia. Enerhetyka”. *Enerhoaudyt, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet «Kharkivskyi politekhnichnyi instytut» № 2 (84)*, pp. 32-46, 2011. (in Ukrainian)

12. Ratushniak H.S., Lialiuk O.H. *Zasoby ochyshchennia hazovykh vykydiv*. IVNVKP «Ukrheliotekh», 2009. (in Ukrainian)

UDC 622.741.3.022;622.7;620.133

Associate Professor **Oleksandr Liubarets**,
liubarets.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1905-9283,
PhD Student **Maksym Mykytenko**,
mykytenko_mr@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2891-6136,

SYSTEMATIZATION OF AIR AND GAS CLEANING DEVICES USING LIQUID MEDIA FOR DUST CAPTURE AND POLLUTANT ABSORPTION

Abstract. *The article presents a classification of air and gas cleaning devices that utilize water or aqueous solutions for dust capture and absorption of harmful gaseous pollutants. A systematization of wet gas purification units is proposed based on their operating principles, mechanisms of impurity capture, and the structure of the liquid phase involved in the cleaning process. Six main groups of apparatuses are identified: packed scrubbers, cyclone-water devices, centrifugal sprayers, foam-based units, turbulent washers, and condensation-based systems. Each type is briefly described in terms of its operation, advantages, and limitations. Particular attention is given to the role of circulating absorption liquid in maintaining process stability and cleaning efficiency. It has been shown that the effectiveness of wet gas purification devices largely depends on the correctly selected method of dispersion and circulation of the absorption medium, which does not deprive the collection function, but also stabilizes the operation of the system. In the practical section, an analysis of a marine gas-cleaning unit (scrubber) implemented on a ship using the Wärtsilä system is provided. The construction features, operating mode, and key temperature and hydrodynamic parameters of exhaust gas treatment with high sulfur oxide content are described. Examples of monitoring and control system visualization are presented. The results obtained, along with the generalized classification, may serve as a basis for selecting effective equipment solutions in industrial or transport applications where air or gas purification using a liquid phase is required.*

Keywords: gas cleaning, dust collection, wet scrubbers, absorption, water curtain, liquid-phase devices, classification of gas-cleaning equipment, centrifugal atomizers, foam filters, marine scrubber.