

---

---

## ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИКИДІВ

---

---

УДК 628.511

### Ймовірнісна блок-схема моделювання процесу пилоочищення газів в скруберах Вентурі

В.Б. Довгалюк<sup>1</sup>, І.О. Качан<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>к.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, tgsiv@ukr.net

<sup>2</sup>інженер, Київський національний університет будівництва і архітектури, ir.kachan14@gmail.com

*Процес знепилення газів в скруберах Вентурі представлений у вигляді сукупності шести елементарних умовно залежних подій. Останні на основі ймовірнісного методу моделювання гідродинамічних та масообмінних процесів використані для розроблення ймовірнісної блок-схеми пиловловлення, за допомогою якої отримана формула для визначення загальної ефективності очищення*

*Ключові слова: очищення газів, труба Вентурі, крапля, пилинка, газорідкісний потік, ймовірність події, ефективність пиловловлення.*

**Вступ.** Очищення відхідних газів від пилу залишається актуальною проблемою у різноманітних галузях промисловості (металургії, будівництва, хімії, теплоенергетики та ін.) та потребує постійного удосконалення та модернізації газоочищувального обладнання, а також нових підходів до розрахунків оптимальних режимів їх роботи та оцінки ефективності.

Труби Вентурі, що широко використовуються для мокрого очищення газів від пилу, є одночасно швидкісними, високоефективними та простими у конструкції (рис.1) та експлуатації пристроями. Процес пилоочищення в них засновано на контакті пилинок та крапель розпиленої рідини із наступним збільшенням та уловленням конгломератів «крапля-пилинка». Але за таким, на перший погляд, простим поясненням стоять багатостадійні та багаторазово повторювані фізичні процеси взаємодії крапель та пилинок під час їх руху через елементи труби Вентурі.

**Постановка проблеми.** Відомі емпіричні методи розрахунку ефективності роботи труб Вентурі не дозволяють в повній мірі та комплексно урахувати багатофакторність процесу уловлення пилинок у єдиній формулі ефективності очищення [1,2].

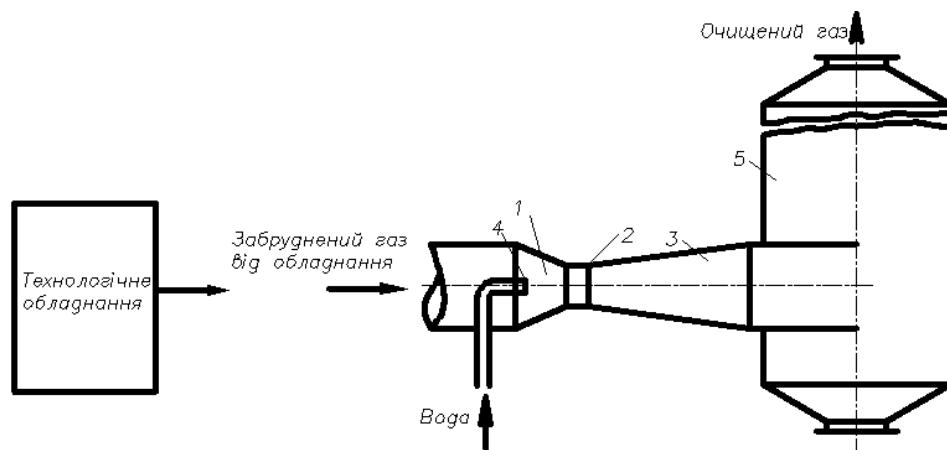


Рис. 1. Конструкція скрубера Вентурі  
1- конфузор; 2- горловина; 3- дифузор, 4 - форсунка, 5- скруббер

Складність та трудомісткість математичних розрахунків, що описують параметри фракційної ефективності пиловловлювачів, зазвичай пов'язані із необхідністю виконання розрахунків у декілька етапів, що призводить до неточностей та помилок. Можливості фізичного моделювання робочого процесу в трубах Вентурі та скруберами, що стоять за ними, вельми обмежені, так як при дослідженні у широкому діапазоні зміни параметрів одночасне виконання рівності основних критеріїв подібності не є можливим.

У зв'язку з вищевикладеними недоліками пропонується використати ймовірнісний підхід до опису процесу пиловловлення в скруберах Вентурі. Цей метод дозволить обрати та врахувати найбільш впливові параметри та розробити математичну модель визначення ефективності та оптимізації параметрів пилоочищення в трубах Вентурі.

Викладення основного матеріалу. Для аналізу та опису пиловловлення, що проходить в скрубери Вентурі, пропонується за основу використати ймовірнісний метод моделювання масообмінних процесів, сформульований в роботах [3,4].

Пилоловлення в обмеженому просторі труби Вентурі, поряд із високою швидкістю та короткочасними перебуванням очищувального газу в апараті, складається з безлічі послідовних та паралельних, залежних, умовно-залежних та незалежних елементарних фізичних процесів взаємодії очищувального газу, уловлюваних пилинок та зрешуючої рідини. Процес ефективного уловлення рухомих пилинок краплями диспергованої рідини можливо представити у вигляді шести сумісних послідовних умовно-залежних подій, а саме: геометрична зустріч пилинки на шляху свого руху із краплею, зіткнення пилинки з краплею, утримання пилинок краплею, захоплення пилинок із поглинанням їх краплями, урахування випарення рідини з конгломератів «крапля-пилинка» та осадження конгломератів у краплевловлювачах.

Виповнення цих шести подій залежить від багатьох технологічних, конструктивних та експлуатаційних параметрів процесу пиловловлення. Кожна з цих подій відбувається із певною ймовірністю, а отже, й впливає на здійснення наступних та у підсумку на кінцеву ефективність.

Кожна подія описується теоретичними формулами, що об'єднують усі значимі параметри процесу, які можна встановити, регулювати та змінювати на стадії проектування, використання та експлуатації газоочищувальної установки.

У зв'язку з тим, що виповнення вказаних подій у трубі Вентурі відбувається з певною ймовірністю за залежить одне від одного, то для їх фізико-математичного описання та об'єднання в математичну модель буде цілком раціональним використати основні положення ймовірнісного методу моделювання гідродинамічних та масообмінних процесів.

Ймовірнісний метод передбачає розділення досліджуваного процесу на окремі елементарні події, що протікають як паралельно, так і послідовно. Кожна подія відображує властивості якого-небудь одного класу явищ (гідродинаміки, кінетики, масообміну). Потім окремі події перемножуються або складаються за законами ймовірностей, залежно від характеру проявлення тих чи інших явищ, у результаті чого отримується ймовірнісна блок-схема та формула представлення процесу в цілому. Далі подію описуються математичними формулами з параметрами, що впливають на ефективність процесу. Математичні вирази кожної події з урахуванням обмежень підставляються у загальну ймовірнісну формулу, що й є шуканою математичною моделлю. Ймовірнісний метод спрощує математичну інтерпретацію складних процесів, дозволяє одночасно врахувати паралельний й послідовний вплив різноманітних факторів на ефективність пиловловлення в скруберах Вентурі (рис. 2) та полегшує оптимізацію процесу [3].

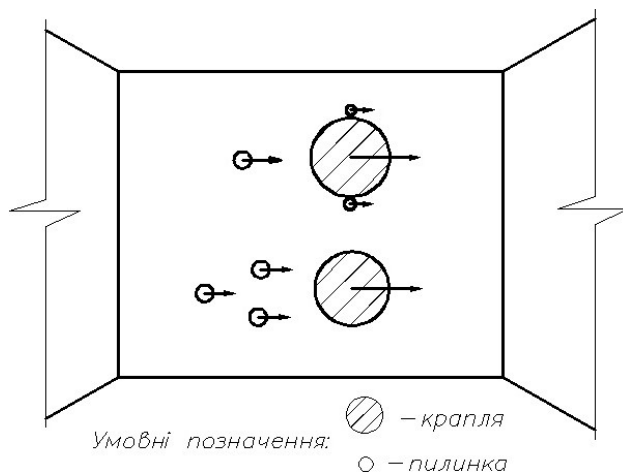


Рис.2. Схема взаємодії пилинок з краплями в горловині труби Вентурі

Для побудови ймовірнісної блок-схеми процесу пилоочищення газів у скруберах Вентурі приймаємо буквені позначки для кожної події.

Перша подія – геометрична зустріч пилинки на шляху свого руху з краплею  $r_3$  – передбачає зближення та зустріч краплі з пилинкою. При цьому враховується одночасне виповнення сумісних незалежних, але паралельних подій за рахунок інерційних  $r_{3,i}$ , електричних та сил турбулентного переносу  $r_{3,m.e}$ .

Друга подія – зіткнення пилинки з краплею  $r_{зйткн}$ , що передбачає доторкання її з краплею до виникнення міцного контакту між ними. В іншому випадку пилінка за рахунок аеродинамічного та молекулярного обтікання відривається від краплі та зустріч виявиться неефективною. Ефект зіткнення визначається в основному інерційними силами. Слід відмітити, що зіткнення пилинок із краплями можливі при інерційній зустрічі за рахунок сил інерції  $r_{зйткн,i}$ , а при дії турбулентності та електростатичних сил за рахунок цих сил  $r_{зйткн,m.e}$ . Причому для тої частинки пилу, зустріч якої із краплями могла б бути здійснена турбулентним переносом та електростатичними силами, зіткнення можливе паралельно як за рахунок сил інерції, так і за рахунок згаданих вище сил  $\Delta r_{зйткн,m.e}$ .

Третя подія – утримання пилинки краплею  $r_{yo}$  передбачає утримання або неутримання пилинки на краплі при впливі на них аеродинамічних сил (лобового опору потоку). Ймовірність цієї події залежить від співвідношення адгезійних та аеродинамічних сил. Тут також розглядається два варіанти утримання пилинок: перший при зустрічі пилинок завдяки силам інерції  $r_{ym,i}$ , другий для пилинок, що зіткнулися завдяки турбулентному та електростатичному впливу  $r_{ym,m.e}$ .

Четверта подія – захоплення пилинки із поглинанням пилинки краплею  $r_{зах}$  забезпечує змочування пилинок за рахунок сил інерції та адгезії, у тому числі з урахуванням маси пилинки. Після повного захоплення вивільнюється поверхня краплі від пилу для уловлення інших пилинок, що сприяє зростанню загальної ефективності зрощення. Тут відбувається повне змочування частинок пилу завдяки силам адгезії та інерції, в тому числі і ваги пилинки. За виглядом захоплення можна розрізнити на інерційний  $r_{зах,i}$  та захоплення за рахунок турбулентних та електростатичних сил  $r_{зах,m.e}$ .

П'ята подія – це можливе випаровування рідкої фази конгломератів «крапля-пилінка»  $r_{вип}$ , після чого пилінка виявляється не уловленою з газового потоку. Через короткочасне (частки секунди) перебування у трубі Вентурі встигають випаритися найдрібніші краплини (діаметром менше 10 мкм), але вони несуть на собі й найдрібніші пилинки, які важко вловлювати у кінцевому вловлювачі. Внаслідок цієї події, ефективність очищення може опинитися менше потрібної. Для зменшення випарення необхідно збільшувати витрату води або, що краще, встановлювати теплоутилізатори перед трубами Вентурі.

Шоста подія – осадження краплі з уловленими пилинками  $r_o$  визначає ефективність уловлення збільшених та зкоагульованих утворень «крапля-пилінка» за рахунок різноманітних сил (гравітації, доцентрових). Тут враховується осадження не тільки крапель більших за розміром ніж пилінка, але й великих пилинок, які зіткнулись з краплями менших розмірів. Процес

осадження конгломератів «крапля-пилінка» здійснюється в окремому апараті, встановленому за трубою Вентурі. Залежно від виду виробництва, технологічної схеми та інших факторів можуть бути використані різноманітні краплевловлюючі пристрої (циклони, скрубери, жалюзійні решітки).

На рис. 3 зображено узагальнену ймовірнісну блок-схему процесу пиловловлення в трубі Вентурі та кінцевого осадження в скрубері. Згідно з цією схемою ефективність пиловловлення в трубі Вентурі визначається за формулою

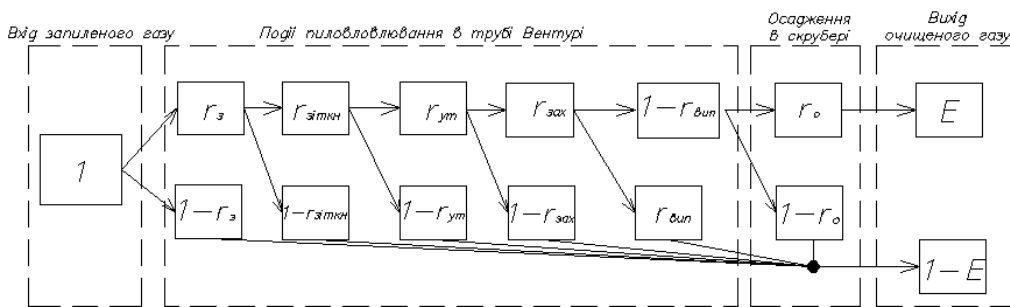


Рис.3. Ймовірнісна блок-схема опису процесу пиловловлення в скрубері Вентурі

$$E_{Т.В.} = r_3 \cdot r_{з\text{іткн}} \cdot r_{ут} \cdot r_{зах} \cdot (1 - r_{вип}), \quad (1)$$

а загальна ефективність установки в комплексі «труба Вентурі - скрубер» визначається за формулою:

$$E_o = E_{Т.В.} \cdot r_o. \quad (2)$$

Розширити опис кожної з подій, що входять у формулу (1), можна з урахуванням одночасного виповнення сумісних незалежних, але паралельних подій. Зустріч краплі і пилінки може відбуватися як за рахунок інерційних  $r_{з.и.}$ , так і сил турбулентного переносу та електростатичних сил  $r_{з.м.е.}$ . Тоді ефективність (ймовірність) зустрічі запишеться у вигляді:

$$r_3 = 1 - (1 - r_{з.і}) \cdot (1 - r_{з.м.е.}). \quad (3)$$

Зіткнення пилінки з краплею можливо як за рахунок сил інерції  $r_{з\text{іткн.и.}}$ , так і під дією турбулентності та електростатичних сил  $r_{з\text{іткн.м.е.}}$ . Ефективність зіткнення запишеться формулою:

$$r_{з\text{іткн}} = 1 - (1 - r_{з\text{іткн.і}}) \cdot (1 - r_{з\text{іткн.м.е.}}). \quad (4)$$

Усі ймовірності отриманого рівняння будуть описані в математичній формі через фізичні закономірності основних технологічних процесів у пиловловлюючих апаратах та об'єднані у рівнянні загальної  $E$  і математичну модель пиловловлення для конкретних апаратів (труба Вентурі + краплєвловлювач).

**Висновки.** Використовуючи основні положення ймовірнісного методу моделювання гідродинамічних та масообмінних процесів, розроблена блок-схема пило очищення газів в скруберах Вентурі. Вона наочно об'єднала та впорядкувала елементарні фізичні процеси, що забезпечують уловлення пилинок з газового потоку краплями рідини. Формула загальної ефективності, що отримана на основі блок-схеми, дає можливість розроблення математичної моделі пило очищення газів в скруберах Вентурі.

#### Література

1. Дубинская Ф. Е., Лебедюк Г.К. Скрубберы Вентури. Выбор, расчёт, применение. - ЦИНИХимнефтемаш.- М.-1977. -61 с.
2. Темеровский Б.З. Очистка газов в чёрной металлургии. – Днепропетровск.-Проминь. -1971.-91 с.
3. Качан В.Н. Оптимизация параметров обеспыливания воздуха и предупреждения взрывов пыли в угольных шахтах: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Качан Владимир Николаевич.-Донецк.- МЧП«ЛИК» - 1996.-45с.
4. Качан В.Н., Акинина А.Г. Теоретические основы очистки воздуха. - Макеевка: ДонГАСА, 2001.-130 с.

## Вероятностная блок-схема моделирования процесса пылеочистки газов в скруберах Вентури

В.Б. Довгалюк, И.А. Качан

*Процесс обеспыливания газов в скруберах Вентури представлен в виде совокупности шести элементарных условнозависимых событий. Последние на основе вероятностного метода моделирования гидродинамических и массообменных процессов использованы для разработки вероятностной блок-схемы пылеулавливания, с помощью которой получена формула для определения общей эффективности очистки.*

## Probabilistic blockdiagram of process modeling dust cleaning gas in theVenturi scrubber

V. Dovgalyk, I. Kachan

*The gas dedusting process in the Venturi scrubber is presented as a set of six elementary conditionally dependent events. Based on a probabilistic modeling method of hydrodynamic and mass transfer processes, the events were used to develop a probabilistic dedusting flow chart by means of which was obtained a formula for determining the over all effectiveness of purification.*

Надійшла до редакції 27.04.2016р.