

Реферат

Дослідження локального газовмісту тарілок провального типу з невеликим вільним перерізом.

Листів – _____, ілюстрацій – _____, таблиць – _____, додатків – _____, посилань – _____.

Тарілки провального типу достатньо широко використовуються в хімічній та споріднених з нею галузях промисловості

Тарілки провального типу працюють в достатньо вузькому діапазоні ефективної роботи тарілок. Тому розробка методики точного розрахунку тарілок провального типу є актуальною задачею. Для дослідження режимів роботи тарілок провального типу необхідно дослідити зміну локального газовмісту газорідинного шару на тарілках.

Крім того зміна локального газовмісту в газорідинному шарі на тарілці провального типу може характеризувати ефективність роботи тарілок провального типу.

Метою представленої роботи є дослідження локального газовмісту з метою дослідження режимів роботи тарілок провального типу. Необхідно вдосконалювати методику виміру локального газовмісту в газорідинному шарі.

Ключові слова: Газовміст, колона, тарілка провального типу, газорідинний шар, швидкість газу та рідини, гідродинамічний режим, гідравлічний опір, вільний переріз.

Перелік умовних позначень

D – діаметр апарату, м.

H – висота газорідного шару, мм

w – швидкість газу в перерізі колони, м/с

f —вільний переріз тарілки, м²/м²;

Δp – гідравлічний опір, кг/м²,

L і G — вагові швидкості рідини і газу (пара), кг/м²год

γ_{Γ} і $\gamma_{\text{ж}}$ — питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м³;

g —прискорення сили тяжіння, м/сек²;

$d_{\text{э}}$ —еквівалентний діаметр щілини (отвору у тарілці), м;

$\mu_{\text{ж}}$ — в'язкість рідини, сп;

$\mu_{\text{в}}$ — в'язкість води при 20°, сп.

Зміст

Вступ

1 Аналітичний огляд

1.1 Загальні відомості

2 Мета і задачі роботи

3 Опис експериментальної установки

4 Експериментальні дослідження

4.1 Методика проведення експериментів

4.2 Проведення та обробка експериментальних даних

5 Техніка безпеки при роботі в лабораторії

6 Висновки

Перелік джерел посилання

Вступ

Тарілки провального типу широко застосовуються в хімічній, нафтохімічній та харчовій промисловостях.

Тарілки такого типу прості за конструкцією легкі у виготовленні, мають низьку металоємність, що дає можливість зменшити витрати на їх виготовлення. Вони зручні в експлуатації.

Їх доцільно застосовувати на виробництвах з забрудненими середовищами. Це обумовлено тим, що в апаратах можна застосовувати крупно-дірчасті тарілки з діаметром отворів до 120 мм, що дозволяє усунути проблему з можливим забрудненням отворів.

До недоліків тарілок провального типу відносять вузький діапазон їх роботи, однак цей недолік можна усунути, шляхом точної методики розрахунку.

Рішенням цієї задачі і присвячена дана робота.

1. Аналітичний огляд

1.1. Загальні відомості

Тарілки провального типу широко застосовуються у виробництві етилового спирту [1], нафтохімічної [2], содової [3], коксової [4] і інших галузях промисловості.

Особливо ефективним є застосування тарілок провального типу в колонних апаратах, що працюють із забрудненими середовищами.

Обмежує застосування тарілок провального типу відносно вузький діапазон їх ефективної роботи і відсутність надійної методики розрахунку тарілок. Це може привести до того, що зручні в експлуатації тарілки провального типу, можуть бути замінені більш дорогими контактними масо-обмінними пристроями.

Тому, вдосконалення методики розрахунку тарілок провального типу є актуальним завданням.

До важливої характеристики тарілок провального типу відноситься діапазон їх стійкої роботи. Тарілки провального типу можуть працювати при великих навантаженнях по газовій і рідкій фазі, але у відносно вузькому діапазоні їх зміни. Діапазон сталої роботи тарілок пов'язаний з гідродинамічними режимами їх роботи, які змінюють один одного при зміні співвідношення між газовою і рідкою фазою.

Режими роботи тарілок провального типу описувалися в роботах багатьох вчених [1 – 5], хоча загальної термінології назви гідродинамічних режимів барботажного шару на тарілках провального типу не було вироблено.

Важливою характеристикою роботи тарілок провального типу є діапазон їх стійкої роботи. З цією характеристикою пов'язані режими роботи тарілки провального типу, які виникають при збільшенні швидкості газу (пари) в перерізі колони при одній і тій же щільності зрошення.

У роботі [6] ці режими відображені на графіку залежності гідравлічного опору тарілки провального типу від швидкості газу (пара) в перерізі колони (рис. 1) і визначені в такий спосіб:

– режим змоченої тарілки (I) існує при малих швидкостях пари (газу). Контакт пари і рідини відбувається на поверхні крапель і струменів рідини, що стікають з тарілок. Цей режим не є робочим;

– барботажний режим (II) спостерігається при збільшенні швидкості пари. На тарілці існує шар світлої рідини, через який барботують пара і шар піни. При подальшому збільшенні швидкості пари, висота шару світлої рідини зменшується, а висота шару піни збільшується;

– режим емульгування або аерації (III) характеризується тим, що шар світлої рідини майже повністю зникає. На тарілці з'являється сильно турбулізований шар піни. Цей режим також, як і режим (II), є робочим;

– хвильової режим (IV) спостерігається при подальшому збільшенні швидкості пари. Рідина і піна на тарілці приходять в хвилеподібний рух;

«Захлинання» настає при збільшенні швидкості пари, коли рідина і піна не стікають з тарілки, а викидаються на тарілку, що розташована вище

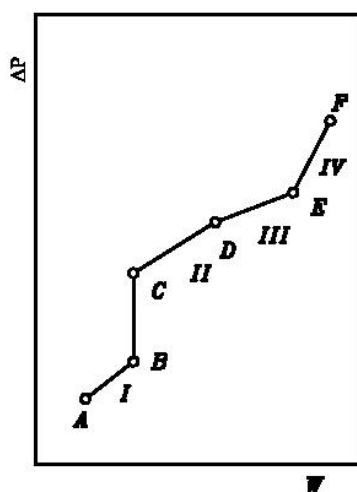


Рисунок 1. Графік залежності опору тарілок провального типу від швидкості пари:

I – IV – гідродинамічні режими роботи.

Точки В, С, D, Е є моменти переходу від одного режиму до іншого. Точка Е визначає максимально допустиму швидкість пари у колоні.

В роботі [7] наведено графік (рис. 2) залежності гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колоні. На графіках критичними точками А і Б характеризуються гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу.

В роботі йдеться про те, що при незначних швидкостях газу до моменту, відповідного точці А ($L = \text{const}$), рідина на тарілці не затримується. Зі збільшенням швидкості газу (точка А і вище) відбувається накопичення рідини і видно шар, через який барботируют бульбашки газу. При подальшому збільшенні швидкості газу (від точки А до точки В) шар рідини на тарілці провального типу зменшується і зростає величина спіненого шару. При збільшенні швидкості вище точки В настає захлинання колоні.

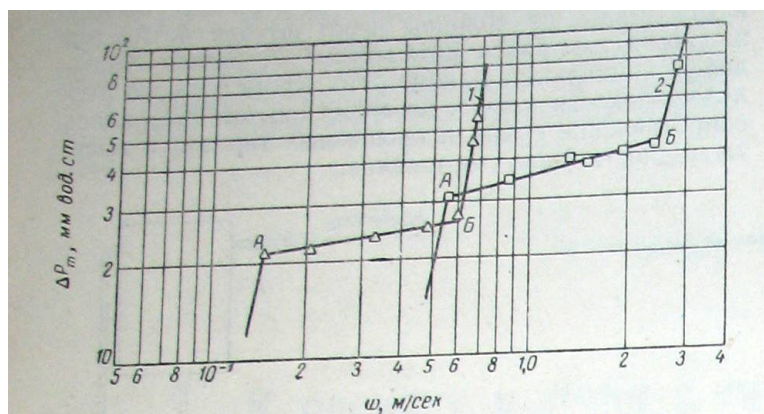


Рисунок 2. Залежність гідравлічного опору ΔP_t тарілок провального типу від швидкості газу ω в перерізі колоні:

1 – тарілка решітчаста (діаметр колоні 0,24 м, вільний перетин 15%, еквівалентний діаметр щілин 0,006 м, ширина щілини 0,003 м) система: вода – повітря, $L = 10800 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$; 2 – тарілка дірчаста (діаметр колоні 0,075 м, вільний переріз 30%, еквівалентний діаметр щілин 0,0046 м,) система: миш'яково-содовий розчин – коксовий газ; $L = 18000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Автори роботи відзначають, що іноді (зазвичай на тарілках з великим вільним перерізом) перелом прямий в точці В не виявляється. Однак, при швидкостях вище точці В спостерігається утворення нового гідродинамічного режиму, званого струменевим або ежекційним. Цей режим характерний тим, що газові струмені пробивають на тарілці шар рідини, не розсіюючись в ній, а раніше утворина піна руйнується і рідина перебуває в стані великих бризок і струменів.

У роботі [8] приведена типова залежність повного гідравлічного опору дірчастих і решітчастих тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колони при постійній щільності зрошення, рис. 3.

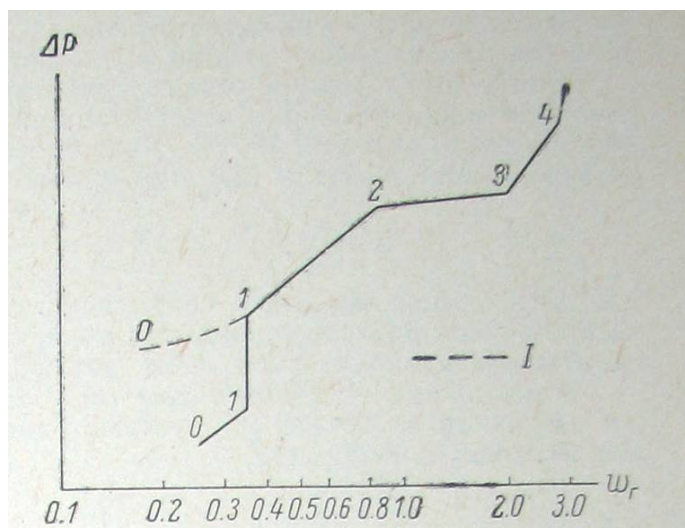


Рисунок 3. Типова залежність повного гідравлічного опору ΔP (кгс/м²) решітчастих та дірчастих тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колон ω_2 (м/с):
 0–1 – режим змоченою тарілки; 1–2 – барботажний режим;
 2–3 – пінний режим; 3–4 – хвильової режим; I – режим змоченою тарілки у дірчастих тарілок.

Автори роботи відзначають, що на характер залежності ΔP від w_2 великий вплив мають геометричні параметри тарілок провального типу. Так на тарілках з невеликим діаметром отворів $d_0 = 0,0034$ і $0,0042$ м (рис. 4) [8] можна виділити перехідний режим від барботажного до пінного, який на графіку характеризується практично повною відсутністю зростання ΔP . Візуально спостерігається утворення великочаранкуватої піни при наявності великих міхурів газу. Відсутність зростання ΔP пояснюється різким збільшенням протікання рідини в результаті її поступового накопичення з ростом w_2 . Зі збільшенням щільності зрошення і діаметра отворів тарілки інтервал швидкості, при якому існує цей перехідний режим, скорочується. Дослідження виявили наявність режиму, іноді в досить великому інтервалі швидкостей w_2 , що характеризує перехід від пінного режиму до хвилевого, який також супроводжується практичним припиненням зростання гідравлічного опору тарілки (рис. 4, криві 2 і 3; рис. 5 крива 2). Стан шару рідини на тарілці при цьому режимі вкрай нестійкий, періодично спостерігаються, то стабільний шар рухомий піни, то обертання і коливання газорідного шару.

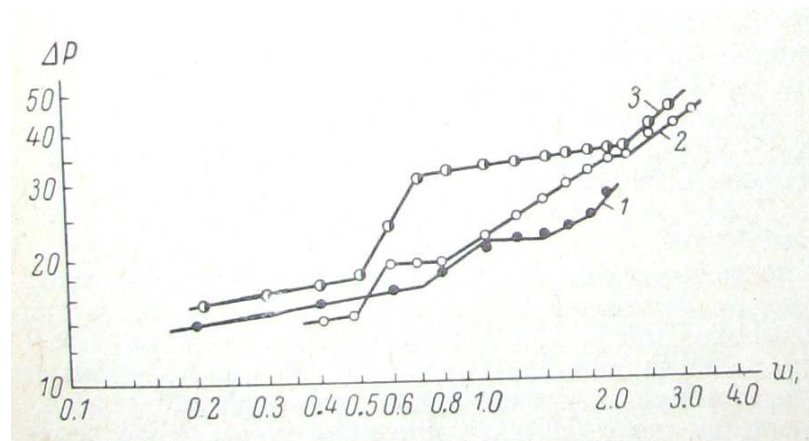


Рисунок 4. Залежність гідравлічного опору ΔP (кгс/м²) дірчастих тарілок провального типу при $d_0 = 0,0034$ і $0,0042$ м від швидкості газу w_2 (м/с):

крива 1 – щільність зрошення $L = 6130$ кгс/(м²·год), тарілка (діаметр апарату 0,25 м, товщина тарілки 0,004 м, діаметр отвору 0,0042 м, вільний переріз 17,2%; крива 2 – щільність зрошення $L = 1730$ кгс/(м²·год), тарілка (діаметр

апарату 0,25 м, товщина тарілки 0,004 м, діаметр отвору 0,0042 м, вільний переріз 17,2%; крива 3 – щільність зрошення $L = 6130$ кгс/(м²·год), тарілка (діаметр апарату 0,35 м, товщина тарілки 0,0038 м, діаметр отвору 0,0034 м, вільний переріз 20,5%

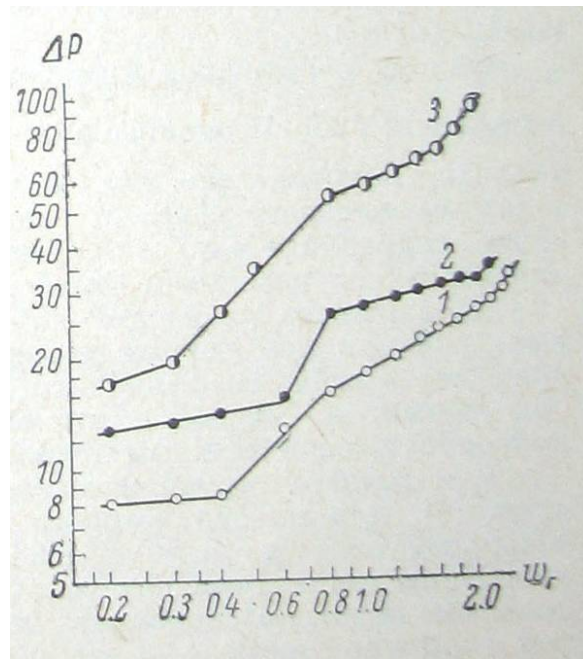


Рисунок 5. Залежність гідравлічного опору ΔP (кгс/м²) дірчастих тарілок провального типу при $d_0 = 0,0058$ м від швидкості газу w_2 (м/с):

крива 1 – щільність зрошення $L = 1730$ кгс/(м²·год), тарілка (діаметр апарату 0,25 м, товщина тарілки 0,004 м, діаметр отвору 0,0058 м, вільний перетин 21,55%); крива 2 – щільність зрошення $L = 10200$ кгс/(м²·год), тарілка (діаметр апарату 0,25 м, товщина тарілки 0,004 м, діаметр отвору 0,0058 м, вільний переріз 21,55%.

Однак, незважаючи на ці особливості, на графіках ясно розрізняються точки переходу від одного режиму до іншого, які є точками перегину прямих відрізків, що описують зміну ΔP з ростом w_2 . Швидкість в перерізі колони,

при якій утворюється пінний режим мало залежить від щільності зрошення і становить зазвичай $w_2 \leq 1,0$ м/с. Точка хвилеутворення, яка характеризує початок переходу від пінного режиму до хвильового, з'являється для кривих тарілок з великим вільним перерізом при більш високих швидкостях газу, ніж для тарілок з невеликим вільним перерізом, і, навпаки, з ростом L швидкість газу, відповідна початку хвилеутворення, зменшується.

У роботі відзначається, що робота тарілок провального типу при хвильовому режимі не може бути визнана доцільною, так як при хвильовому режимі різко зростає бризкоунос, що знижує ефективність пиловловлення. Крім того, коливання шару рідини на тарілці при хвильовому режимі приймають самі різні форми, аж до оголення деякої частини отворів, що може привести до прориву запиленого газу без будь-якого контакту з рідиною, що зрошує

У роботі [9] вказується на необхідність визначення меж швидкості газу в перерізі колони, при яких на тарілці провального типу буде існувати пінний режим. Відзначається, що отримана раніше залежність для визначення початку хвильового режиму на решітчастих тарілках виявилася неприйнятною, так як вона була отримана в апаратах малого діаметра (0,057 і 0,114 м), і тому перебуває під сильним впливом діаметра апарату, зі збільшенням якого дуже значно зростає гранично допустима швидкість газу для пінного режиму $w_{кр}$.

В роботі аналізується механізм переходу від пінного режиму до хвильового режиму наступним чином. При певній швидкості газу w_2 і постійної щільності зрошення настає перехід між пінним і хвильовим режимами, при яких збільшення ΔP з ростом w_2 практично дорівнює нулю. Очевидно, що при пінному режимі зі збільшенням w_2 , частка вільного перерізу тарілки $(I - \tau)$ зайнята газом зростає. При незмінній кількості рідини, що підводиться до тарілки, і зниженні частки отворів τ , через які відбувається провал рідини, природно повинна збільшитися швидкість витікання рідини w_u . В іншому випадку мав би інтенсивно рости шар піни на

тарілці, що в цей період (перехід від пінного режиму до хвильового режиму) не спостерігається. Збільшення ж w_u можливо тільки з ростом гребенів хвиль на поверхні шару піни, висота яких Δh викликає витікання рідини. Зі збільшенням Δh відбувається зменшення шару рідини, який затримується на тарілці h_0 . У певний момент збільшення Δh досягає таких розмірів, що починається розгойдування рідини на тарілці, стає вже очевидно хвильовий режим. Величина h_0 досягає при цьому мінімальних значень, тому можливі струменеві прориви газу, збільшується бризкоунос, можливо і зниження ефективності пиловловлювання. На нестійкий характер перехідного режиму вказують наступні спостереження при експериментах. При $w_2 > 2,0$ м/с, з ростом швидкості газу іноді спостерігалось збільшення ΔP , що супроводжується закономірним збільшенням шару піни на тарілці, як раптом несподівано без будь-яких змін w_2 і щільності зрошення шар піни зменшувався. Значення ΔP падало, виникав яскраво виражений хвильовий режим (рідина починала підкидатися над тарілкою, а в окремих ділянках тарілка практично оголювалася). Подібна ж картина спостерігалася і в зворотному порядку, при зменшенні w_2 при хвильовому режимі. Очевидно, причина цих явищ в накладенні коливань, що мають місце в шарі піни. Якщо продовжити розгляд гідродинамічного процесу на тарілці з ростом w_2 то, мабуть, в подальшому зменшення τ вже не може компенсуватися збільшенням w_u , починається різке збільшення шару рідини на тарілці і ΔP , що врешті-решт призводить до захливання.

У роботі [10] опубліковані результати гідравлічних досліджень тарілки провального типу з вільним перетином $f = 20,7\%$, ширина щілини становила, $a = 0,00316$ м, товщина тарілки – $\delta = 0,002$ м. Тарілка була встановлена в колоні діаметром $D = 0,114$ м.

Результати досліджень наведені на рис 6 [10]. З графіків видно, що характер залежності гідравлічного опору тарілки провального типу залежить від щільності зрошення. При досягненні щільності зрошення $L = 16000$ кг/(м²·год), у режимі аерації, гідравлічний опір тарілки практично не залежить

від швидкості газу в перерізі колони. Як оптимальний режиму роботи тарілок провального типу автори цієї роботи рекомендують режим аерації.

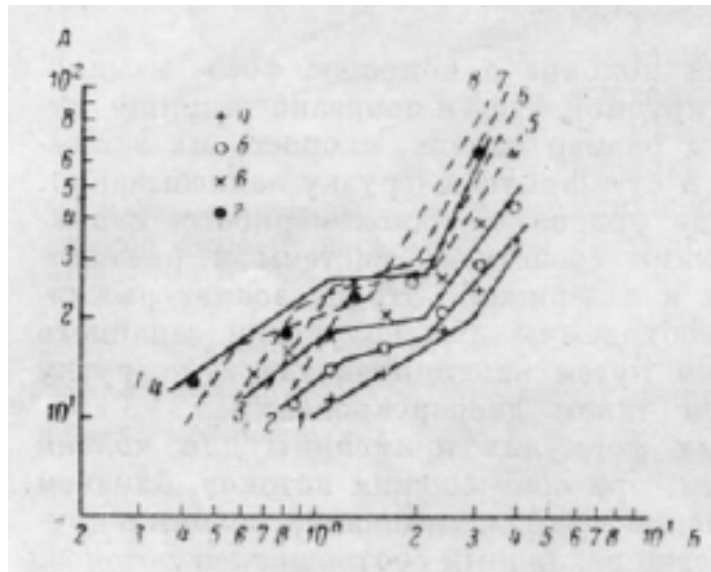


Рисунок 6. Дослідні дані по опору тарілки провального типу:

A – опір зрошуваної тарілки, $\Delta P_{2-жс}$ (мм вод. ст.);

B – швидкість газу в повному перерізі колони, w (м/с). Дослідні дані при зрошенні L (кг/ (м²·год)): 1 – 1650, 2 – 3780, 3 – 8060, 4 – 16000.

Автори роботи, розглядаючи режими роботи тарілок провального типу, вказують на відміну роботи тарілок провального типу з невеликим вільним перетином і з великим вільним перетином ($f \geq 30\%$). Вони пишуть, що на тарілках з великим вільним перетином не можна простежити зміну гідродинамічних режимів з ростом швидкості газу. Практично аж до точки захлинання на них утворюється невисокий газорідинний шар з тонкими постійно розвиваючими плівками рідини, що постійно розриваються. Характерним для роботи подібних тарілок, особливо при високих швидкостях газу в перерізі колони ($w > 1-2$ м/с), є інтенсивний бризконос, так як практично відсутній сепаруючий шар газорідинної піни.

У роботі [12] автори також зазначають відмінність роботи тарілок провального типу різного вільного перерізу. Вони відзначають, що на

тарілках з великим вільним перерізом і значним еквівалентним діаметром отворів ($f \geq 30\%$ і $d_e \geq 0,012$ м для дірчастих або $d_e \geq 0,006$ м для решітчастих тарілок) у всьому діапазоні швидкостей газу існував тільки режим погано структурованою піни. На тарілках з малим вільним перерізом і невеликим еквівалентним діаметром отворів ($f < 15\%$, $d_e < 0,006$ м) спостерігається тільки перехідний режим.

У монографії [13] проведено огляд робіт по визначенню режимів роботи тарілок провального типу. Вказується, що різні дослідники по-різному оцінюють візуальну картину, що спостерігається при тих чи інших режимах на тарілках провального типу, і дають різні найменування цим режимам. Відзначається, що перехід від одного режиму до іншого визначається гідродинамічними факторами (швидкостями газу і рідини), а також властивостями фаз і геометрією тарілки.

З розглянутих робіт можна зробити висновок, що різні автори по-різному оцінюють режими роботи тарілок провального типу. Немає єдиної термінології у визначенні режимів роботи тарілок. Необхідні подальші дослідження тарілок провального типу з метою уточнення гідродинамічних особливостей їх роботи.

Були проведені [25] гідравлічні дослідження роботи тарілок провального типу в широкому діапазоні зміни вільного перетину тарілок від 16 до 36% на колонах різного діаметру 57, 150, 400 і 2000 мм. Діаметр отворів тарілок в колоні 57 мм становив 5 мм. В інших колонах - 12 мм. Навантаження по рідині змінювалися в межах $4 - 150 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$, швидкість газу в перерізі колони досягала 4 м/с.

Проведено також гідравлічні та кінетичні дослідження на стенді з колоною 300 мм при ректифікації системи метанол-вода (50 мол.%) На стенді з колоною 150 мм досліджували масообмін при десорбції двоокису вуглецю з води азотом. На стенді з колоною 57 мм вивчали теплообмін в барботажному шарі між нагрітим повітрям і водою.

Проведены также гидравлические и кинетические исследования на стенде с колонной 300 мм при ректификации системы метанол-вода (50 мол. %) На стенде с колонной 150 мм исследовали массообмен при десорбции двуокиси углерода из воды азотом. На стенде с колонной 57 мм изучали теплообмен в барботажном слое между нагретым воздухом и водой.

В процессе исследований измеряли гидравлическое сопротивление тарелок, высоту барботажного слоя и эффективность тарелок при различных соотношениях между газовой и жидкой фазой.

У процесі досліджень вимірювали гідравлічний опір тарілок, висоту барботажного шару і ефективність тарілок при різних співвідношеннях між газовою і рідкою фазами.

Було встановлено три гідродинамічних режиму роботи тарілок провального типу:

Было установлено три гидродинамических режима работы тарелок провального типа:

- режим рівномірного барботажу;
- режим рухомого барботажного шару;
- режим захлинання.

Режим рівномірного барботажу характеризується однорідною за всіма напрямками структурою чарункуватої піни, горизонтальною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється в часі, для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що в барботажному шарі сили тяжіння перевищують сили інерції рідини.

При висоті піни 80 – 100 мм настає режим рухомого барботажного шару, який характеризується відсутністю структурованої чарункуватої піни, криволінійною поверхнею барботажного шару. Висота вільної поверхні барботажного шару змінюється в часі для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фаз має амплітуду і частоту.

Режим захлинання характеризується руйнуванням газорідинного шару.

Найбільш характерні такі режими роботи для тарілок провального типу звичайного вільного перерізу до 25%.

Переход от режима равномерного барботажа к режиму подвижного барботажного слоя хорошо согласуется со сменой состояния открытой самоорганизующейся системы, когда она проходит точку бифуркации. Эти процессы подробно рассматриваются в синергетике, например, переход от ламинарного течения к турбулентному течению жидкости.

Перехід від режиму рівномірного барботажу до режиму рухомого барботажного шару добре узгоджується зі зміною стану відкритої системи, що самоорганізується, коли вона проходить точку біфуркації. Ці процеси докладно розглядаються в синергетиці, наприклад, перехід від ламінарної течії до турбулентної течії рідини.

Газовміст є важливим параметром газорідного шару, який утворюється на масообмінних тарілках. У роботі [14] відзначається, що газовміст значною мірою визначає ефективність роботи колони, забезпеченої масообмінними тарілками. У роботі [15] автори пов'язують зміну газовмісту на масообмінних тарілках зі зміною розподільної здатності масообмінних тарілок і коефіцієнтом масопередачі в газорідному шарі на тарілці. Тому, дослідження локальних значень газовмісту газорідного шару φ_L , є актуальним завданням.

Існує кілька різних методів визначення локальних значень газовмісту. Це методи просвічування газорідного шару гамма-променями [16 – 18], , електроконтактні [19, 20, 21] і кондуктометричні [22] методи. Методи просвічування газорідного шару гамма-променями громіздкі і незручні в роботі. Електроконтактні методи використовуються при відносно невеликих величинах газовмісту, як правило в високошарових реакторних апаратах.

Одним з відомих способів визначення локальних значень газовмісту є кондуктометричний метод [22], заснований на вимірюванні електропровідності води у вимірювальній комірці. Однак в цій роботі, виміри

проводились не на масообмінних тарілках, тому в даній роботі був обраний інший шлях визначення локального газовмісту.

Метою досліджень було створення зручного датчика вимірювання локальних значень газовмісту в газорідинному шарі, який утворюється на масообмінних тарілках. Датчиком повинно бути зручно вимірювати локальний газовміст як по висоті газорідинного шару, так і по діаметру масообмінної колони. Отримані локальні значення газовмісту можна використовувати для визначення інтегральних значень газовмісту газорідинного шару, а також для визначення висоти газорідинного шару на масообмінній тарілці. Багато авторів використовують залежність локальних значень газовмісту для аналізу ефективності масообмінних пристроїв.

Необхідно створити зручну електричну схему для вимірювання електричного опору газорідинного об'єму, який знаходиться між пластинами датчика.

Необхідно вибрати модельну газорідинну систему і провести тарировки датчика.

Після цього, підібрати рівняння для розрахунку локальних значень газовмісту.

Датчик, [23] рис. 7, для вимірювання локальних значень газовмісту являв собою дві закруглені пластини 1, висотою 0,23 м і товщиною 0,0015 м, виготовлені з нержавіючої сталі. Вони закріплювалися на планці 2, виготовленої з пластику на деякій відстані один від одного. Планка кріпилася до штанги 3, що представляла собою нержавіючу трубку, за допомогою гумової муфти 4. Провід протягувався всередині трубки і приєднувався до пластин датчика, який підключався в електричній схемі, рис. 8..

Цифровим вольтметром 2 (В7-18) фіксувалися значення вихідної напруги U (з частотою 1000 гц) на генераторі сигналів 1 (ГЗ-33) і падіння напруги V на резисторі навантаження, значення якого дорівнювало $R = 635$ ом.

Значення електричного опору r на датчику 4 розраховувалося за формулою (1)

$$r = \frac{(\Gamma - V)}{V} \cdot P \quad (1)$$

При вимірі локального значення газовмісту найбільшим коливанням схильна величина падіння напруги V на резисторі навантаження, тому що газовміст газорідинного шару в даній точці значно коливається в часі щодо своєї середньої величини. Тому, в кожному досліді фіксували не менше 10 значень V .

Для обчислення величини r_0 (опір на датчику в чистій рідині) датчик після кожної серії дослідів занурювали в ємність з робочою рідиною, яку подавали в колону. Фіксувалися значення Γ_0 і V_0 . Величину r_0 розраховували за формулою (1), де замість значень Γ і V підставляли значення Γ_0 і V_0 .

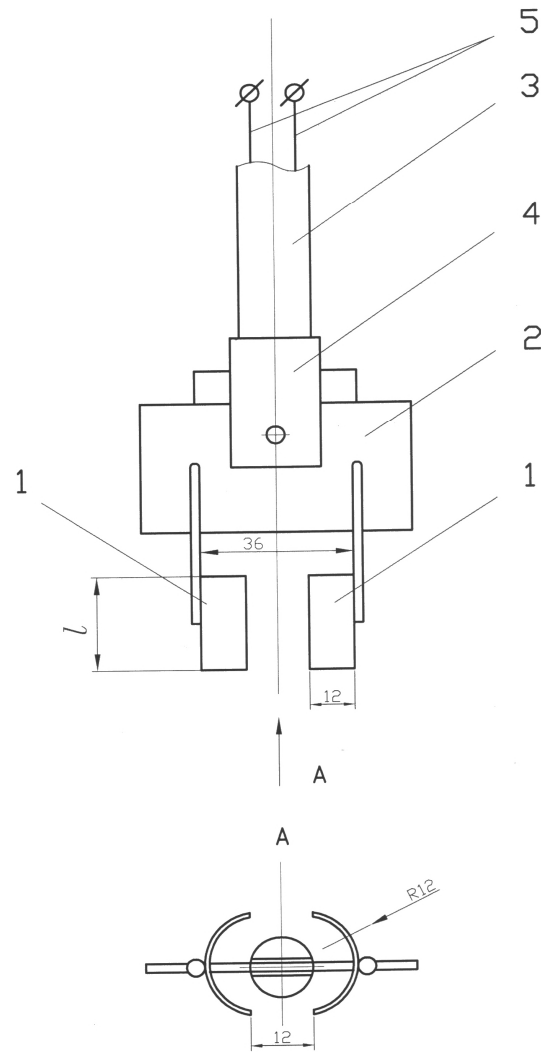


Рисунок 7. Датчик вимірювання локальних значень газівмісту
1 – пластини; 2 – планка; 3 – штанга; 4 – муфта; 5 – електропровід.

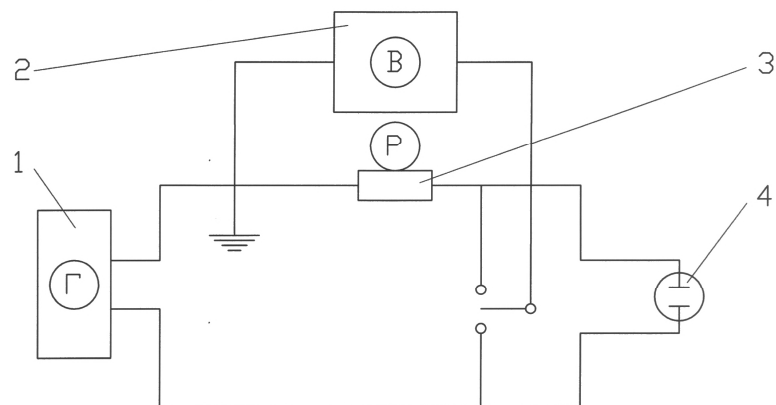


Рисунок 8. Електрична схема підключення датчика вимірювання локальних значень газівмісту

1 – генератор сигналів; 2 – цифровий вольтметр; 3 – навантажувальний резистор; 4 – датчик; 5 – тумблер.

Далі встановлювалася залежність виду

$$\varphi_l = f(K) \quad (2)$$

Коефіцієнт K визначали за рівнянням (3)

$$K = \frac{r_{cp} \cdot 635}{r_0} \quad (3)$$

Тарировка датчика.

Визначення виду залежності (3) здійснювалося наступним чином. Датчик поміщали в склянку з внутрішнім діаметром $D = 0,85$ м з робочою рідиною, рівень якої контролювали за об'ємом рідини, що подавали в склянку. Величину газовмісту між пластинами датчика встановлювали, фіксовано замірюючи об'єм рідини в склянці і обчислюючи висоту рідини між пластинами датчика. Газовміст між пластинами датчика φ_i вираховували за формулою (4)

$$\varphi_i = \frac{l_i}{l} \quad (4)$$

де l_i – поточна висота рідини в склянці, яка вимірюється від нижньої крайки датчика, м;

l – висота рідини, що вимірюється від нижньої до верхньої крайок датчика, м.

Висоти l_i і l відлічувалися від поверхні рідини в склянці, яка торкалась нижньої кромки датчика.

Для ряду значень φ_i за рівнянням (3) обчислювали коефіцієнти K і будували графік по залежності (2). Приклад графіка наведено на рис. 9..

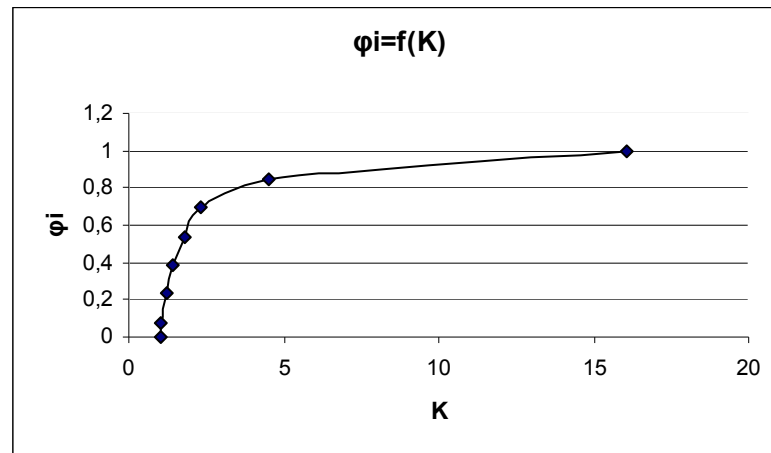


Рисунок 9. Графік залежності $\varphi_i = f(K)$.

Графіком зручніше користуватися, якщо взяти залежність локального газовмісту від величини, що зворотня коефіцієнту K , тобто

$$\varphi_i = 1/K \quad (5)$$

Приклад такого графіка показан на рис. 10.

Приклад такого графіку відображено на рис. 10.

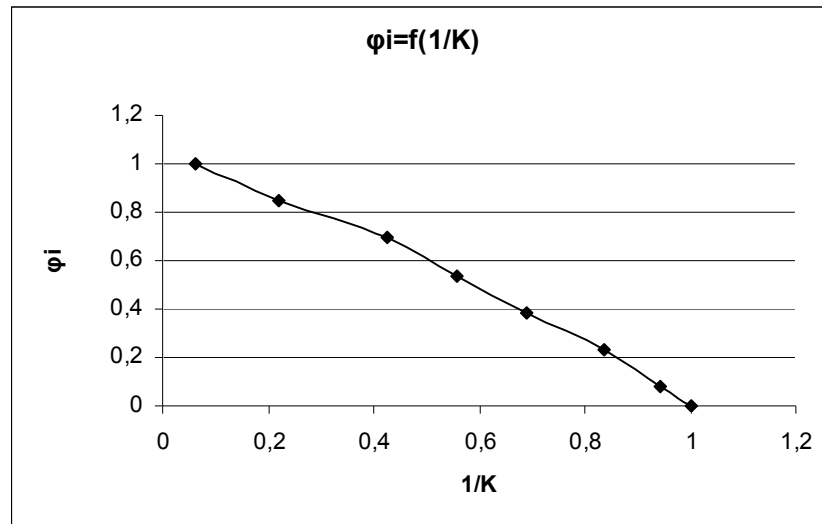


Рисунок 10. Графік залежності $\varphi_i = f(1/K)$.

Вимірювання локального газовмісту.

Для вимірювання локальних значень газовмісту датчик розташовували в колоні на певній висоті газорідинного шару та приєднували до електричної схеми.

Спочатку записували покази напруги на генераторі сигналів (5 – 10 значень). Потім перемикали тумблер 5 на вимір напруги на резисторі навантаження і записували не менше 10 значень. Далі, після визначення середнього значення вихідної напруги на генераторі – Γ_{cp} і середнього значення напруги на резисторі навантаження – V_{cp} , обчислювали значення r_{cp} за рівнянням (1), де замість величин Γ і V підставляли величини Γ_{cp} і V_{cp} .

Після декількох вимірювань датчик виймали з колони і розташовували в ємності з робочою рідиною, яку використовували для зрошення колони. Рівень рідини в ємності встановлювали по верхній крайці пластин датчика. Вимірювали значення Γ_0 і V_0 і по формулі (1) розраховували величину r_0 , підставляючи замість величин Γ і V значення Γ_0 і V_0 .

Коефіцієнт K розраховували за рівнянням (3), а локальне значення газовмісту за рівнянням (5).

Висновок.

Розроблено методику вимірювання локальних значень газовмісту газорідного шару на масообмінних тарілках кондуктометричним способом.

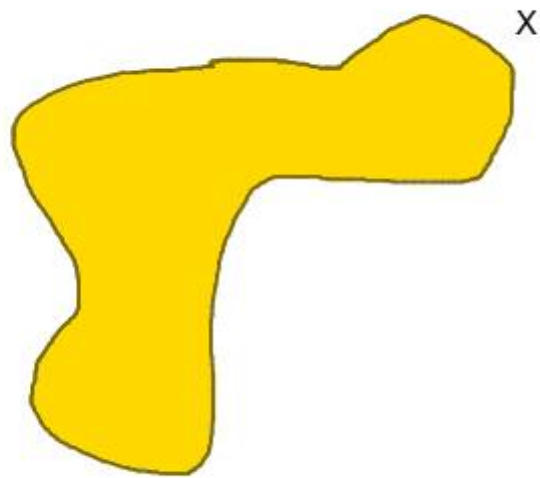
Обчислення фрактальної розмірності Мінківського для плоского зображення.

Стаття [24] присвячена обчисленню наближеного значення фрактальної розмірності плоского зображення, яка тісно пов'язана з розмірністю Мінківського. Це цікаво як мінімум з двох причин. Во-перше, виявляється, що розмірність обмеженої множини в метричному просторі може бути не тільки цілим числом, а й будь-яким невід'ємним. По-друге, значення розмірності контуру зображення (а це обмежена безліч в метричному просторі) є доброю ознакою.

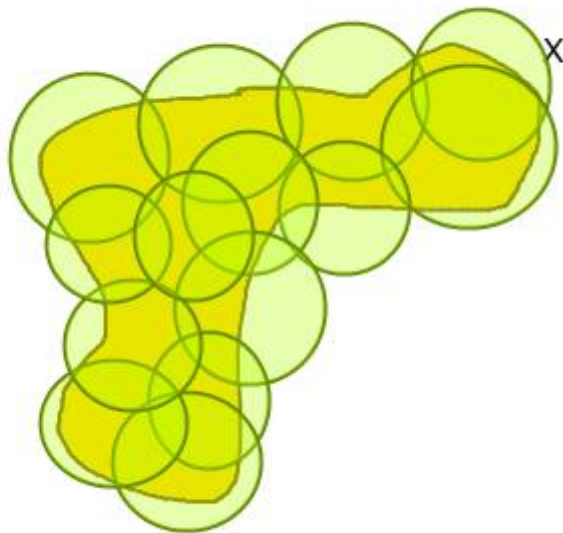
В рамках загальної топології дається кілька визначень розмірності, і з них нам цікаві будуть розмірність Хаусдорфа, розмірність Мінківського, і фрактальна розмірність. Для початку згадаємо формальний сенс тих розмірностей, які для нас інтуїтивно зрозумілі, в векторному просторі, яке нас оточує. Під базисом векторного простору ми розуміємо максимальне безліч лінійно незалежних векторів. Кількість цих векторів ми називаємо розмірністю векторного простору, або його рангом. І будь-який елемент векторного простору можна представити у вигляді лінійної комбінації базисних векторів.

Розмірність Хаусдорфа

Розмірність Хаусдорфа узагальнює поняття розмірності дійсного векторного простору, і є природним способом визначення розмірності підмножини в метричному просторі. Наприклад розмірність Хаусдорфа n -мірного (розмірність в сенсі векторного простору) унітарного простору (особливий випадок векторного простору) буде теж дорівнює n . Уявімо повне покриття безлічі X кулями радіуса не більше ніж r ,



позначимо кількість цих куль за $N(r)$



Значення $N(r)$ буде рости при зменшенні r (для повного покриття потрібно буде дедалі більше куль). Розмірністю Хаусдорфа хорошої множини X буде таке унікальне число d , що $N(r)$ буде рости як $1/r^d$ при прагненні r до нуля. Під хорошою множиною розуміються гладкі множини

без особливостей, якими наприклад володіють фрактали. Прикладами хороших множин можуть бути будь-які ідеалізовані геометричні об'єкти такі як куб, сфера і так далі.

Фрактальна розмірність

Наведемо один простий спосіб завдання фрактальної розмірності, хоча наприклад розмірність Мінківського так само є одною з фрактальних розмірностей, і вона як раз тісно пов'язана з розмірністю Хаусдорфа. Ось він простий спосіб завдання фрактальної розмірності:

Візьмемо деяку D -мірну геометричну структуру і будемо ділити інтерактивно її боки на M рівних частин (на наступній ітерації, будемо ділити кожну отриману на попередній ітерації частина так само на M частин);

Кожен рівень буде складатися з M^D частин попереднього рівня;

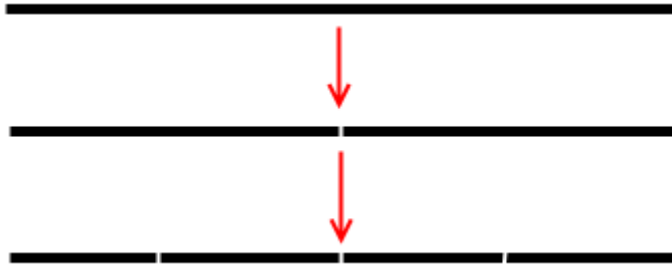
Позначимо наступним чином кількість отриманих частин $N = M^D$

Виконаємо наступне перетворення для обчислення формули для значення фрактальної розмірності D :

$$N = M^D \Rightarrow \log N = \log M^D \Rightarrow D = \frac{\log N}{\log M}$$

Розглянемо прості приклади. Візьмемо відрізок (одномірне обмежена множина), розділимо його на дві рівні частини, таким же чином будемо поступати з кожною отриманою частиною.

Таким чином, ми будемо створювати повне покриття множини

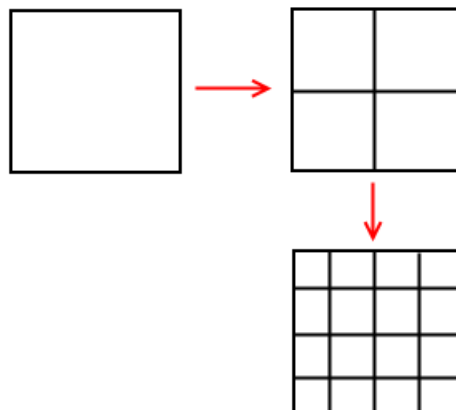


Тобто $M = 2$ і $N = 2$, тому що з кожної частини утворюється два нових шматка відрізка, обчислимо D :

$$D = \frac{\log 2}{\log 2} = 1$$

Якщо розділяти відрізок не на 2 частини, а на 3, то D все одно буде дорівнює 1, тому що $M = 3$ і $N = 3$. Ця розмірність збігається з розмірністю Хаусдорфа для хорошої множини

Давайте розглянемо аналогічну процедуру для квадрата.



Отримуємо $M = 2$ і $N = 4$, тому що розділяючи боки на 2 рівні частини, ми отримуємо 4 нових, обчислимо фрактальну розмірність

$$D = \frac{\log 2^2}{\log 2} = \frac{2 \log 2}{\log 2} = 2$$

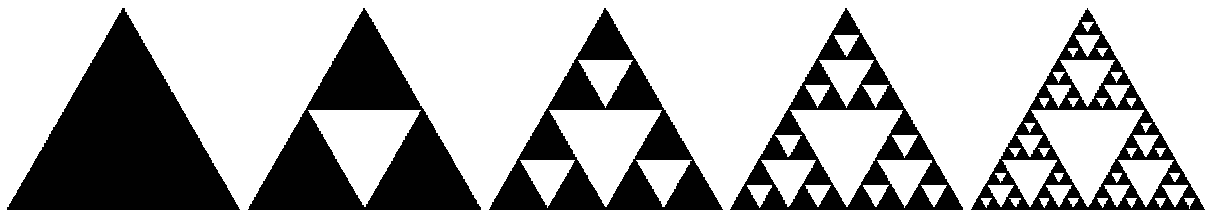
І знову отримана розмірність збіглася з розмірністю Хаусдорфа. Такий же результат можна отримати, якщо ділити боки на 3 рівні частини і т.д.

У реальному світі ми рідко маємо справу з ідеалізованими об'єктами, що ж буде якщо ми розглянемо не зовсім хороший геометричний об'єкт, наприклад криву Коха, згадаємо алгоритм генерації такої множини. На кожній новій ітерації, кожен шматок кривої, який є прямим відрізком, ділиться на три рівні частини, потім середній шматок забирається, а на його місце стає конструкція, що нагадує перевернуту букву V, кожне ребро якої дорівнює прибраній частині відрізка (а також дорівнює само і тим які залишилися).

Іншими словами $M = 3$, тому що відрізок ділиться на три рівні частини, а $N = 4$, тому що кожна частина перетворюється в 4 частини рівних $1/4$ від оригіналу. Тоді фрактальна розмірність такої множини при нескінченному ітеруванні буде дорівнювати наступним значенням:

$$D = \frac{\log 2^2}{\log 3} = \frac{2 \log 2}{\log 3} \approx 1.26$$

Як інший приклад давайте глянемо на трикутник Серпінського



На кожній ітерації одна сторона ділиться на 2 частини, тобто $M = 2$, а в результаті виходить 3 частини, тобто $N = 3$, тоді

$$D = \frac{\log 3}{\log 2} \approx 1.58$$

Виникає звичайно питання, ось ми отримали цифри деякі, ну розмірність стала дробовою, і що? Чи є в цьому якийсь сенс, або це просто математичні штучки. Суворого формулювання з описом сенсу дрібності розмірності немає, але можна її інтерпретувати в такий спосіб, на деякому інтуїтивному рівні. Фрактальна розмірність чутлива до всякого роду недосконалостей реальних об'єктів, дозволяючи розрізняти і індивідуалізувати те, що раніше було безлико і невиразно.

В курсі з аналізу комплексних систем згадується таке трактування: дробової розмірності – це свого роду щільність самоподібності. Але говорячи про реальні об'єкти читач відразу ж скаже, але ж і крива Коха і трикутник Серпінського далекі від реальності, що ж робити тоді? Як я згадав вище, наведене визначення фрактальної розмірності є простим, і одним з декількох. Давайте перейдемо до більш складного визначення фрактальної розмірності.

Розмірність Мінківського

Розмірність Мінківського – це один із способів завдання фрактальної розмірності обмеженої множини в метричному просторі, визначається наступним чином:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log \frac{1}{\epsilon}} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{-\log \epsilon}$$

Де $N(\epsilon)$ мінімальне число множин діаметра ϵ , якими можна покрити вихідне множину.

Якщо межа не існує, то розглядають верхню і нижню межі і говорять відповідно про верхню та нижню розмірності Мінківського. Верхня і нижня розмірності Мінківського тісно пов'язані з розмірністю Хаусдорфа, інтуїтивно це легко вловити за способом завдання розмірності. Зазвичай

згадані три розмірності збігаються, і тільки в дуже специфічних випадках має сенс їх розрізняти, але це не наші випадки.

Розмірність Мінківського має так само інша назва – box-counting dimension, через альтернативний спосіб її визначення, який до речі підказує спосіб обчислення цієї самої розмірності. Розглянемо двовимірний випадок, хоча аналогічне визначення поширюється і на n-мірний випадок. Візьмемо обмежену множину в метричному просторі, наприклад чорно-білу картинку, намалюємо на ній рівномірну сітку з кроком ϵ , і закрасимо ті осередки сітки, які містять хоча б один елемент шуканої множини.

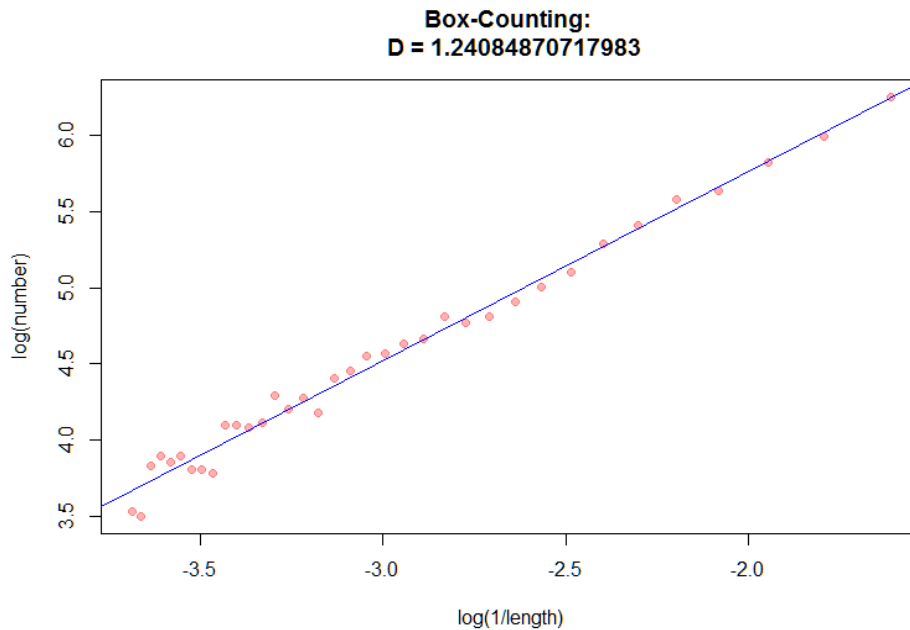
Далі почнемо зменшувати розмір комірок, тобто ϵ , тоді розмірність Мінківського буде обчислюватися за вищенаведеною формулою, досліджуючи швидкість зміни відношення логарифмів. Ця фраза може бути не відразу зрозуміла, але думаю, все прояснить алгоритм, який використовується для обчислення наближеного значення розмірності Мінківського.

Box-counting алгоритм

Алгоритм виводиться в такий спосіб, позначимо за D_{bc} наближене значення розмірності Мінківського. Запишемо визначення цієї розмірності, прибравши межу, її ми будемо імітувати в ітераціях, в яких буде змінюватися розмір комірок.

$$D_{bc} = \frac{\log N(\epsilon)}{\log \frac{1}{\epsilon}} \Leftrightarrow D_{bc} \log \frac{1}{\epsilon} = \log N(\epsilon) \Leftrightarrow D_{bc} \log \frac{1}{\epsilon} - \log N(\epsilon) = 0$$

Якщо зафіксувати розміри комірок ϵ і розглядати D_{bc} як невідоме, то легко помітити, що наведений вираз є формулою лінії. Ми можемо запустити цикл з різних розмірів комірок ϵ і записувати результат. Давайте завдамо ці результати на графік і побудуємо лінію регресії для отриманої множини даних, це значення і буде апроксимацією фрактальної розмірності.



Давайте перейдемо до коду, а потім до прикладів

Box-counting алгоритм, C# код

Для обчислення розмірності Мінківського нам необхідні будуть дві процедури, почнемо з лінійної регресії. Взагалі вирішити задачу лінійної регресії можна різними способами, найчастіше для цього використовується метод градієнтного спуску і метод найменших квадратів (Normal equations). Перший добре працює на великих і широких даних, другий слабенький на широких даних через необхідність обчислювати зворотну матрицю, ширина якої дорівнює ширині масиву даних. У нашому випадку ширина всього 2, так що це наш випадок. У векторизованих виглядах рішення лінійної регресії записується в такий спосіб:

$$\vec{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{y}$$

Обернену матрицю будемо шукати за наступною формулою:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}.$$

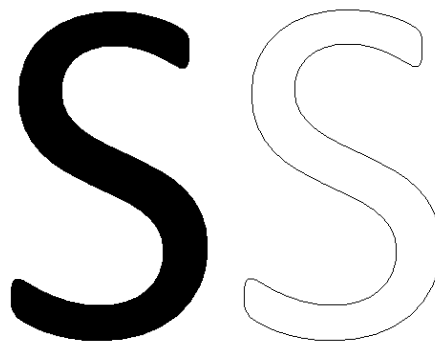
У нульовому елементі вихідного вектора міститься кутовий коефіцієнт (це і буде шукана розмірність Мінківського), а в наступному елементі - зміщення. І власне ключова функція, яка повертає датасет, за яким необхідно обчислити кутовий коефіцієнт

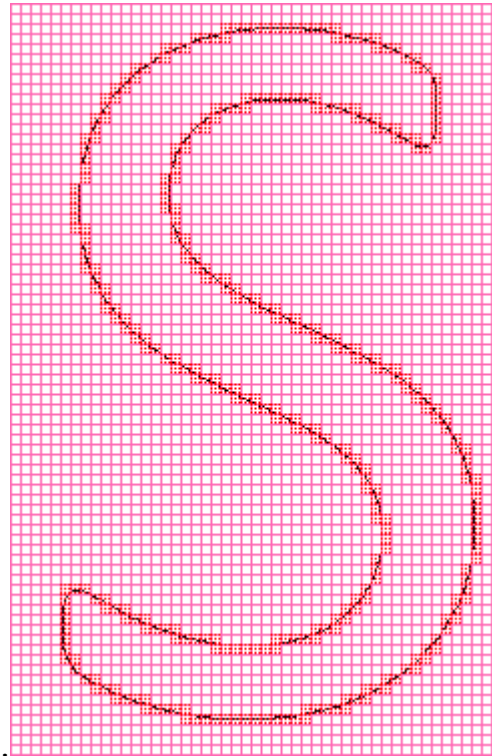
Приклади

Буква S.

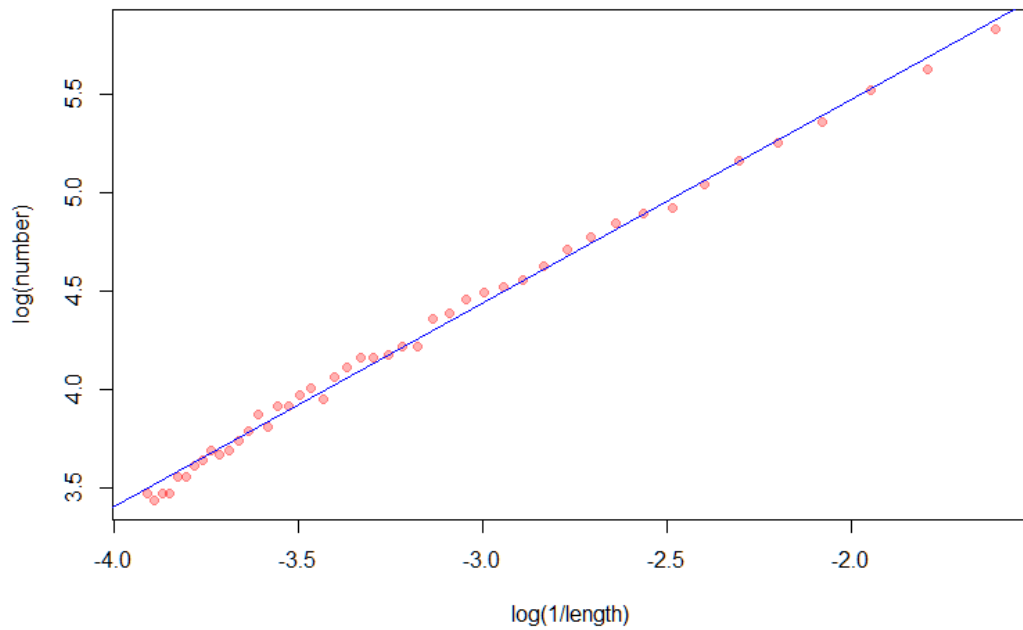
Рассмотрим простое изображение без *особенностей*, т.е. с гладкими краями. В компьютерном зрении часто анализируется не изображение целиком, а его контур

Розглянемо просте зображення без особливостей, тобто з гладкими краями. У комп'ютерному зорі часто аналізується не зображення цілком, а його контур

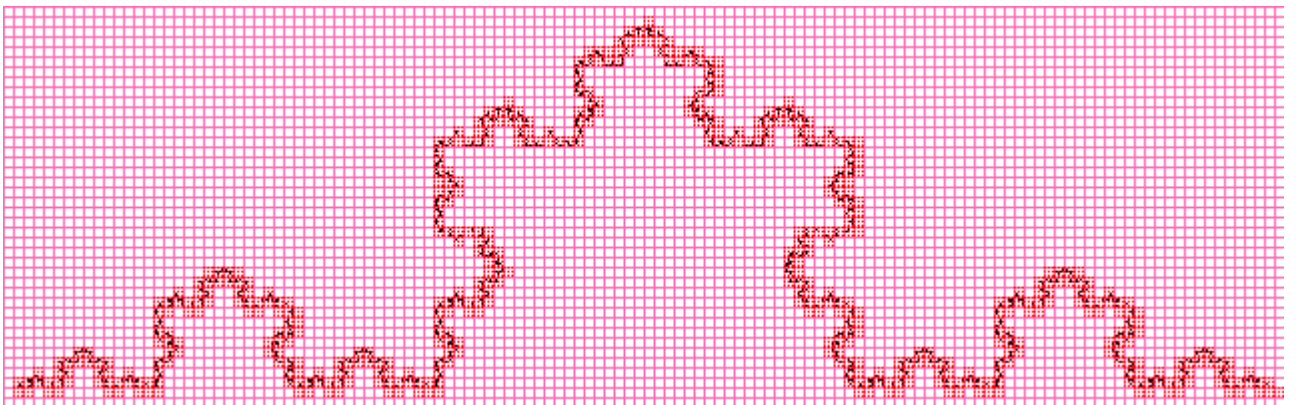
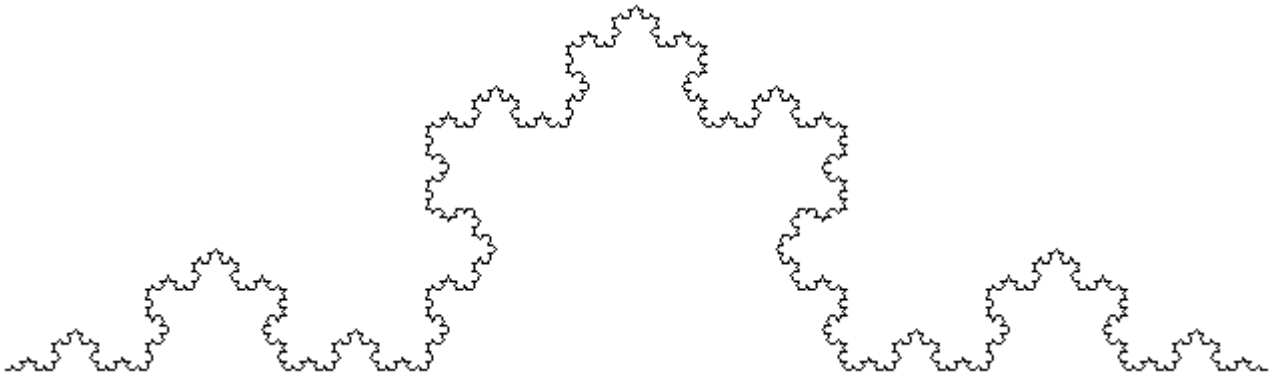




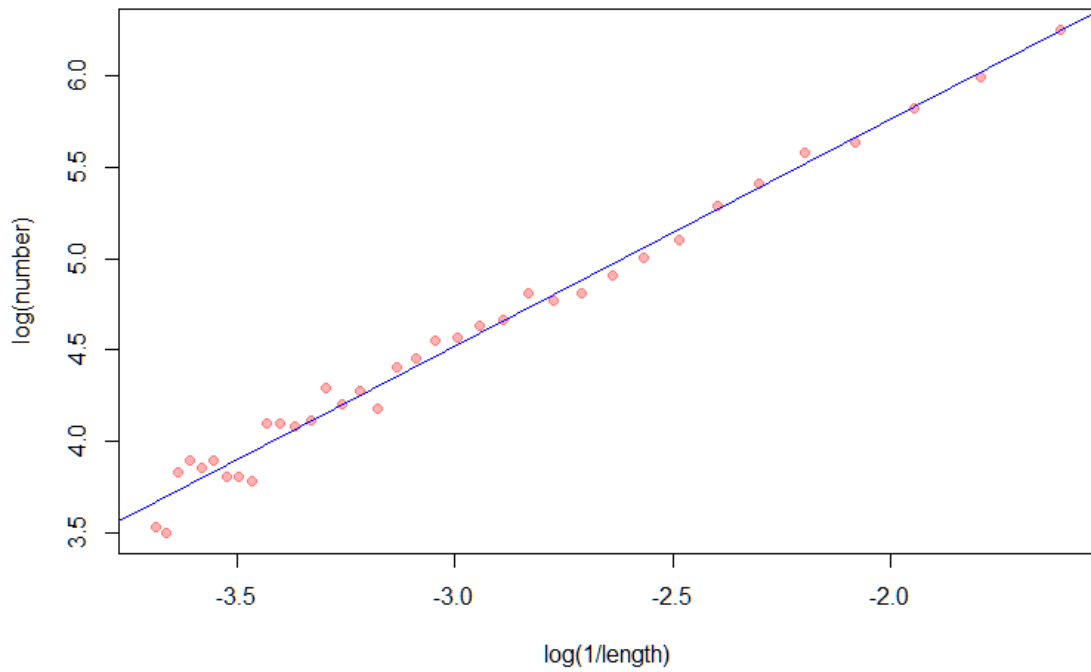
Box-Counting:
D = 1.03502830489668



Фрактальна розмірність в районі одиниці повідомляє нам про те, що фігура дійсно без особливостей, і цілком гладка.

Кривая Коха

Box-Counting:
D = 1.24084870717983



Значення вийшло майже таке ж як і при обчисленні фрактальної розмірності аналітично, очевидно, що при збільшенні дозволу зображення, значення, що апроксимоване наближатиметься до обчисленого аналітично.

У роботі [25] були проведені гідравлічні дослідження роботи тарілок провального типу в широкому діапазоні зміни вільного перерізу тарілок від $f = 0,16$ до $0,36$ на колонах різного діаметру $D = 0,057, 0,15, 0,4$ і $2,0$ м. Діаметр отворів тарілок в колоні $D = 0,057$ м становив $d_0 = 0,005$ м. у інших колонах - $d_0 = 0,012$ м. Навантаження по рідині змінювалися в межах $L = 4-150 \frac{м^3}{м^2 час}$, швидкість газу в перерізі колони досягала $w = 4$ м/с.

Було встановлено три гідродинамічних режиму роботи тарілок провального типу:

- режим однорідного барботажного шару;
- режим рухомого газорідинного шару;
- режим руйнування газорідинного шару;

Режим рівномірного барботажа характеризується однорідною в усіх напрямках структурою чарункуватої піни, горизонтальної вільною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється в часі для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що в барботажному шарі сили тяжіння перевищують сили інерції рідини.

При висоті барботажного шару $H_{п}=0,08-0,1$ настає режим рухомого газорідинного шару, який характеризується відсутністю структурованої чарункуватої піни, криволінійної вільною поверхнею шару. Локальні висоти вільної поверхні газорідинного шару змінюються в часі, мають амплітуду і частоту для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фази.

Таким чином, режим рухомого газорідинного шару настає в точці біфуркації барботажного шару.

Режим руйнування газорідинного шару характеризується руйнуванням газорідинного шару.

У роботі робляться наступні висновки:

– максимальна ефективність тарілок провального типу досягається при режимі рухомого газорідинного шару;

– режим рухомого газорідинного шару починається при висоті шару $H_n=0,08-0,1$ м для всіх досліджених тарілок провального типу і навантажень по газу і рідині;

– початок максимальної ефективної роботи тарілок провального типу необхідно вважати тоді, коли настає режим рухомого газорідинного шару.

Для створення методики гідравлічного розрахунку тарілок провального типу необхідно більш детально вивчити особливості режимів роботи, які виникають на тарілках. Гідравлічний розрахунок включає такі параметри, як гідравлічний опір тарілок, Δp , діапазон ефективної роботи, висоту світлої рідини на тарілці, висоту газорідинного шару, а також його газовміст.

Середній газовміст, розраховується, робота [13], по формулі:

$$\varphi_{cp} = 1 - \frac{h_0}{H_n}, \quad (6)$$

де h_0 – висота світлої рідини на тарілці, м;

H_n – висота газорідинного шару, м.

Особливості гідродинамічних режимів тарілок провального типу найбільш повно можна вивчити, якщо провести вимірювання локальних значень газовмісту газорідинного шару, φ , на тарілках [26]. Методика вимірювання локальних значення газовмісту газорідинного шару кондуктометричним способом опублікована в роботі [23].

Мета дослідження

Дослідження локальних значень газовмісту в газорідинному шарі на тарілці провального типу кондуктометричним способом. Необхідно встановити особливості різних режимів роботи тарілок провального типу.

Устаткування і методи досліджень

Вимірювання локальних значень газовмісту проводили за методикою, описаною в роботі [23].

Датчик для вимірювання локального газовмісту показаний на рис.11.

Локальні значення газовмісту вимірювали на тарілці провального типу, встановленої в колоні з діаметром $D_k=0,24$ м. Вільний переріз тарілки становив $f = 0,1025$, діаметр отворів $d_0 = 0,004$ м, товщина тарілки $\delta=0,004$ м.

Вимірювання проводили для режиму однорідного барботажного шару і режиму рухомого газорідного шару.

5. Результати дослідження

На рис. 12 показаний графік залежності локального газовмісту від висоти установки датчика від плато тарілки при швидкості газу в перерізі колони, $w = 0,289$ м/с і щільності зрошення, $L = 8,64 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{ час}}$

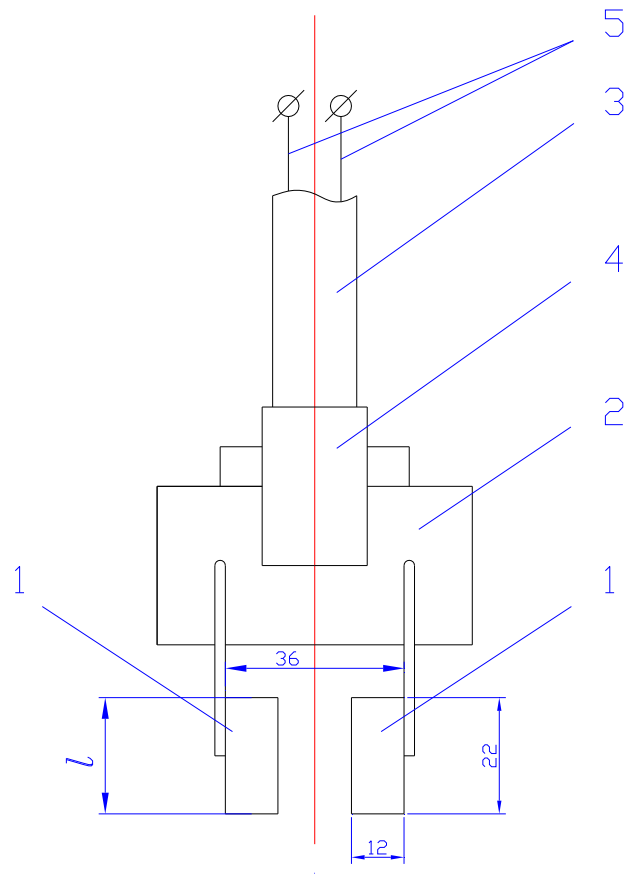


Рисунок 11. Датчик вимірювання локальних значень газомісту:
1 – пластини; 2 – планка; 3 – штанга; 4 – муфта; 5 – електропровід

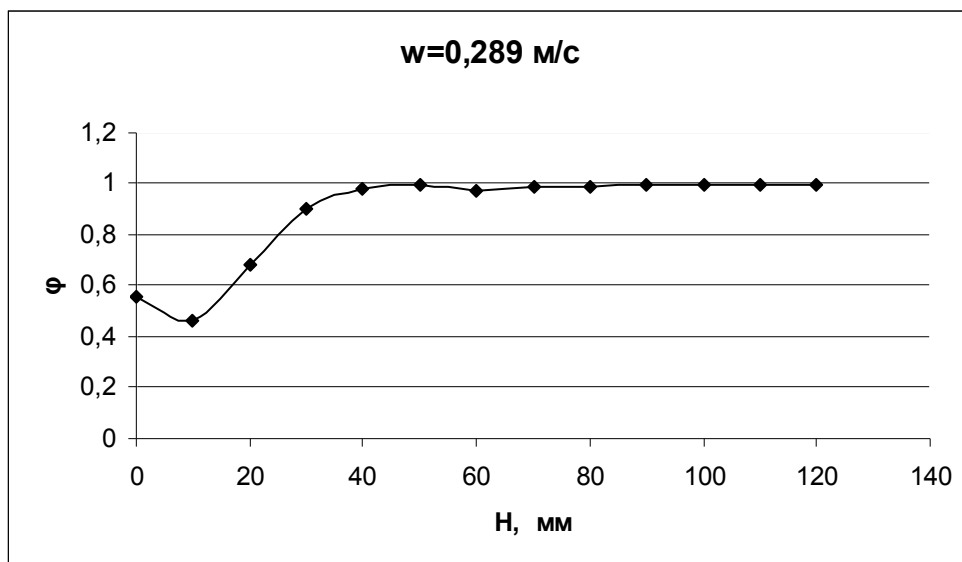


Рисунок 12. Залежність локальних значень газосодержання, φ , від висоти установки датчика, H

На рис. 13 показаний графік залежності локального газовмісту від висоти установки датчика від плато тарілки при швидкості газу в перерізі колони, $w = 0,491$ м/с, і щільності зрошення рідини, $L = 8,64 \frac{м^3}{м^2 \text{ час}}$.

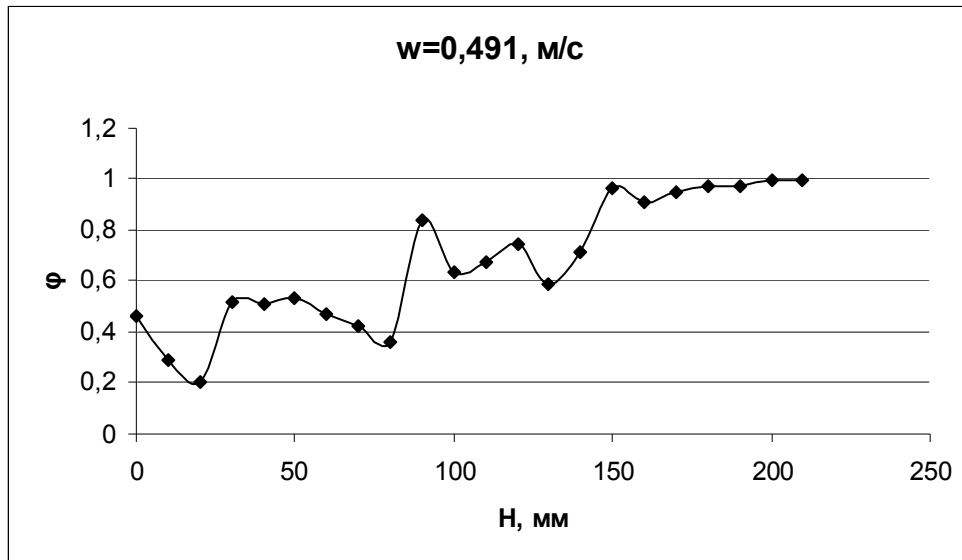


Рисунок 13. Залежність локальних значень газовмісту ϕ від висоти установки датчика, Н

З рис.12, 13 видно, що характер зміни кривих на обох графіках значно відрізняється один від іншого. Такі криві можна охарактеризувати фрактальними розмірностями D [24]. Були визначені фрактальні розмірності Міньківського обох кривих за методикою, зрозумілою з роботи [24].

Фрактальна розмірність для кривої (рис. 12) виявилася рівною $D = 1$, тобто, ця крива, спрямляема, і не є фракталом.

Фрактальна розмірність для кривої (рис.14) виявилася рівною $D = 1,14$, тобто, ця крива є фракталом.

В роботі [24] фрактали зв'язуються з турбулентністю. Стверджується, що повністю розвинена турбулентність має фрактал з розмірністю $D > 2$. Можна зробити висновок, що в режимі барботажного шару, турбулентність повністю відсутня, а в режимі рухомого газорідного шару проявляється

його турбулентність і, отже, пульсаційна зміна параметрів газорідинного шару таких, як висота стовпа світлої рідини, висота газорідинного шару, його газовмісту.

У разі виникнення пульсацій в динамічних системах, якою є газорідинний шар на тарілках провального типу, в них виникають атрактори [25]. Атрактори, в свою чергу, пов'язані з фракталами [24].

Якщо розглядати такий параметр, як висота світлої рідини, то він пов'язаний з одного боку з газовмістом, рівняння (6), з іншого боку з гідравлічним опором тарілок провального типу [13].

Гідравлічний опір тарілки складається з гідравлічного опору сухої тарілки, гідравлічного опору газорідинного шару на тарілці і гідравлічного опору обумовленого силами поверхневого натягу. Висота світлої рідини пов'язана з гідравлічним опором газорідинного шару на масообмінній тарілці.

В роботі [25] приведений графік залежності гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в сеченні колонни для різних щільностей зрошення рідини (рис. 14).

В роботі [25] наведено графік залежності гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колонни для різної щільності зрошення рідини (рис. 14).

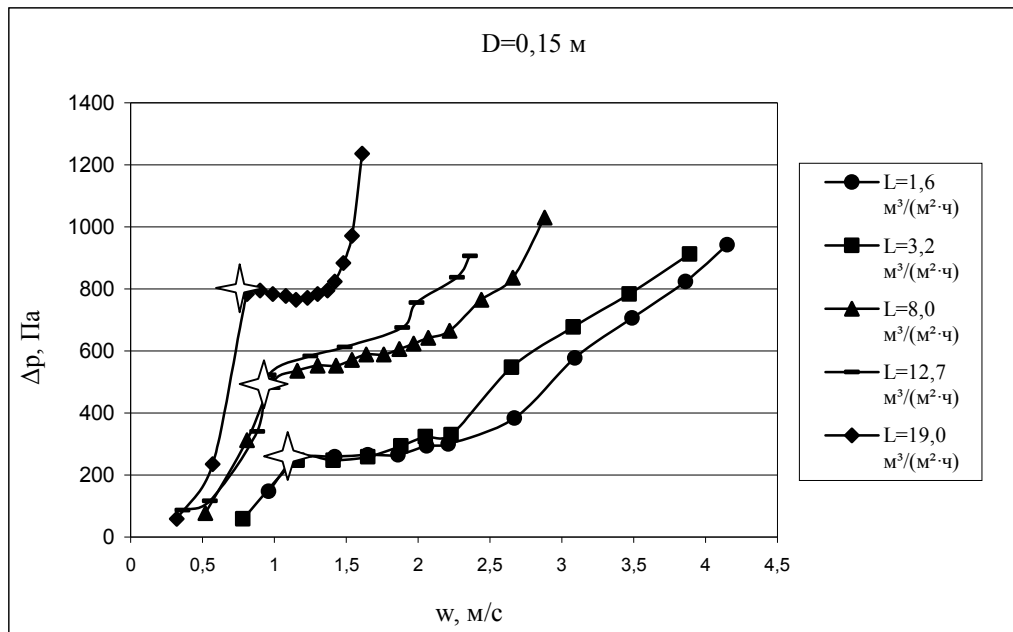


Рисунок 14. Залежність гідравлічного опору тарілки провального типу, Δp , від швидкості газу в перерізі колони, w , при вільному перерізі тарілки № 10 [25] – $f = 0,16$; ☆ – точка біфуркації.

З графіків видно, що для різної щільності зрошення, гідравлічний опір практично не залежить від швидкості газу в перерізі колони в режимі рухомого газорідного шару. Він залежить тільки від щільності зрошення. Це можна пояснити наявністю атрактора гідравлічного опору (або вірніше стовпа світлої рідини) тарілки провального типу при даній щільності зрошення в режимі рухомого газорідного шару.

Подібну залежність гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колони видно з графіків (рис. 2) для режиму роботи тарілок провального типу між точками А і В.

Висновки

1. Проведено вимірювання локального газовмісту на тарілці провального типу в залежності від висоти установки датчика від плато тарілки.

2. Розраховані фрактальні розмірності кривих графіків локального газовмісту для режиму однорідного барботажного шару і режиму рухомого газорідинного шару.

3. Встановлено, що фрактальна розмірність для кривої, локального газовмісту для режиму рухомого газорідинного шару дорівнювала $D = 1,14$, тобто ця крива є фракталом.

4. Встановлено, що режим рухомого газорідинного шару є турбулентним і має атрактор гідравлічного опору тарілки провального типу.

5. Для різної щільності зрошення рідини, гідравлічний опір тарілок провального типу, практично не залежить від швидкості газу в перерізі колони в режимі рухомого газорідинного шару. Він залежить тільки від щільності зрошення.

2. Мета та задачі роботи

Метою даної роботи є дослідження гідравлічних характеристик тарілок провального типу.

Задачі роботи: вдосконалення методики визначення локального газовмісту газорідного шару на масообмінних тарілках; дослідити локальний газовміст на тарілках провального типу з метою встановити особливості різних режимів роботи тарілок провального типу

3. Опис експериментальної установки

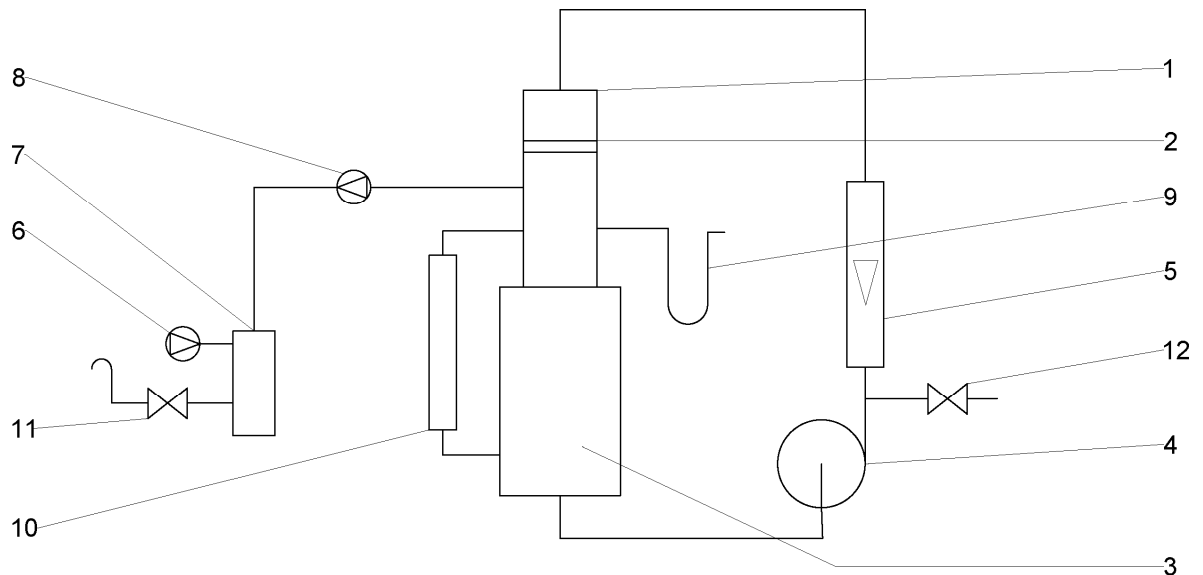


Рисунок 15. Схема експериментальної установки

1–колона; 2–тарілка провального типу; 3–куб колони; 4–насос; 5–ротаметр;
6–газодувками; 7–розподільна камера; 8–діафрагма; 9–U-подібний манометр;
10–рівнемір; 11,12–вентилі.

Установка являє собою колону 1 з встановленою в ній тарілкою провального типу 2. З куба колони 3 вода подається насосом 4 і проходить через ротаметр 5. Повітря за допомогою газодувки 6 через розподільну камеру 7 і діафрагму 8 подається в колону нижче тарілки для забезпечення протитоку і утворення барботажного шару. Витрата повітря і рідини регулюється вентилями 11 і 12. Гідравлічний опір вимірюємо U-подібним манометром 9.

4 Експериментальні дослідження

4.1 Методика проведення експериментів

Рідина за допомогою насоса подається в верхню частину колони через зрошувач. За допомогою ротаметру встановлюємо витрату рідини, якій відповідає певна щільність зрошення. Знизу під тарілку за допомогою газодувки подаємо повітря. Її витрата встановлюємо по діафрагмі, і для певної щільності зрошення змінюємо витрату повітря.

Для кожного співвідношення по газу і рідини вимірюємо гідравлічний опір і висоту піни. Гідравлічний опір тарілки вимірюємо за допомогою манометра, вхід якого з'єднаний з точкою відбору гідравлічного опору, експериментальної установки. Вихід манометра з'єднаний з атмосферою. Висоту піни вимірюємо за допомогою сантиметрової лінійки.

4.2. Проведення та обробка експериментальних даних

Були проведені експерименти з виміру локального газовмісту по висоті газорідинного шару на тарілці провального типу. Датчик встановлювали по осі колони. Експерименти проводили на модельній системі вода – повітря .

Таблиця 1 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	2,823015	2,823015	1	453,2633	25,77405
20	0,282301	2,823015	2,540714	0,9	164,8699	25,77405
40	0,564603	2,823015	2,258412	0,8	87,67228	25,77405
60	0,846904	2,823015	1,976111	0,7	66,32663	25,77405
80	1,129206	2,823015	1,693809	0,6	53,47881	25,77405
100	1,411507	2,823015	1,411508	0,5	45,38858	25,77405
120	1,693809	2,823015	1,129206	0,4	39,67267	25,77405
140	1,97611	2,823015	0,846905	0,3	35,73967	25,77405
160	2,258412	2,823015	0,564603	0,2	32,16276	25,77405
180	2,540713	2,823015	0,282302	0,1	28,69714	25,77405
200	2,823015	2,823015	0	0	25,77405	25,77405

Таблиця 1.1 Експериментальні данні для таблиці 1

№ п/п	Объем порции, мл	Vg, в	Vo, в	г, ом
1	0	1,51711	0,88504	453,2633
		1,51673	0,88477	
		1,51634	0,88454	
		1,51605	0,8847	
		1,51624	0,88531	
		1,516494	0,884872	
2	20	1,51163	1,19884	164,8699
		1,51117	1,19956	
		1,51059	1,19963	
		1,51079	1,19955	
		1,51056	1,19997	
		1,510948	1,19951	
3	20	1,50773	1,32471	87,67228
		1,50771	1,32425	
		1,50697	1,32431	
		1,50697	1,32412	
		1,50651	1,32427	
		1,507178	1,324332	
4	20	1,50388	1,36129	66,32663
		1,50391	1,36144	
		1,50316	1,36124	
		1,50291	1,36131	
		1,50276	1,36047	
		1,503324	1,36115	
5	20	1,49989	1,38207	53,47881
		1,49831	1,38171	
		1,49738	1,38164	
		1,49747	1,38151	
		1,49722	1,38152	
		1,498054	1,38169	
6	20	1,49639	1,39691	
		1,49636	1,39669	
		1,49646	1,39651	
		1,49656	1,39638	
		1,49649	1,39663	

		1,496452	1,396624	45,38858
7	20	1,49591	1,40823	
		1,49601	1,40796	
		1,49602	1,40801	
		1,49591	1,40778	
		1,49589	1,40793	
		1,495948	1,407982	39,67267
8	20	1,49519	1,41576	
		1,49525	1,41552	
		1,49524	1,41511	
		1,49493	1,41549	
		1,49481	1,41522	
		1,495084	1,41542	35,73967
9	20	1,49386	1,42225	
		1,49408	1,42168	
		1,49397	1,42198	
		1,49371	1,42171	
		1,49343	1,42136	
		1,49381	1,421796	32,16276
10	20	1,49331	1,42855	
		1,49318	1,42831	
		1,49291	1,42851	
		1,49301	1,42853	
		1,49296	1,42868	
		1,493074	1,428516	28,69714
11	20	1,49197	1,43104	
		1,49205	1,43094	
		1,49195	1,43068	
		1,49192	1,43751	
		1,49176	1,43851	
		1,49193	1,433736	25,77405

12	в воді	1,49021	1,44891	
		1,49016	1,44881	
		1,49031	1,44882	
		1,49049	1,44891	
		1,49035	1,44886	
		1,490304	1,448862	18,16299

Таблиця 3 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	3,105316	3,105316	1	425,3193	26,9335
20	0,282301	3,105316	2,823015	0,909091	174,4152	26,9335
40	0,564603	3,105316	2,540713	0,818182	87,74454	26,9335
60	0,846904	3,105316	2,258412	0,727273	66,07865	26,9335
80	1,129206	3,105316	1,97611	0,636364	65,68797	26,9335
100	1,411507	3,105316	1,693809	0,545455	54,9	26,9335
120	1,693809	3,105316	1,411507	0,454545	45,35901	26,9335
140	1,97611	3,105316	1,129206	0,363636	39,23146	26,9335
160	2,258412	3,105316	0,846904	0,272727	35,84133	26,9335
180	2,540713	3,105316	0,564603	0,181818	32,40667	26,9335
200	2,823015	3,105316	0,282301	0,090909	28,77836	26,9335
220	3,105316	3,105316	0	0	26,9335	26,9335

Таблиця 4 Експериментальні данні для таблиці 3

№ п/п	Объем		V_g , в	V_0 , в	r , ом
	порции, мл				
1	0		1,53942	0,92073	
			1,53939	0,92188	
			1,53909	0,92202	
			1,53881	0,92183	
			1,53877	0,92218	
			1,539096	0,921728	425,3193
2	20		1,53492	1,20379	
			1,53433	1,20357	
			1,53407	1,20336	
			1,53414	1,20341	

		1,53382	1,20412	
		1,534256	1,20365	174,4152
3	20	1,52917	1,34362	
		1,52914	1,34309	
		1,52935	1,34336	
		1,52892	1,34364	
		1,52868	1,34338	
		1,529052	1,343418	87,74454
4	20	1,52237	1,37965	
		1,52262	1,37919	
		1,52305	1,37921	
		1,52263	1,37905	
		1,523	1,37896	
		1,522734	1,379212	66,07865
5	20	1,52041	1,37812	
		1,52017	1,37794	
		1,52021	1,37755	
		1,52007	1,37753	
		1,52017	1,37731	
		1,520206	1,37769	65,68797
6	20	1,51784	1,39728	
		1,51753	1,39707	
		1,51795	1,39715	
		1,51795	1,39682	
		1,51828	1,39729	
		1,51791	1,397122	54,89884
7	20	1,51129	1,41071	
		1,51181	1,41049	
		1,51132	1,41033	
		1,51094	1,41063	
		1,51075	1,41019	
		1,511222	1,41047	45,35901
8	20	1,50883	1,42111	
		1,50901	1,42113	
		1,50874	1,42077	
		1,50857	1,42097	

			1,50864	1,42086	
			1,508758	1,420968	39,23146
9	20		1,50799	1,42755	
			1,50775	1,42731	
			1,50766	1,42714	
			1,50771	1,42703	
			1,50791	1,42719	
			1,507804	1,427244	35,84222
10	20		1,50612	1,43262	
			1,50574	1,43255	
			1,50523	1,43241	
			1,50511	1,43252	
			1,50538	1,43197	
			1,505516	1,432414	32,40667
11	20		1,50308	1,43751	
			1,50307	1,43752	
			1,50315	1,4376	
			1,50299	1,43838	
			1,50281	1,43827	
			1,50302	1,437856	28,77836
12	20		1,50181	1,44081	
			1,50184	1,44071	
			1,50181	1,44035	
			1,50157	1,44082	
			1,50161	1,44043	
			1,501728	1,440624	26,9335
13	в воде		1,50076	1,45671	
			1,50081	1,45633	
			1,50082	1,45661	
			1,50071	1,45649	
			1,50066	1,45651	
			1,500752	1,45653	19,27936

Таблиця 5 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	2,89359	2,89359	1	712,1171	27,79128
20	0,282301	2,89359	2,611289	0,902439	275,5341	27,79128
40	0,564603	2,89359	2,328987	0,804878	123,2488	27,79128
60	0,846904	2,89359	2,046686	0,707317	77,05946	27,79128
80	1,129206	2,89359	1,764384	0,609756	61,6499	27,79128
100	1,411507	2,89359	1,482083	0,512195	52,0126	27,79128
120	1,693809	2,89359	1,199781	0,414634	44,38975	27,79128
140	1,97611	2,89359	0,91748	0,317073	38,95123	27,79128
160	2,258412	2,89359	0,635178	0,219512	35,27038	27,79128
180	2,540713	2,89359	0,352877	0,121951	31,71024	27,79128
200	2,823015	2,89359	0,070575	0,02439	29,16843	27,79128
205	2,89359	2,89359	0	0	27,79128	27,79128

Таблиця 6 Експериментальні данні для таблиці 5

№ п/п	Объем порции, мл	V_g	V_0	r
1	0	1,55323	0,73199	
		1,55326	0,73223	
		1,55296	0,73202	
		1,55286	0,73191	
		1,55277	0,73213	
		1,553016	0,732056	712,1171
2	20	1,54851	1,07986	
		1,54871	1,07988	
		1,54827	1,07938	
		1,54771	1,07987	
		1,54753	1,07934	
		1,548146	1,079666	275,5341
3	20	1,54132	1,29095	
		1,54147	1,29061	
		1,54153	1,29072	
		1,54131	1,29062	
		1,54096	1,29103	

			1,541318	1,290786	123,2488
4	20		1,53865	1,37184	
			1,53842	1,37201	
			1,53831	1,37158	
			1,53841	1,37213	
			1,53828	1,37207	
			1,538414	1,371926	77,05946
5	20		1,53509	1,39909	
			1,53516	1,39901	
			1,53468	1,39897	
			1,53453	1,39883	
			1,53421	1,39869	
			1,534734	1,398918	61,6499
6	20		1,53216	1,41633	
			1,53228	1,41637	
			1,53212	1,41643	
			1,53211	1,41601	
			1,53191	1,41547	
			1,532116	1,416122	52,0126
7	20		1,52636	1,42662	
			1,52639	1,42646	
			1,52636	1,42619	
			1,52573	1,42633	
			1,52552	1,42621	
			1,526072	1,426362	44,38975
8	20		1,52309	1,43494	
			1,52307	1,43512	
			1,52308	1,43515	
			1,52275	1,43463	
			1,52264	1,4347	
			1,522926	1,434908	38,95123
9	20		1,52126	1,44121	
			1,52118	1,44093	
			1,52065	1,44102	

			1,52082	1,44096	
			1,52121	1,44081	
			1,521024	1,440986	35,27038
10	20		1,51797	1,44534	
			1,51755	1,44555	
			1,51776	1,44536	
			1,51753	1,44534	
			1,51735	1,44566	
			1,517632	1,44545	31,71024
11	20		1,51546	1,44858	
			1,51484	1,44881	
			1,51441	1,44834	
			1,51526	1,44797	
			1,51428	1,44791	
			1,51485	1,448322	29,16843
12	5		1,51118	1,44761	
			1,51106	1,44779	
			1,51099	1,44808	
			1,51089	1,44731	
			1,51121	1,44774	
			1,511066	1,447706	27,79128
13	в воді		1,50945	1,46514	
			1,50963	1,46507	
			1,5094	1,46521	
			1,5092	1,46497	
			1,50907	1,46491	
			1,50935	1,46506	19,19659

Таблиця 7 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від h и g_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	g_0
0	0	2,292112	2,292112	1	483,4099	30,10466
20	0,352633	2,292112	1,939479	0,846154	136,4497	30,10466
40	0,705265	2,292112	1,586847	0,692308	70,80514	30,10466

60	1,057898	2,292112	1,234214	0,538462	53,85611	30,10466
80	1,41053	2,292112	0,881582	0,384615	43,54464	30,10466
100	1,763163	2,292112	0,528949	0,230769	36,02931	30,10466
120	2,115796	2,292112	0,176316	0,076923	31,87975	30,10466
130	2,292112	2,292112	0	0	30,10466	30,10466

Таблиця 8 Експериментальні данні для таблиці 7

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo	r	
1	0		1,54591	0,87703	
			1,54567	0,87741	
			1,54496	0,87732	
			1,54519	0,87728	
			1,54414	0,87748	
			1,545174	0,877304	483,4099
2	20		1,53846	1,26529	
			1,53805	1,26564	
			1,53818	1,26594	
			1,53779	1,26613	
			1,53761	1,26691	
			1,538018	1,265982	136,4497
3	20		1,53338	1,37974	
			1,53409	1,37967	
			1,53382	1,37971	
			1,53316	1,37933	
			1,53245	1,37932	
			1,53338	1,379554	70,80514
4	20		1,53217	1,41209	
			1,53182	1,41175	
			1,53185	1,41228	
			1,53129	1,41191	
			1,53116	1,41152	
			1,531658	1,41191	53,85611
5	20		1,52996	1,43099	
			1,52911	1,43091	
			1,52939	1,43118	

			1,52874	1,43105	
			1,52847	1,43089	
			1,529134	1,431004	43,54464
6	20		1,52379	1,44172	
			1,52361	1,44131	
			1,52308	1,44141	
			1,52305	1,44169	
			1,52279	1,44125	
			1,523264	1,441476	36,02931
7	20		1,52116	1,44808	
			1,52097	1,44806	
			1,52071	1,44861	
			1,52079	1,44791	
			1,52049	1,44795	
			1,520824	1,448122	31,87975
8	10		1,51759	1,44851	
			1,51747	1,44853	
			1,51709	1,44835	
			1,51712	1,44842	
			1,51661	1,44871	
			1,517176	1,448504	30,10466
9	в воде		1,51277	1,46822	
			1,51248	1,46815	
			1,51226	1,46792	
			1,51192	1,46784	
			1,51221	1,46785	
			1,512328	1,467996	19,17636

Таблиця 9 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	2,38027	2,38027	1	550,3739	29,5808
20	0,352633	2,38027	2,027637	0,851852	140,7001	29,5808
40	0,705265	2,38027	1,675005	0,703704	72,23677	29,5808
60	1,057898	2,38027	1,322372	0,555556	53,11781	29,5808
80	1,41053	2,38027	0,96974	0,407407	42,79289	29,5808

100	1,763163	2,38027	0,617107	0,259259	35,74745	29,5808
120	2,115796	2,38027	0,264474	0,111111	31,44538	29,5808
135	2,38027	2,38027	0	0	29,5808	29,5808

Таблиця 10 Експериментальні данні для таблиці 9

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo	г	
1	0		1,53858	0,82391	
			1,53827	0,82399	
			1,53816	0,82401	
			1,53775	0,82365	
			1,53761	0,82414	
			1,538074	0,82394	550,3739
2	20		1,53406	1,25584	
			1,53381	1,25519	
			1,53377	1,25622	
			1,53366	1,25546	
			1,53343	1,25503	
			1,533746	1,255548	140,7001
3	20		1,53184	1,37541	
			1,53191	1,37521	
			1,53174	1,37556	
			1,53164	1,37498	
			1,53142	1,37515	
			1,53171	1,375262	72,23677
4	20		1,52816	1,41007	
			1,52798	1,41021	
			1,52809	1,41003	
			1,52825	1,41014	
			1,52786	1,41011	
			1,528068	1,410112	53,11781
5	20		1,52579	1,42972	
			1,52553	1,42948	
			1,52557	1,42926	
			1,52551	1,42909	
			1,52562	1,42887	

			1,525604	1,429284	42,79289
6	20		1,52343	1,44212	
			1,52338	1,44213	
			1,52343	1,44209	
			1,52337	1,44219	
			1,52306	1,44221	
			1,523334	1,442148	35,74745
7	20		1,52133	1,44955	
			1,52154	1,44961	
			1,52141	1,44944	
			1,52131	1,44963	
			1,52127	1,44971	
			1,521372	1,449588	31,44538
8	15		1,51936	1,45201	
			1,51933	1,45186	
			1,51923	1,45156	
			1,51946	1,45179	
			1,51971	1,45172	
			1,519418	1,451788	29,5808
9	в воде		1,51797	1,46944	
			1,51751	1,46951	
			1,51768	1,46913	
			1,51733	1,46918	
			1,51698	1,46927	
			1,517494	1,469306	20,82574

Таблиця 11 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	2,327375	2,327375	1	631,4695	31,17071
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	186,8841	31,17071
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	80,62631	31,17071
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	53,11781	31,17071
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	48,24202	31,17071
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	40,78316	31,17071
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	34,63319	31,17071

132	2,327375	2,327375	0	0	31,17071	31,17071
-----	----------	----------	---	---	----------	----------

Таблиця 12 Експериментальні данні для таблиці 11

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo r	
1	0	1,56562	0,78461	
		1,56561	0,78552	
		1,56556	0,78494	
		1,56553	0,78471	
		1,56492	0,78475	
		1,565448	0,784906	631,4695
2	20	1,56236	1,20619	
		1,56209	1,20686	
		1,56173	1,20671	
		1,56171	1,20711	
		1,56151	1,20679	
		1,56188	1,206732	186,8841
3	20	1,55885	1,38308	
		1,55849	1,38298	
		1,55847	1,38271	
		1,55817	1,38276	
		1,55821	1,38275	
		1,558438	1,382856	80,62631
4	20	1,55682	1,42379	
		1,55677	1,42381	
		1,55675	1,42304	
		1,55674	1,42348	
		1,55648	1,42375	
		1,556712	1,423574	59,38759
5	20	1,55489	1,44537	
		1,55458	1,44503	
		1,55485	1,44506	
		1,55478	1,44473	
		1,55486	1,44487	
		1,554792	1,445012	48,24202
6	20	1,55314	1,45951	

			1,55284	1,45961	
			1,55311	1,45946	
			1,55299	1,45921	
			1,55319	1,45885	
			1,553054	1,459328	40,78316
7	20		1,54879	1,46855	
			1,54851	1,46824	
			1,54855	1,46875	
			1,54817	1,46837	
			1,54888	1,46853	
			1,54858	1,468488	34,63319
8	12		1,54394	1,47123	
			1,54347	1,47151	
			1,54321	1,47121	
			1,54362	1,47099	
			1,54329	1,47148	
			1,543506	1,471284	31,17071
9	в воде		1,54272	1,49104	
			1,54238	1,49087	
			1,54239	1,49091	
			1,54242	1,49079	
			1,54249	1,49071	
			1,54248	1,490864	21,98467

Таблиця 13. Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від h и h_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$g=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	g_0
0	0	2,327375	2,327375	1	781,6973	33,75369
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	246,6692	33,75369
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	98,43036	33,75369
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	64,69561	33,75369
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	48,76185	33,75369
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	42,62159	33,75369
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	35,97543	33,75369
132	2,327375	2,327375	0	0	33,75369	33,75369

Таблиця 14 Експериментальні данні для таблиці 13

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo	r
1	0	1,58743	0,71072	781,6973
		1,58713	0,71181	
		1,58705	0,71209	
		1,58715	0,71033	
		1,58682	0,71198	
		1,587116	0,711386	
2	20	1,58305	1,13919	246,6692
		1,58331	1,13945	
		1,58329	1,13964	
		1,58275	1,14085	
		1,58131	1,14052	
		1,582742	1,13993	
3	20	1,57429	1,36253	98,43036
		1,57424	1,36301	
		1,57391	1,36262	
		1,57378	1,36295	
		1,57343	1,36239	
		1,57393	1,3627	
4	20	1,57112	1,42616	64,69561
		1,57101	1,42566	
		1,57107	1,42561	
		1,57092	1,42571	
		1,57074	1,42544	
		1,570972	1,425716	
5	20	1,56625	1,44827	48,76185
		1,53637	1,44841	
		1,56618	1,44849	
		1,56623	1,44878	
		1,56343	1,44837	
		1,559692	1,448464	
6	20	1,56221	1,46352	

			1,56183	1,46358	
			1,56161	1,46306	
			1,56106	1,46331	
			1,56091	1,46306	
			1,561524	1,463306	42,62159
7	20		1,55722	1,47377	
			1,55726	1,47388	
			1,55695	1,47346	
			1,55686	1,47332	
			1,55661	1,47307	
			1,55698	1,4735	35,97543
8	12		1,55486	1,47656	
			1,55493	1,47635	
			1,55486	1,47636	
			1,55481	1,47643	
			1,55467	1,47605	
			1,554826	1,47635	33,75369
9	в воде		1,55292	1,49491	
			1,55295	1,49474	
			1,55272	1,49476	
			1,55285	1,49488	
			1,55205	1,49473	
			1,552698	1,494804	24,59365

Таблиця 15 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від h и g_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	g_0
0	0	2,327375	2,327375	1	411,8422	31,40682
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	202,9324	31,40682
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	83,55251	31,40682
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	59,88103	31,40682
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	47,19974	31,40682
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	39,34488	31,40682
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	33,84362	31,40682
132	2,327375	2,327375	0	0	31,40682	31,40682

Таблиця 16 Експериментальні данні для таблиці 15

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo	r
1	0	1,57961	0,75815	
		1,57976	0,75769	
		1,57988	0,75841	
		1,57961	0,75818	
		1,57921	1,75843	
		1,579614	0,958172	411,8422
2	20	1,57278	1,19128	
		1,57246	1,19152	
		1,57215	1,19126	
		1,57202	1,19167	
		1,57194	1,19174	
		1,57227	1,191494	202,9324
3	20	1,56881	1,38594	
		1,56863	1,38638	
		1,56828	1,38621	
		1,56791	1,38585	
		1,56786	1,38531	
		1,568298	1,385938	83,55251
4	20	1,56473	1,42995	
		1,56491	1,43006	
		1,56463	1,42974	
		1,56481	1,43007	
		1,56458	1,42964	
		1,564732	1,429892	59,88103
5	20	1,56002	1,45175	
		1,55942	1,45162	
		1,55955	1,45181	
		1,55921	1,45145	
		1,55901	1,45111	
		1,559442	1,451548	47,19974
6	20	1,55593	1,46513	

			1,55579	1,46555		
			1,55605	1,46503		
			1,55594	1,46488		
			1,55549	1,46473		
			1,55584	1,465064	39,34488	
7	20		1,55362	1,47484		
			1,55331	1,47486		
			1,55301	1,47448		
			1,55313	1,47424		
			1,55271	1,47441		
			1,553156	1,474566	33,84362	
8	12		1,54763	1,47471		
			1,54741	1,47475		
			1,54745	1,47463		
			1,54803	1,47429		
			1,54682	1,47431		
			1,547468	1,474538	31,40682	
9	в воде		1,54288	1,48945		
			1,54281	1,48902		
			1,54256	1,48828		
			1,54259	1,48866		
			1,54247	1,48841		
			1,542662	1,488764	22,98902	

Таблиця 17 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від h и h_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	φ , %	$g=(G-V_0)*635/V_0$	g_0
0	0	2,327375	2,327375	1	625,9182	28,90834
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	184,8008	28,90834
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	85,72046	28,90834
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	56,14293	28,90834
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	44,11635	28,90834
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	37,7625	28,90834
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	31,40675	28,90834
132	2,327375	2,327375	0	0	28,90834	28,90834

Таблиця 18 Експериментальні данні для таблиці 17

№ п/п	Объем порции, мл	Vg	Vo	r	
1	0		1,57346	0,79113	
			1,57183	0,79094	
			1,57224	0,79229	
			1,57201	0,79274	
			1,57299	0,79248	
			1,572506	0,791916	625,9182
2	20		1,56808	1,21451	
			1,56884	1,21458	
			1,56849	1,21491	
			1,56821	1,21481	
			1,56791	1,21507	
			1,568306	1,214776	184,8008
3	20		1,56326	1,37645	
			1,56391	1,37601	
			1,56226	1,37639	
			1,56181	1,37661	
			1,56154	1,37809	
			1,562556	1,37671	85,72046
4	20		1,55961	1,43263	
			1,55945	1,43221	
			1,55952	1,43263	
			1,55924	1,43285	
			1,55886	1,43302	
			1,559336	1,432668	56,14293
5	20		1,55573	1,45469	
			1,55577	1,45432	
			1,55591	1,45379	
			1,55582	1,45374	
			1,55154	1,45317	
			1,554954	1,453942	44,11635
6	20		1,55326	1,46561	
			1,55306	1,46543	
			1,55223	1,46517	
			1,55231	1,46544	

			1,55212	1,46559		
			1,552596	1,465448	37,7625	
7	20		1,54743	1,47405		
			1,54664	1,47401		
			1,54675	1,47381		
			1,54638	1,47365		
			1,54655	1,47375		
			1,54675	1,473854	31,40675	
8	12		1,54194	1,47479		
			1,54184	1,47466		
			1,54171	1,47456		
			1,54156	1,47445		
			1,54148	1,47442		
			1,541706	1,474576	28,90834	
9	в воде		1,53929	1,49189		
			1,53925	1,49151		
			1,53908	1,49137		
			1,53918	1,49141		
			1,53883	1,49139		
			1,539126	1,491514	20,27042	

Таблиця 19 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від g и g_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	ϕ , %	$g=(G-V_0)*635/V_0$	g_0
0	0	2,327375	2,327375	1	527,6376	28,52408
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	165,5836	28,52408
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	74,01289	28,52408
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	54,98813	28,52408
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	43,62268	28,52408
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	36,62878	28,52408
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	31,14842	28,52408
132	2,327375	2,327375	0	0	28,52408	28,52408

Таблиця 20 Експериментальні данні для таблиці 19

№ п/п	Объем порции, мл	V_g	V_0	g
1	0	1,57707	0,86052	

			1,57751	0,86171	
			1,57799	0,86132	
			1,57754	0,86188	
			1,57737	0,86249	
			1,577496	0,861584	527,6376
2	20		1,57451	1,24806	
			1,57463	1,24804	
			1,57414	1,24906	
			1,57374	1,24905	
			1,57341	1,24839	
			1,574086	1,24852	165,5836
3	20		1,56861	1,40454	
			1,56809	1,40467	
			1,56802	1,40351	
			1,56709	1,40433	
			1,56707	1,40354	
			1,567776	1,404118	74,01289
4	20		1,56397	1,43837	
			1,56387	1,43832	
			1,56365	1,43874	
			1,56297	1,43865	
			1,56128	1,43879	
			1,563148	1,438574	54,98813
5	20		1,55832	1,45841	
			1,55859	1,45803	
			1,55808	1,45784	
			1,55797	1,45795	
			1,55781	1,45774	
			1,558154	1,457994	43,62268
6	20		1,55486	1,47014	
			1,55464	1,47011	
			1,55443	1,46964	
			1,55453	1,46955	
			1,55421	1,46933	
			1,554534	1,469754	36,62878

7	20	1,54941	1,47655	
		1,54926	1,47684	
		1,54847	1,47626	
		1,54915	1,47624	
		1,54789	1,47618	
		1,548836	1,476414	31,14842
8	12	1,54268	1,47653	
		1,54263	1,47632	
		1,54257	1,47628	
		1,54223	1,47608	
		1,54237	1,47572	
		1,542496	1,476186	28,52408
9	в воде	1,54034	1,48827	
		1,54024	1,48818	
		1,54005	1,48829	
		1,54011	1,48799	
		1,53971	1,48748	
		1,54009	1,488042	22,21072

Таблиця 21 Дослідні данні для розрахунку залежності газовмісту від r и r_0

v , мл	h , см	H , см	$H-h$, см	ϕ , %	$r=(\Gamma-V_0)*635/V_0$	r_0
0	0	2,327375	2,327375	1	381,5814	31,12564
20	0,352633	2,327375	1,974742	0,848485	134,0068	31,12564
40	0,705265	2,327375	1,62211	0,69697	74,58995	31,12564
60	1,057898	2,327375	1,269477	0,545454	56,88167	31,12564
80	1,41053	2,327375	0,916845	0,393939	46,93367	31,12564
100	1,763163	2,327375	0,564212	0,242424	39,59307	31,12564
120	2,115796	2,327375	0,211579	0,090909	33,45695	31,12564
132	2,327375	2,327375	0	0	31,1264	31,12564

Таблиця 22 Експериментальні данні для таблиці 21

№ п/п	Объем порции, мл	V_g	V_0	r
1	0	1,53601	0,96066	
		1,53602	0,95881	
		1,53586	0,95907	

			1,53575	0,95943	
			1,5356	0,95881	
			1,535848	0,959356	381,5814
2	20		1,53322	1,26627	
			1,53336	1,26613	
			1,53326	1,26631	
			1,53313	1,26591	
			1,53295	1,26544	
			1,533184	1,266012	134,0068
	3	20	1,53065	1,36916	
			1,52951	1,36875	
			1,52941	1,36842	
			1,52917	1,36876	
			1,52874	1,36851	
			1,529496	1,36872	74,58995
	4	20	1,52603	1,40076	
			1,52613	1,40044	
			1,52611	1,40025	
			1,52575	1,40063	
			1,52543	1,40013	
			1,52589	1,400442	56,88167
	5	20	1,52255	1,41873	
			1,52851	1,41935	
			1,52239	1,41872	
			1,52243	1,41842	
			1,52235	1,41869	
			1,523646	1,418782	46,93367
	6	20	1,52021	1,43074	
			1,51988	1,43081	
			1,51971	1,43071	
			1,51968	1,43051	
			1,51971	1,43041	
			1,519838	1,430636	39,59307
	7	20	1,51716	1,44106	
			1,51717	1,44143	

		1,51682	1,44095	
		1,51697	1,44121	
		1,51714	1,44096	
		1,517052	1,441122	33,45695
8	12	1,51356	1,44275	
		1,51351	1,44272	
		1,51343	1,44239	
		1,51306	1,44255	
		1,51283	1,44243	
		1,513278	1,442568	31,12564
9	в воде	1,51231	1,46035	
		1,51227	1,46041	
		1,51206	1,46061	
		1,51197	1,46094	
		1,51184	1,46027	
		1,51209	1,460516	22,42323

Таблиця 23 Гідравлічні характеристики тарілки провального типу
 $D=0,24$ м; $f=10,25\%$; $d_0=0,004$ м; $L = 8,64$ м³/(м²·год)

Показники ротаметру РСП7 по воді	ΔP_d , мм в. ст.	Ризб, мм в. ст.	Гідравлічний опір., мм в. ст.	Высота піни, мм	Швидкість газу, м/с
10	20	210	46	<u>100</u>	0,404

Таблиця 24 Експериментальні данні для розрахунку локального газовмісту в залежності від висоти розташування датчику

$h=0$ мм

V_g	V_o	r	V_g	V_o	r_o
1,54322	1,41088		1,52522	1,45405	
1,54311	1,40101		1,52551	1,45399	
1,54329	1,40158		1,52485	1,45362	
1,54305	1,40921		1,52391	1,45387	
1,54311	1,39126		1,52426	1,45436	
1,543156	1,402788	63,54038	1,52475	1,453978	30,90846

$h=10$ мм

V_g	V_o	r	V_g	V_o	r_o
1,54547	1,44648		1,52162	1,45429	
1,54494	1,44981		1,52159	1,45384	
1,54504	1,44731		1,52174	1,45359	
1,54522	1,45001		1,52152	1,45342	
1,54507	1,44711		1,52143	1,45341	
1,545148	1,448144	42,53551	1,52158	1,45371	29,64653

$h=20$ мм

V_g	V_o	r	V_g	V_o	r_o
1,55241	1,45		1,52148	1,45369	
1,55171	1,445		1,52155	1,45381	
1,55333	1,444		1,52151	1,45359	
1,55256	1,448		1,52133	1,45385	
1,55225	1,446		1,52114	1,45379	

1,552452 1,4466 46,46483 1,521402 1,453746 29,55232

h=30 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,52635	1,4		1,51288	1,44593	
1,52634	1,41		1,51243	1,44571	
1,52637	1,37		1,51269	1,44595	
1,52595	1,41		1,51268	1,44593	
1,52613	1,41		1,51231	1,44571	
1,526228	1,4	57,25341	1,512598	1,445846	29,31676

h=40 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,53303	1,29		1,51051	1,44282	
1,53261	1,35		1,51028	1,44249	
1,53271	1,27		1,51058	1,44261	
1,53221	1,35		1,51024	1,44255	
1,53251	1,31		1,51016	1,44239	
1,532614	1,314	105,6468	1,510354	1,442572	29,83669

h=50 mm

	Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
0,404	1,54134	0,99		1,51835	1,44771	
	1,54123	0,8		1,51871	1,44808	
	1,54141	0,73		1,51863	1,44731	
	1,54141	0,83		1,51852	1,44705	
	1,54141	0,8		1,51846	1,44702	
	1,54136	0,83	544,2333	1,518534	1,447434	31,1921

h=60 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,53271	1,05		1,51196	1,44229	
1,53352	1,088		1,51175	1,44234	
1,53344	1,056		1,51131	1,44228	
1,5333	1,049		1,51145	1,44233	
1,53125	1		1,51124	1,44253	

1,532844	1,0486	293,2433	1,511542	1,442354	30,46019
----------	--------	----------	----------	----------	----------

h=70 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,53332	1,36		1,51946	1,44998	
1,53364	1,38		1,51941	1,45001	
1,53295	1,398		1,51927	1,44928	
1,53291	1,359		1,51893	1,44933	
1,53273	1,355		1,51899	1,44939	
1,53311	1,3704	75,39467	1,519212	1,449598	30,49459

h=80 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,53461	1,25		1,52271	1,45181	
1,53454	1,17		1,52301	1,45231	
1,53473	1,225		1,52261	1,45194	
1,54521	1,228		1,52193	1,45199	
1,53533	1,194		1,52203	1,45179	
1,536884	1,2134	169,2866	1,522458	1,451968	30,82792

h=90 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,54352	0,304		1,53421	1,46366	
1,54284	0,352		1,53416	1,46416	
1,54281	0,425		1,53431	1,46417	
1,54156	0,297		1,53435	1,46412	
1,54354	0,259		1,53406	1,46407	
1,542854	0,3274	2357,402	1,534218	1,464036	30,44021

h=100 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,55071	0,55		1,53241	1,45961	
1,55041	0,64		1,53223	1,45998	
1,55006	0,74		1,53228	1,46012	
1,54992	0,61		1,53245	1,45978	
1,54918	0,5		1,53199	1,45952	
1,550056	0,608	983,8907	1,532272	1,459802	31,52376

h=110 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,54562	0,152		1,52313	1,45562	
1,54554	0,156		1,52311	1,45569	
1,54581	0,116		1,52301	1,52515	
1,54539	0,114		1,52235	1,45549	
1,54535	0,141		1,52294	1,45531	
1,545542	0,1358	6591,945	1,522908	1,469452	23,10015

h=120 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,54121	0,097		1,52073	1,45128	
1,54134	0,0509		1,52211	1,45048	
1,54106	0,0284		1,52261	1,45121	
1,54101	0,0874		1,52248	1,4505	
1,54082	0,0367		1,52252	1,45109	
1,541088	0,06008	15653,13	1,52209	1,450912	31,15146

h=130 mm

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,53858	1,36		1,53042	1,45517	
1,53839	1,39		1,53052	1,45498	
1,53821	1,368		1,53035	1,45484	
1,53842	1,366		1,53001	1,45462	
1,53813	1,342		1,52994	1,45448	
1,538346	1,3652	80,53597	1,530248	1,454818	32,92374

h=140 мм

Vg	Vo	r	Vg	Vo	ro
1,55069	0,093		1,52931	1,45952	
1,55081	0,069		1,52945	1,45909	
1,55051	0,125		1,52929	1,45896	
1,55068	0,124		1,53071	1,45927	
1,55051	0,045		1,53046	1,45839	
1,55064	0,0912	10161,67	1,529844	1,459046	30,81241

Таблиця 25 Розрахунковий локальний газовміст за даними таблиці 24.

h=0	h=10	h=20	h=30	h=40	h=50	h=60	h=70	h=80
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
0,5135	0,303	0,3641	0,4879	0,7177	0,9427	0,8961	0,5956	0,8199
h=80	h=90	h=100	h=110	h=120	h=130	h=140		
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм		
φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ		
0,8199	0,9871	0,968	0,9965	0,9985	0,9964	0,997		

Обробка експериментальних даних

В таблицях 1 – 25 наведено експериментальні дані з тарировки датчика який показано на рис. 7. Тарировка виконувалася за методикою, яка наведена в роботі [23]. Розрахунок коефіцієнта K проводили за рівнянням (3). Далі будували тарировочний графік аналогічний наведеному на рис. 10.

Одержані тарировочні графіки були аналогічні графіку наведеному на рис. 10.

Таким чином в даній роботі була опанована методика тарировки датчика для вимірювання локального газовмісту газорідного шару.

В таблиці 14 наведені експериментальні данні локального газовмісту газорідного шару на тарілці провального типу

За допомогою датчика був виміряний локальний газовміст на тарілці провального типу, гідравлічні характеристики якої наведені у таблиці 12.

Датчик розташовували на вісі колони. Вигляд графіка залежності локального газовмісту від відстані датчика від плато тарілки показано на рис.

5.

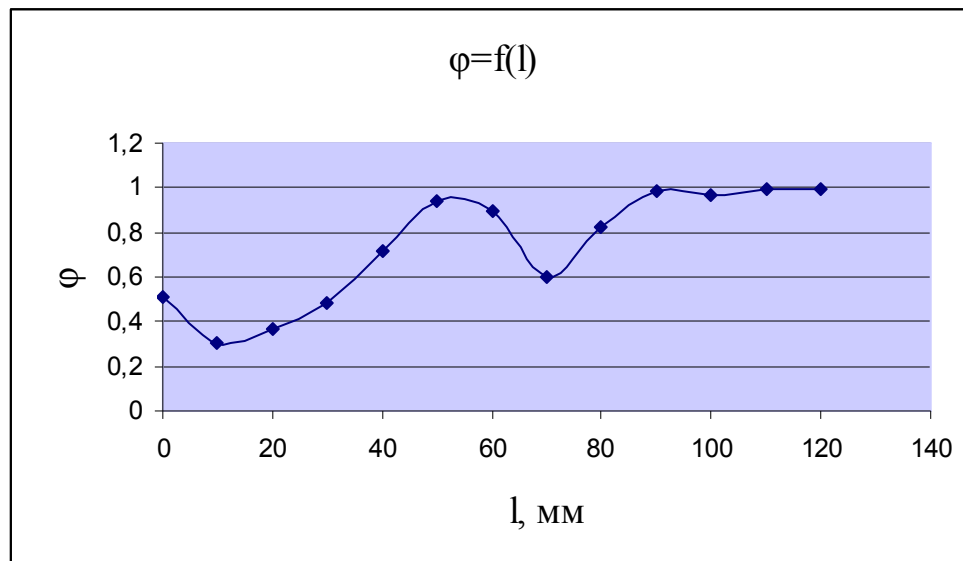


Рисунок 15. Графік залежності локального газовмісту від відстані датчика від плато тарілки.

За допомогою цього графіка можна інструментально визначити висоту газорідинного шару на тарілці. Для цього необхідно виміряти максимальний локальний газовміст і висоту газорідинного шару з якої він починається.

Крім цього за виглядом кривої графіка (рис. 5) можна визначити режим роботи тарілки провального типу. Якщо графік являє собою гладку криву (рис. 12), то можна казати, що на тарілці існує режим рівномірного барботажу.

Якщо графік (рис. 5) є ломана лінія, то на тарілці існує режим рухомого газорідинного шару.

За виглядом лінії графіку (рис. 5) можна розрахувати розмірність Мінковського, і за величиною якої можна визначити наскільки розвинена турбулізація газорідинного шару на тарілці.

5 Техніка безпеки при роботі в лабораторії

1. Вимоги безпеки під час виконання експериментів.

У лабораторіях кафедри устаткування хімічних підприємств

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. включати і вимикати випробувальне устаткування без дозволу викладача або інженера кафедри;
2. торкатися до струмопровідних частин установок, електроприводів, електропроводів і кабелів;
3. торкатися до рухомих частин випробувальних машин і лабораторних установок;
4. відгвинчувати, загвинчувати вентилі, рукоятки, маховики, сигнальні лампи, електрозапобіжники лабораторного устаткування;
5. збірка і розбирання установок, що знаходяться під електронапругою;
6. залишати працюючі (включені) установки без нагляду;
7. знаходитися в лабораторіях у верхньому одязі, складати верхній одяг на лабораторному устаткуванні;
8. захарашувати проходи між лабораторними установками особистими речами (портфелями, сумками);
9. знімати захищаючі кожухи деталей або електричних пускорегулюючих пристроїв, що обертаються.
10. у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

1. перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;
2. перевірити з'єднання електроустаткування з контуром захисного заземлення /занулення/, його справність, полягання інструменту,

автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння;

3. при експлуатації електроустаткування необхідно суворо керуватися правилами, висловленими в техпаспорті;
4. при виявленні несправностей електроустаткування, приладів, стендів, захисного заземлення негайно повідомити про це зав. кафедрою або зав. лабораторією.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

1. студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;
2. відключення від мережі проводити, тільки узявшись за роз'єм, вилку або фішку щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку /опіку/;
3. забороняється виймати штепсельні роз'єми, вилки, фішки, узявшись за дріт;
4. забороняється працювати на електроустаткуванні у вологому одязі, вологими руками;
5. забороняється залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електроустаткування;
6. забороняється підключати декілька споживачів електричної енергії до однієї штепсельної розетки щоб уникнути перевантаження електричної мережі і виникнення загоряння;
7. забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками". Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що калібруються;
8. забороняється захарашувати підступи до електричних пристроїв, шафам, автоматичним вимикачам, розеткам, а також відкривати їх;

9. при раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і важелі повинні бути негайно вимкнені;
10. не допускається залишати неізольованими оголені дроти, перенавантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками, вимикачами;
11. роботи по ремонту апаратури і проведення експериментів на відкритих схемах з небезпечною для життя напругою виконувати тільки удвох;
12. робоче місце тримати в сухому і чистому стані;
13. при виявленні несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх і повідомити про це керівника робіт або обслуговуючий персонал;
14. приступати до роботи дозволяється тільки після усунення помічених несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів і стендів.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. після закінчення роботи вимкнути електроприлади, відключити від мережі лабораторні стенди;
2. вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 V, що використовуються;
3. один раз в квартал проводити очищення від пилу і бруду за допомогою пилососа або щітки вузлів персональних комп'ютерів;
4. забороняється проводити очищення від пилу і бруду включене в мережу електроустаткування;
5. після закінчення роботи зняти спецодяг і помістити його в спеціально відведене місце;
6. при відході з приміщення необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії;

7. привести в порядок робоче місце;
8. здати ключі від лабораторії на вахту.

Про знайдені під час роботи і після закінчення роботи несправності і негаразди електроустаткування повідомити керівника занять або обслуговуючий персонал.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При роботі з електроустаткуванням на кафедрі ОХП можливі наступні аварійні ситуації:

2. ураження електричним струмом;
3. займання горючих матеріалів.

Працівники і студенти зобов'язані знати розташування засобів пожежогасіння і уміти ними користуватися.

При пожежі:

4. негайно знеструмити все електроустаткування загальним автоматичним вимикачем;
5. негайно евакуювати в безпечне місце людей; повідомити про пожежу по тел.101; 112; (06452) 4-34-17 в пожежну команду;
6. розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
7. негайно повідомити про те, що відбулося безпосереднього керівника;
8. гасити електроустаткування вуглекислотними вогнегасниками /ВВу/, порошковими /ВП/ або сухим піском; гасити електроустаткування і дроти водою забороняється.

У разі ураження електрострумом слід негайно знеструмити електроустаткування і викликати швидку допомогу по тел. 103. Працівники і студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при поразці електрострумом і уміти надати її при необхідності.

Негайно повідомити про нещасний випадок безпосереднього керівника робіт, зав. кафедрою або зав. лабораторіями.

6 Висновки

- опанована методика вимірювання локального газовмісту газорідинного шару на масообмінних тарілках;
- проведено вимірювання локального газовмісту на тарілці провального типу в залежності від висоти розташування датчику;
- запропонована методика інструментального вимірювання висоти газорідинного шару на масообмінній тарілці;
- встановлено, що за виглядом графіку залежності локального газовмісту від висоти розташування датчику від плато тарілки можна визначити режим роботи барботажного шару. Він буде залежати від розмірності Мінковського, яка розраховується за лінією графіку залежності локального газовмісту від висоти розташування датчику від плато тарілки. З'ясовано, що зі збільшенням турбулізації газорідинного шару, збільшується розмірність Мінковського.

Перелік джерел посилання

1. Стабников В.Н., Штромило М.И. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях пищевой промышленности. М., ЦНИИТЭпищепром, 1971. 16 с.
2. Колтунова Л.Н., Позин Л.С., Быстрова Т.А. Пути интенсификации процесса ректификации. Опыт промышленного применения решетчатых тарелок и методика их расчета. М., ЦНИИТЭнефтехим, 1977, 84 с.
3. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.
4. Кузнецов В.Я., Шебастюк И.М., Большакова Л.Н., Конкина И.Н. Опыт использования тарельчатого абсорбера для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа.– Кокс и Химия. 2005. № 2. С. 22-23
5. Пенный режим и пенные аппараты. Под ред. И.П. Мухленова и Э.Я. Тарата. Л., «Химия», 1977.
6. Стабников В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности : обзор / Стабников В. Н., Штромило М. И. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1971. - 20 с.
7. Касаткин А. Г. К расчету колонн с провальными тарелками // Касаткин А. Г., Дытнерский Ю. И., Умаров С. У. – Химическая промышленность. - №3. – 1958. - С. 38 – 45.
8. Тарат Э. Я. О гидравлическом сопротивлении «провальных» решеток при пенном режиме / Тарат Э. Я., Вальберг А. Ю. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8. - С. 1706 – 1711.
9. Вальберг А. Ю. К вопросу о предельных параметрах пенного режима в аппаратах с полным протеканием жидкости через отверстия решеток / Вальберг А. Ю., Тарат Э. Я. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8. - С. 1712 – 1715.

10. Кафаров В. В. К вопросу о гидродинамике решетчатых тарелок / Кафаров В. В., Зеленский Ю. Г. – Журнал прикладной химии. - 1964. - Т. 37, №12. - С. 2678 – 2686.
11. Пенный режим и пенные аппараты / Тарат Э. Я, Мухленов И. П., Туболкин А. Ф. [и др.] ; под ред. И. П. Мухленова, Э. Я. Тарата. - Л. : Химия, 1977. – 303 с.
12. Ткач Г. А. Моделирование десорбционных процессов содового производства / Ткач Г. А., Смоляк В. Д. - Л. : Химия, 1973.
13. Рамм В. М. Абсорбция газов / Рамм В. М. - Изд. 2-е. - М. : Химия, 1976. - 655 с.
14. Зелинский, Ю.Г. Удельный вес газожидкостной эмульсии на решетчатых тарелках [Текст] / Ю.Г. Зелинский, В.В. Кафаров //Журн. приклад. химии – 1962 № 9, С. 1989-1995.
15. Кафаров, В.В. Сравнительная оценка работы насадочных и ситчатых колонн и их моделирование [Текст] / В.В. Кафаров //Журн. приклад. химии. –1955 Т. 28, № 12, С. 1255–1265.
16. Винокур, Я.Г. Исследование барботажного слоя методом просвечивания гамма-лучами [Текст] / Я.Г. Винокур, В.В. Дильман // Хим. пром. – 1959 № 7, С. 619–621.
17. Свергуненко, Л.А. Измерение газосодержания в газожидкостных системах [Текст] / Л.А. Свергуненко, В.В. Рогозный, Г.И. Шкурупий // Изв. вузов. Химия и хим. технолог. – 1974, т. 17, № 12, С. 1884-1886.
18. Свергуненко, Л.А. Определение газосодержания в дисперсных системах типа газ-жидкость [Текст] / Л.А. Свергуненко, В.В. Рогозный, Г.И. Шкурупий // Теор. основы хим. технол. – 1974, т. 8, № 5, С. 739-743
19. Шендеров Л.З., Квашин А.Г., Дильман В.В. О локальном измерении газосодержания [Текст] / Л.З. Шендеров, А.Г. Квашин, В.В. Дильман // Инж.-физ.ж. – 1980, т. 38, № 6, С.1005-1010.
20. Абишев, А.А. Влияние секционирования на структуру барботажного слоя в аппаратах с высоким слоем жидкости / А.А. Абишев,

В.Л. Долганов, С.Х. Загидуллин [Текст] // Вестник Пермского государственного технического университета: химическая технология и биотехнология. 2011. №12. С. 103-112.

21. Современные методы определения газосодержания и поверхности контакта фаз в двухфазных газожидкостных системах / А.А. Абишев, В.Л. Долганов, С.Х. Загидуллин, В.В. Красоткин // Вестник ПГТУ. Химическая технология и биотехнология. – Пермь, 2009. – № 9. – С. 243–253.

22. Кондуктометрическое измерение локальных кратностей пен / Феклистов В.Н., Канн К.Б., Дружинин С.А. – Изв. Сибирского отделения АН СССР. Серия техн. наук, 1975, т. 1, № 3, С. 89–93.

23. Определение локального газосодержания газожидкостного слоя кондуктометрическим методом / Тараненко Г.В. – Науковий журнал «ScienceRise» НВП ПП «Технологічний центр», м. Харків. DOI:10.15587/2313-8416.2016.69075 №5/2(22)2016, с. 60-65.

24. Вычисление фрактальной размерности Минковского для плоского изображения / <https://habr.com/post/208368>.

25. Тараненко, Г. В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий [Текст]: монография / Г. В. Тараненко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 174 с

26. Определение локального газосодержания газожидкостного слоя кондуктометрическим методом / Тараненко Г.В. – Науковий журнал «ScienceRise» НВП ПП «Технологічний центр», м. Харків. DOI:10.15587/2313-8416.2016.64111, №3/2(20)2016 с. 67-71.

27. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы [Текст]: учебник / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

