

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

УДК 53.089.68:543.27

ДІЛАЙ ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

ГАЗОДИНАМІЧНІ СИНТЕЗАТОРИ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШЕЙ
ЗАДАНОГО СКЛАДУ

05.11.13 - Прилади та методи контролю навколишнього
середовища, речовин, матеріалів та виробів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1994



00755932 (V)

університеті "Львівська
академія теплових і хімічних
процесів".

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор ПІСТУН Є.П.

Науковий консультант - кандидат технічних наук,
доцент ТЕПЛІХ З.М.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук,
професор КАДУК Б.Г.
кандидат технічних наук,
доцент ЧЕХОВСЬКИЙ С.А.

Провідна організація - УкрНДІ аналітичного приладо-
будування (Київ).

Захист відбудеться 28 жовтня 1994 р. о 15 год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради К 04.06.01 Державного
університету "Львівська політехніка" (290646, м.Львів, вул.
К.Устияновича, 5, 51 аудиторія 10-го корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці
ДУ "Львівська політехніка" (вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий " 28 " вересня 1994р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

к.т.н., доцент

Вашкурак Ю.З.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

АВ - 31.222

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідженості теми. В різних галузях промисловості (наприклад, в хімічній, електронній, в біотехнології) для проведення технологічних процесів необхідне приготування газових середовищ із строго заданим складом. Крім того, пристрої для приготування газових сумішей потрібні для метрологічного забезпечення вимірвальної апаратури, зокрема, для перевірки і градування газоаналітичних засобів контролю, наприклад аналізаторів крові, газоаналізаторів вмісту кисню.

Виконані нами дослідження показали, що найбільш перспективними в плані підвищення точності задання і відтвореності складу газової суміші є газодинамічні змішувачі (синтезатори), що базуються на газодинамічному дросельному методі змішування дозованих газових потоків.

У світовій практиці відомі спроби використання газодинамічного дросельного методу для побудови конкретних синтезаторів. Проте такі спроби були опорадичними, дослідження не мали узагальнюючого характеру, через що у відомих синтезаторах не були реалізовані потенційні можливості дросельного методу.

Актуальність і важливість роботи підтверджена також включенням її в комплексний план "Теплофізика" АН УРСР.

Мета і основні завдання дослідження. Метою даної роботи є теоретичне і експериментальне дослідження газодинамічного дросельного методу змішування дозованих газових потоків в діапазоні макроконцентрацій, пошук нових шляхів підвищення точності приготування газових сумішей заданого складу, розробка високоточних і стабільних газодинамічних синтезаторів конкретних газових сумішей.

Наукова новизна.

1. Розроблені математичні моделі капілярних елементів, що працюють на різних газах і використовуються як основні дросельні елементи в розроблених нами синтезаторах.

2. Розроблені математичні моделі статички суматорів потоків різних газів і досліджено дію основних факторів впливу на концентрацію приготовлюваних сумішей.

3. Вирішена задача оптимізації конструкції дросельних елементів синтезатора за критерієм мінімуму похибки концентрації компонентів суміші від основних факторів впливу.

4. Розроблені принципи побудови газодинамічних синтезаторів газових сумішей заданого складу на базі газодинамічного дросельного методу змішування газових потоків.

Практична цінність.

1. Запропонована методика визначення діаметра прохідного каналу капілярного елемента.

2. Розроблені пристрої для підбору капілярних елементів з рівними газодинамічними опорами.

3. Розроблені базові конструкції газодинамічних синтезаторів.

4. Розроблений і досліджений газодинамічний синтезатор для калібрування аналізатора крові.

Наукова і технічна новизна роботи підтверджена також авторськими свідоцтвами №№ 1552864, 1648490, 1733064, 1759430, 1760406, 1769212, а практична цінність - актом впровадження.

Реалізація і впровадження результатів роботи. Розроблений газодинамічний синтезатор для приготування двох сумішей (бінарної - $\text{CO}_2\text{-N}_2$ і потрійної - $\text{O}_2\text{-CO}_2\text{-N}_2$) впроваджений в інституті гематології м. Львова.

Апробація роботи. Основні результати роботи апробовані на XIV-ї науково-технічних конференціях Львівського політехнічного інституту (1987...1993 рр.); зональній конференції "Пневмоавтоматика в системах автоматизації производственных процессов" (Пенза, 1988); Республіканській конференції "Проектирование и эксплуатация гидропневматических систем и гидроривода машин, автоматов и промышленных роботов в машиностроении" (Севастополь, 1988); семінарі "Совершенствование технологии и оборудования процессов переработки транспорта нефти" (Новополоцк, 1989); Всесоюзній науково-технічній конференції "ИИС-89" (Ульяновск, 1989); Республіканській конференції "Гидравлика и гидропневмопривод машин, автоматов и промышленных роботов в машиностроении" (Севастополь, 1989); Всесоюзній науково-технічній конференції "Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности" (Москва, 1989); Республіканській конференції "Диагностика и коррекция погрешностей преобразователей технологической информации" (Киев, 1989); VIII Всесоюзній конференції молодих вчених і спеціалістів організацій і підприємств системи Держстандарту СРСР "Метрология и стандартизация в научно-технической революции" (Новосибирск, 1989).

Особистий внесок дисертанта. За особистою участю дисертанта були розроблені: принципи побудови газодинамічних пристроїв синтезу газових сумішей заданого складу; математичні моделі капілярних елементів і газодинамічних дросельних пристроїв синтезу газових сумішей; уточнені значення коефіцієнта кінцевих ефектів для різних газів; вирішена задача оптимізації конструкції дросельних елементів синтезатора за критерієм мінімуму похибки концентрації компонентів суміші від основних факторів впливу; пристрої ідентифікації

газодинамічних опорів дросельних елементів; базова конструкція газодинамічного синтезатора; синтезатор для калібрування аналізатора крові.

Методологія та методи дослідження базуються на використанні теорії протічних дросельних елементів, методів математичного моделювання разом з відповідними розділами теорії чисельних методів і математичної статистики, а також метрологічних основ газованалітичних вимірювань.

Публікації. По темі дисертації опублікована 20 робіт. Основні результати роботи викладені в 14 публікаціях, серед яких є 6 авторських свідоцтв на винаходи.

Обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів і висновків, обсягом 130 сторінок друкованого тексту, 40 рисунків, 9 таблиць, 163 найменувань бібліографічного списку і додатків. В додатках до дисертації є акт впровадження, роздруки програм машинної обробки результатів досліджень.

ЗМІСТ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, наведені основні результати і положення, що подаються автором до захисту.

В першому розділі наведено огляд основних методів приготування газових сумішей. Показано, що найбільш перспективним методом, що поєднує потенціально високу точність і достатньо просту реалізацію є газодинамічний метод приготування газових сумішей заданого складу. Цей метод базується на змішуванні дозованих дросельними елементами газових потоків.

Розглянуто і проаналізовано існуючі змішувальні пристрої, що базуються на газодинамічному методі змішування. Проведений аналіз показує, що найбільш перспективними в плані

підвищення точності в створення синтезуючих пристроїв з використанням капілярних елементів (КЕ), які дозволяють усунути дію основних факторів впливу.

Обґрунтовані задачі дослідження.

В другому розділі проведені дослідження КЕ та їх з'єднання згідно із схемою суматора потоків.

Аналіз літературних джерел показав, що відомі моделі КЕ є наближеними. Для побудови більш точних залежностей були проведені експериментальні дослідження витратних характеристик (ВХ) різних КЕ на різних газах. Обробку отриманих експериментальних даних проведено із застосуванням методів математичної статистики. В результаті порівняльного аналізу різних залежностей було встановлено, що найбільш точно ВХ КЕ, які працюють на різних газах, описуються залежністю:

$$Q = \frac{4 \pi \mu L}{m} \left[\sqrt{1 + \frac{m d^4 (P_1^2 - P_2^2)}{512 L^2 R_T T \mu^2}} - 1 \right], \quad (1)$$

де Q - масова витрата газу через КЕ; d , L - відповідно діаметр і довжина прохідного каналу КЕ; P_1 і P_2 - відповідно абсолютні тиски на вході і виході КЕ; R_T - газова стала; T - абсолютна температура дозованого газу; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості газу; m - коефіцієнт кінцевих ефектів.

Виконані дослідження дозволили уточнити значення коефіцієнта m для різних газів - компонентів синтезованих сумішей.

Запропонована методика визначення діаметра КЕ, що базується на дросельному методі і дає кращі результати порівняно з існуючими методиками. Відносна похибка визначення діаметра КЕ складає не більше 0,5 %.

Залежність (1), а також виконані експерименти свідчать про те, що ВХ КЕ в загальному випадку є нелінійною, що викликає додаткові похибки приготування суміші (похибки концен-

трації компонентів) у відомих синтезаторах. В зв'язку з цим в синтезаторах доцільно застосовувати КЕ з лінійною ВХ. Для побудови КЕ з лінійною ВХ геометричні розміри КЕ повинні відповідати умові:

$$L/d^2 = m^{1/2} P_2 / [(512 R_T T)^{1/2} \mu]. \quad (2)$$

Дослідження впливу температури T дозованого газового потоку на ВХ КЕ показало, що вплив T є якісно однаковим для різних конструкцій КЕ, тобто із зростанням T витрата газу через КЕ зменшується. Встановлено також, що збільшення перепаду тиску ΔP на КЕ посилює вплив T на ВХ. Це потрібно враховувати при побудові синтезаторів газових сумішей.

Запропоновані нами газодинамічні синтезатори побудовані на базі суматора потоків, що представляє собою сукупність КЕ на входи яких подаються окремі газові компоненти, а виходи з'єднані в спільний канал. Математична модель суматора довільної кількості n газових потоків може бути записана у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= f(P_{1i}, P_2, d_i, L_i, \mu_i, R_i, T_i); \\ r_i &= Q_i / Q_E; \quad Q_E = \sum_{i=1}^n Q_i; \quad \sum_{i=1}^n r_i = 1, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер компонента суміші.

За допомогою цієї моделі, а також відповідних експериментів були досліджені вплив температури і тисків на концентрацію компонентів синтезованої суміші. Встановлено, що суттєве зменшення впливу температури можна досягнути шляхом вирівнювання температур дозованих газових компонентів. Вирівнювання температури і термостабілізація з використанням відомих технічних засобів дозволяють звести похибку концентрації компонентів суміші від зміни температури до 0,1 %привед.

Проведені експериментальні дослідження впливу змін тис-

ку живлення і барометричного тиску, а також навантаження суматора потоків показали, що зменшення впливу цих факторів можна досягнути шляхом створення однакових умов роботи для всіх КЕ в суматорі потоків. В залежності від типу використовуваних стабілізаторів тиску похибки приготування суміші можуть сягати 0,1...4 %привед. Встановлено також, що вплив барометричного тиску і навантаження на виході суматора потоків є на порядок меншим впливу тиску живлення на вході.

Вказані вище значення складових похибок приготування суміші є мінімально можливими і можуть бути досягнуті лише за умови застосування кращих відомих технічних засобів стабілізації і досконалої побудови контура регулювання, що суттєво ускладнює синтезатори.

У зв'язку з цим нами досліджена можливість параметричної оптимізації за критерієм мінімуму похибки концентрації від основних факторів впливу. Одержані залежності похибки концентрації компонентів від конструкцій КЕ суматора. Так, наприклад, на рис.1 наведені графіки залежності похибки приготування суміші відповідно при зміні температури на 1 К і тиску на 1 кПа від співвідношення χ геометричних розмірів КЕ суматора.

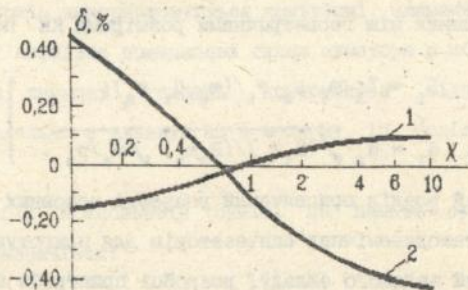


Рис.1. Графік залежності похибки δ концентрації метану в азоті при зміні температури (крива 1) і тиску (крива 2) від співвідношення $\chi = d_1^4 L_2^2 / (d_2^4 L_1^2)$.

Отримані залежності для розрахунку КЕ при конструюванні суматора потоків, що дозволяють компенсувати дію основних факторів впливу.

Співвідношення геометричних розмірів КЕ, яке дозволяє компенсувати дію змін температури на задану концентрацію r_1 синтезованої бінарної суміші, повинно відповідати умові:

$$K_2 = S_2 / (T \mu_2^2 A_t^2) - 2/A_t ;$$

$$r_1 = \left[1 + \frac{\mu_2 L_2 m_1 \sqrt{1 + m_2 d_2^4 / L_2^2 (P_1^2 - P_2^2) / (512 R_2 T \mu_2^2)} - 1}{\mu_1 L_1 m_2 \sqrt{1 + m_1 d_1^4 / L_1^2 (P_1^2 - P_2^2) / (512 R_1 T \mu_1^2)} - 1} \right]^{-1} ; \quad (4)$$

де крім відомих

$$A_t = \frac{S_2}{T \mu_2^2} - \frac{(B^2 - B) \mu_1^3 S_2 (\mu_2 + 2 \beta_2 T)}{C_t + \mu_2^3 S_1 m_1 d_1^4 / L_1^2 (\mu_1 + 2 \beta_1 T)} ;$$

$$B = \sqrt{1 + m_1 d_1^4 S_1 / (T \mu_1^2 L_1^2)} ;$$

$$C_t = 2(\beta_2 - \beta_1 \mu_2 / \mu_1) \mu_1^3 \mu_2^2 T^2 (B^2 - B) ;$$

$$S_1 = (P_1^2 - P_2^2) / (512 R_1) ; \quad \mu_1 = \alpha_1 + \beta_1 T ; \quad i = 1, 2,$$

де α_1, β_1 і α_2, β_2 - коефіцієнти рівняння апроксимації залежності Сатерленда для першого і другого компонентів суміші.

Для забезпечення компенсації впливу зміни тисків співвідношення між геометричними розмірами КЕ повинні бути такими:

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= L_2 m_1 \mu_2 r_1 / (m_2 \mu_1 r_2) ; \\ d_1 &= d_2 \sqrt{(R_1 m_1) / (R_2 m_2)} \sqrt{r_1 / r_2} . \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Третій розділ присвячений розробці основних принципів побудови газодинамічних синтезаторів для приготування газових сумішей заданого складу, розробці пристроїв підбору КЕ з рівними газодинамічними опорами (ГДО), які працюють на одному чи різних газах, а також розробці принципових схем конкретних газодинамічних синтезаторів.

З метою підвищення точності приготування газових сумішей нами запропоновані наступні принципи побудови газодинамічних синтезаторів: реалізація дросельної схеми синтезатора на базі суматора потоків; застосування КЕ з рівними ГДО; застосування подільників потоків в каналах окремих компонентів суміші; компенсація основних факторів впливу шляхом структурної та параметричної оптимізації синтезатора.

Використання схеми суматора потоків для побудови газодинамічних синтезаторів дозволяє забезпечити їх просту і надійну реалізацію як у випадку приготування бінарних газових сумішей, так і багатоконпонентних.

Принципово новим підходом до побудови синтезаторів газових сумішей заданого складу є використання КЕ з рівними ГДО. Застосування таких КЕ дозволяє синтезувати газові суміші заданого складу без атестації їх по витраті чи концентрації компонентів суміші з допомогою газоаналітичних приладів.

Задання різних концентрацій компонентів газових сумішей, а також розширення діапазону концентрацій синтезованих сумішей здійснюється застосуванням подільників потоків. Для можливості зміни концентрації компонентів суміші в каналах подільника потоків використовуються комутуючі елементи.

На рис. 2 наведена принципова схема суматора n потоків, що містить в каналах газових компонентів відповідно m_1, \dots, m_n паралельно з'єднаних КЕ в кожному із подільників потоків.

Концентрація компонентів суміші на виході суматора визначається залежністю:

$$r_j = \left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} q_{ji} \right]^{-1} \sum_{i=1}^{m_j} q_{ji} ; \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m_j ; j = 1, 2, \dots, n,$$

де Q_{j1} - витрата j -го компоненту через i -й КЕ.

При використанні в схемі суматора КЕ з рівними ГДО концентрація компонентів в суміші визначається залежністю:

$$r_j = m_j / \sum_{j=1}^n m_j . \quad (7)$$

Залежність (7) дозволяє розраховувати концентрації компонентів синтезованої суміші лише через кількість КЕ в суматорі і тим самим відмовитися від градування синтезатора по витраті або концентрації.

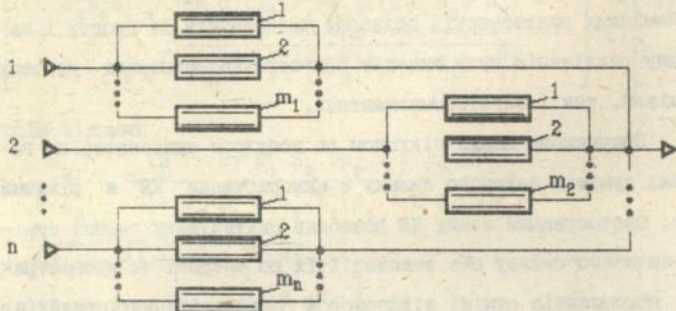


Рис.2. Принципова схема суматора з подільниками потоків.

Для компенсації дії факторів впливу необхідне створення однакових умов роботи КЕ, тобто рівності температур і тисків газових компонентів синтезованої суміші. Крім того, необхідною умовою мінімуму похибки концентрації компонентів суміші в конструюванні КЕ згідно із залежностями (4) і (5).

Як приклад застосування запропонованих нами принципів для різних умов використання розроблені принципові схеми синтезаторів:

- калібрувальних газових сумішей для аналізатора крові, в якому реалізована можливість компенсації зміни тисків на виходах і виходах КЕ та барометричного тиску;

- повітряно-метанової суміші для перевірки шахтних сигналізаторів, умови експлуатації якого вимагають зменшення

впливу зміни температури на концентрацію компонентів суміші;

- газових сумішей для перевірки газоаналізаторів вмісту O_2 , КЕ якого має рівні ГДО, а геометричні розміри КЕ забезпечують мінімум похибки концентрації компонентів суміші від зміни тиску.

Для підбору КЕ з рівними ГДО нами були розроблені:

а) пристрій, що дозволяє підбирати КЕ на одному газі;
б) пристрій для підбору КЕ на різних газах. У вказаних пристроях контроль рівності ГДО зводиться до контролю рівності тисків, який можна виконати складними технічними засобами з високою точністю. Побудова газодинамічних синтезаторів з використанням КЕ з рівними ГДО дозволяє готувати газові суміші з точністю на порядок вищою, ніж з допомогою існуючих синтезаторів.

Четвертий розділ присвячений розробці і експериментальному дослідженню газодинамічного синтезатора для приготування двох газових сумішей (бінарної і потрійної), призначених для калібрування аналізатора крові.

Принципова схема синтезатора (див. рис.3) має газові канали 1, 2 і 3 відповідно чистих компонентів CO_2 , N_2 , O_2 . В кожному каналі встановлені відповідно послідовно в'єднані стабілізатори 4, 5 і 6 надлишкового тиску, регульовані дроселі 7, 8, 9, теплообмінники 10, 11, 12, а також КЕ 13...17. В газовому каналі 1 встановлені КЕ 13 і 14, що мають спільний вхід, в газовому каналі 2 встановлені КЕ 15 і 16, що також мають спільний вхід і в газовому каналі 3 - КЕ 17. КЕ 14 і 15 мають спільний вихід і утворюють лінію бінарної газової суміші, а виходи КЕ 13, 16 і 17 утворюють лінію потрійної газової суміші.

Для створення умов компенсації впливу тиску на виходи

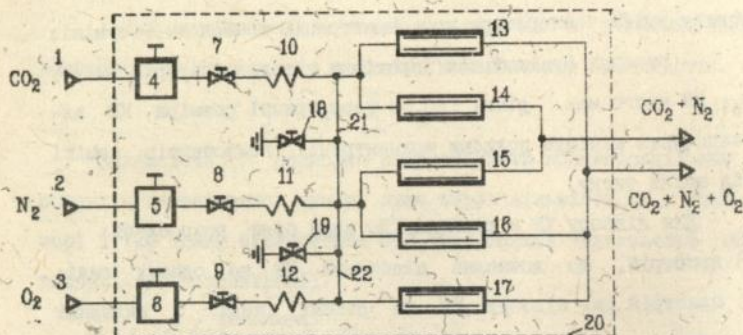


Рис. 3. Принципова схема синтезатора калібрувальних газових сумішей для аналізатора крові.

джерел 1...3 чистих газів застосовано вирівнювання тисків на входах КЕ 13...17. Вирівнювання здійснюється шляхом з'єднання каналів 1 і 2, 2 і 3 відповідно із зрівнювальними каналами 21, 22 відводу частини газів через регульовані дросельні елементи 18 і 19.

Геометричні розміри КЕ для приготування газової суміші $\text{CO}_2\text{-N}_2$ вибрані згідно із залежностями:

$$L_{15} = \frac{\pi^2 d_{15}^4 (P_1^2 - P_2^2) - 32 R_{N_2} T m_{N_2} \rho_{N_2}^2 Q_v^2 r_{N_2}^2}{256 \pi R_{N_2} T \mu_{N_2} \rho_{N_2} Q_v r_{N_2}}; \quad (8)$$

$$L_{14} = L_{15} m_{\text{CO}_2} \mu_{N_2} \rho_{\text{CO}_2} r_{\text{CO}_2} \left[m_{N_2} \mu_{\text{CO}_2} \rho_{N_2} r_{N_2} \right]^{-1};$$

$$d_{14} = d_{15} \left[m_{\text{CO}_2} R_{\text{CO}_2} / (m_{N_2} R_{N_2}) \right]^{1/4} \left[r_{\text{CO}_2} \rho_{\text{CO}_2} / (r_{N_2} \rho_{N_2}) \right]^{1/2}.$$

Результати проведених випробувань газодинамічного синтезатора протягом місяця показали, що розроблений пристрій має достатньо високі метрологічні характеристики, а саме:

- точність задання концентрації: CO_2 в бінарній суміші - 0,56 %відн.;
- CO_2 і O_2 в потрібній суміші відповідно - 0,64 і 0,53 %відн.;

- відтворюваність складу суміші (середньоквадратичне відхилення σ випадкової складової похибки концентрації компонентів): CO_2 в бінарній суміші - 0,055 %відн.; CO_2 і O_2 в потрійній суміші відповідно - 0,15 і 0,04 %відн.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведений огляд і аналіз основних методів приготування газових сумішей заданого складу. Показано, що найбільш перспективними в плані підвищення точності є газодинамічні синтезатори, в яких використовують КЕ.
2. Виконані експериментальні дослідження КЕ. Уточнені значення коефіцієнта m кінцевих ефектів для різних газів. Отримана і досліджена залежність для побудови КЕ з лінійною ВХ і розроблена методика визначення середнього діаметра прохідного каналу КЕ, що дозволяє знаходити його значення з похибкою не більшою 0,5 %відн.
3. Встановлено, що для побудови синтезаторів газових сумішей найбільш доцільною є схема суматора потоків. Досліджена дія основних факторів впливу (температури, змін тиску на виходах джерел чистих компонентів, барометричного тиску і навантаження пристрою) на концентрацію приготуваної суміші.
4. Вирішена задача оптимізації конструкції КЕ суматора за критерієм мінімуму похибки концентрації компонентів суміші від основних факторів впливу, зокрема за рахунок підбору геометричних розмірів КЕ і схемних рішень.
5. Розроблені принципи побудови газодинамічних синтезаторів, серед яких треба особливо відзначити принцип застосування КЕ з рівними ГДО, що дозволяє відмовитися від градування синтезатора по витраті чи концентрації. З цієї метою створені пристрої для підбору КЕ з рівними ГДО, що працюють як на одному так і на різних газах. У цих пристроях підбір рівних

ГДО зводиться до контролю рівності тисків, який можна здійснити нескладними технічними засобами і з високою точністю.

6. Розроблені принципові схеми газодинамічних синтезаторів: калібрувальних газових сумішей для аналізаторів крові, повітряно-метанової суміші для перевірки шахтних сигналізаторів, газових сумішей для перевірки аналізаторів вмісту O_2 .

7. Розроблений, виготовлений та досліджений газодинамічний синтезатор, що дозволяє готувати дві калібрувальні суміші:

- бінарну суміш CO_2-N_2 , що містить 10 %об. CO_2 ;
- потрійну суміш $CO_2-N_2-O_2$, що містить 5 %об. CO_2 і 12 %об. O_2 .

Синтезатор впроваджений в інституті гематології м. Львова для калібрування аналізатора крові ОР-210/3.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕНО В ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Линейные газодинамические дроссели и их применение. //Контрольно-измерительная техника.- Львов: 1990, вып.47, с.58-61.
2. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Построение измерительных преобразователей малых и микрорасходов газов на линейных газодинамических дросселях. ИТ, №8, 1990, с.42-43.
3. З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Инвариантные к температуре газодинамические синтезаторы полерочных смесей. //Контрольно-измерительная техника.- Львов: 1990, вып.48, с.51-54.
4. І.В.Ділай. Газодинамічний пристрій синтезу газових сумішей.- Львів: Вісник Львівського політехнічного інституту, 1991. №256, с.19-20.
5. З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Компенсация влияющих факторов в газодинамических синтезаторах газовых смесей. //Гидропривод и гидропневмоавтоматика.- Киев: 1991, вып.27, с.69-75.

6. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, Я.Г.Друль, И.В.Дилай. Дослідження нелінійності газодинамічних дросельних елементів. //Контроль-но-виміркова техніка. Львів: 1992, вип.49, с.46-49.
7. А.с. № 1552864 (СССР). Система для установления равенства газодинамических сопротивлений дросселей. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Доп.
8. А.с. № 1648490 (СССР). Смеситель дыхательных газов. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай и В.П.Кореньков. Опубл. в Б.И., 1991, №18.
9. А.с. № 1733064 (СССР). Устройство для получения газовых смесей. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай и Б.А.Кривль.- Опубл. в Б.И., 1992, №18.
10. А.с. № 1759430 (СССР). Смеситель дыхательных газов. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Опубл. в Б.И., 1992, №33.
11. А.с. № 1760406 (СССР). Способ подбора дросселей с равными газодинамическими сопротивлениями. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. Опубл. в Б.И., 1992, №33.
12. А.с. № 1769212 (СССР). Делитель газового потока. Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай и Я.Г.Друль. Опубл. в Б.И., 1992, №38.
13. Синтезатор газовых смесей для метрологического обеспечения ИИС газового анализа. /Е.П.Пистун, З.Н.Теплых, И.В.Дилай. В кн.:Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "ИИС-89". Ульяновск, 1989, ч.1, с.136.
14. Метрологическое обеспечение систем газового анализа. /И.В.Дилай. В кн.:Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов организаций и предприятий системы Госстандарта СССР "Метрология и стандартизация в научно-технической революции". Новосибирск, 1989, с.75.

Дилэй І.В. Газодинамічні синтезатори для приготування сумішей заданого складу.

Дисертація на соискание ученої ступені кандидата технічних наук по спеціальності 05.11.13 - прибори і методи контролю оточуючої середовища, речовин, матеріалів і виробів, ІУ "Львівська політехніка", Львів, 1994.

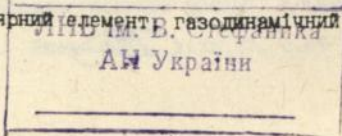
В роботі досліджені газодинамічні синтезатори газових сумішей на базі капілярних сумматорів потоків. Розроблені принципи побудови високоточних синтезаторів. Розв'язана задача оптимізації конструкції капілярних елементів сумматора по критерію мінімуму погрешності приготування суміші. Розроблено синтезатор для калібрування аналізаторів крові. Основні результати роботи викладені в 8 статтях і 6 авторських свідченнях.

Dilay I.V. Gas dynamical synthesizers for preparing gas mixtures from constituents in a given proportion.

The thesis for the candidate of technical science degree in speciality 05.11.13 - devices and methods to control environment, substances, materials and products. "Lviv Polytechnic" University, Lviv, 1994.

Gas dynamical synthesizers of gas mixtures based on capillar summator of flows are studied. The principles of constructing precision gas dynamical synthesizers are worked out. The problem to minimize the error of preparing gas mixtures from constituents in a given proportion optimal construction of capillary elements of summator of flows has been solved. A synthesizer to calibrate blood analysere has been developed. The main results of the thesis are presented in 8 papers and 6 patents.

Ключові слова: капілярний елемент, газодинамічний синтезатор, газова суміш.



Підп. до друку 27.09.95. Формат 60x84¹/16
Папір друк. № 2. Офс. друк. Умовн. друк. арк. 4
Умовн. фарб.-відб. Умовн. видав. арк. 0.93
Тираж 100 прим. Зам. 486. Безплатно

ДУЛП 290646 Львів-ІЗ, Ст.Бандери, І2

Дідьниця оперативного друку ДУЛП
Львів, вул. Городоцька, 286

455145

AB 31.222

AB 31.222