



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43416 (13) C2

(51) 7 G01T3/00, H01J47/00,
H01J47/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ДВОСЕКЦІЙНА ГАЗОНАПОВНЕНА ІОНІЗАЦІЙНА КАМЕРА (ВАРІАНТИ)

(21) 97126324

(22) 26 12 1997

(24) 17 12 2001

(31) 97104837

(32) 27 03 1997

(33) RU

(46) 17 12 2001, Бюл. № 11, 2001 р.

(72) Чукляев Сергей Васильевич, RU

(73) НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, RU, ЧУКЛЯЕВ
СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, RU

(56) Чукляев С.В., Грудский В.А., Артемьев В.А.
Вторично-эмиссионные детекторы ионизирующих
излучений - М. Энергоатомиздат, 1995, с. 181

(57) 1 Двосекційна газонаповнена іонізаційна камера, що містить замкнені у корпусі дві електродні системи, які створюють усередині двох герметичних секцій два чутливих об'єми V_1 та V_2 , перший з яких заповнений під тиском P_1 газовою сумішшю, що ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, або газом, який ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, при цьому один із електродів в першій та другій секціях електрично ізольований від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання з зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення, яка відрізняється тим, що другий об'єм містить газ або суміш газів під тиском P_2 у інтервалі

$$k \cdot a_2 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2 < P_2 < k \cdot a_1 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2,$$

де $k = f \cdot \mu \cdot w$,

$$a_2 = [1 + (\eta_1 - \eta_2) (abs^+ U_0 - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$$a_1 = [1 + \eta_1 (abs^+ U_0 - m \cdot e \cdot E_e)]$$

f - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких вторинних електронів, що виникають під дією фонового γ -випромінювання, в газах (газових сумішах), які містяться у першому та другому чутливих об'ємах, μ - відношення середніх молекулярних мас газів (газових сумішей), що містяться у першому та другому чутливих об'ємах, w - відношення середніх енергій утворення іонів в газах (газових сумішах), що містяться у першому та другому чутливих об'ємах, під дією γ -випромінювання, η_1 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання в першому чутливому об'ємі, η_2 - максимальний нахил вольт-амперної характери-

стики, яка виникає під дією γ -випромінювання у другому чутливому об'ємі, e - заряд електрона, E_e - максимальна енергія повільних вторинних електронів, що виникають в чутливих об'ємах під дією іонізуючого випромінювання, m - розмірний коефіцієнт, при цьому абсолютне значення номінальної електричної напруги живлення другого чутливого об'єму, що забезпечує повну компенсацію струму від γ -випромінювання, не перевищує абсолютного значення $abs^+ U_0$ номінальної напруги живлення першого чутливого об'єму

2 Двосекційна газонаповнена іонізаційна камера, що містить замкнені у корпусі дві електродні системи, які створюють усередині двох герметичних секцій два чутливих об'єми V_1 та V_2 , перший з яких заповнений під тиском P_1 газовою сумішшю, що ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, або газом, який ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, при цьому один із електродів в першій та другій секціях електрично ізольований від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання з зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення, яка відрізняється тим, що другий об'єм містить газ або суміш газів під тиском P_2 у інтервалі

$$k \cdot a_3 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2 < P_2 \leq k \cdot a_2 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2,$$

де $k = f \cdot \mu \cdot w$,

$$a_2 = [1 + (\eta_1 - \eta_2) (abs^+ U_0 - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$$a_3 = [a_2 - \eta_2 (abs^- U_{max} - abs^+ U_0)]$$

f - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких вторинних електронів, що виникають під дією фонового γ -випромінювання, в газах (газових сумішах), які містяться у першому та другому чутливих об'ємах, μ - відношення середніх молекулярних мас газів (газових сумішей), що містяться у першому та другому чутливих об'ємах, w - відношення середніх енергій утворення іонів в газах (газових сумішах), що містяться у першому та другому чутливих об'ємах, під дією γ -випромінювання, η_1 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання в першому чутливому об'ємі, η_2 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання у другому чутливому об'ємі, e - заряд електрона, E_e -

максимальна енергія повільних вторинних електронів, що виникають в чутливих об'ємах під дією іонізуючого випромінювання, m - розмірний коефіцієнт, при цьому абсолютне значення номінальної електричної напруги живлення другого чутливого об'єму, що забезпечує повну компен-

сацію струму від γ -випромінювання, перевищує абсолютне значення $\text{abs}[^+U_0]$ номінальної напруги живлення першого чутливого об'єму аж до абсолютного значення електричної міцності ізоляції або максимальної допустимої напруги живлення $\text{abs}[^+U_0]$

Винахід відноситься до галузі технічної фізики, зокрема, до галузі реєстрації нейтронів. Найбільш ефективно винахід може бути використаний при виготовленні камер для вимірювання потоку нейтронів в струмових каналах системи керування і захисту ядерних реакторів, критичних складань та інших джерел нейтронів.

Найбільш близьким до технічного рішення, що пропонується, є двосекційні газонаповнені іонізаційні камери типу КНК, що містять замкнені у корпусі дві герметичні секції і систему електродів, що створює усередині цих секцій два герметичних чутливих об'єми, один із яких заповнений відповідно ^3He або $^{10}\text{BF}_3$ - газами, які ефективно випромінюють енергетичне заряджені частки в реакції з нейтронами, а другий об'єм - інертним газом, при цьому один із електродів в першій і другій секціях електрично ізолюваний від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання з зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення, а сигнальні електроди електрично з'єднані між собою [1].

Недоліком цих пристроїв є відсутність зв'язку фізичних характеристик матеріалів з характеристиками конструкції, що зумовлює низький вихід придатних виробів.

Суть технічного рішення, що пропонується, полягає у тому, що в двосекційній газонаповненій іонізаційній камері, що містить замкнені у корпусі дві електродні системи, які створюють усередині двох герметичних секцій два чутливих об'єми V_1 та V_2 , перший з яких заповнений під тиском P_1 газовою сумішшю, яка ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, або газом, який ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, при цьому один із електродів в першій і другій секціях електрично ізолюваний від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання з зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення, другий об'єм містить газ або суміш газів під тиском P_2 у інтервалі

$$K \cdot a_2 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2 < P_2 < K \cdot a_1 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2,$$

де $K = f \cdot \mu \cdot w$,

$$a_2 = [1 + (\eta_1 - \eta_2) (\text{abs}[^+U_0] - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$$a_1 = [1 + \eta_1 (\text{abs}[^+U_0] - m \cdot e \cdot E_e)]$$

f - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких вторинних електронів, які виникають під дією фонового γ -випромінювання, в газах (газових сумішах), що містяться у першому і другому чутливих об'ємах,

μ - відношення середніх молекулярних мас газів (газових сумішей), які містяться у першому і другому чутливих об'ємах,

w - відношення середніх енергій утворення іонів у газах (газових сумішах), які містяться в першому і другому чутливих об'ємах, під дією γ -випромінювання,

η_1 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання в першому чутливому об'ємі,

η_2 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання у другому чутливому об'ємі,

e - заряд електрона,

E_e - максимальна енергія повільних вторинних електронів, що виникають в чутливих об'ємах під дією іонізуючого випромінювання,

m - розмірний коефіцієнт, при цьому абсолютне значення номінальної електричної напруги живлення другого чутливого об'єму, що забезпечує повну компенсацію струму від γ -випромінювання, не перевищує абсолютного значення $\text{abs}[^+U_0]$ номінальної напруги живлення першого чутливого об'єму, або в двосекційній газонаповненій іонізаційній камері, що містить замкнені у корпусі дві електродні системи, які створюють усередині двох герметичних секцій два чутливих об'єми V_1 та V_2 , перший з яких заповнений під тиском P_1 газовою сумішшю, яка ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, або газом, який ефективно випромінює заряджені частки в реакції з нейтронами, при цьому один із електродів в першій і другій секціях електрично ізолюваний від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання з зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення, другий об'єм містить газ або суміш газів під тиском P_2 у інтервалі

$$K \cdot a_3 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2 < P_2 \leq K \cdot a_2 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2,$$

де $K = f \cdot \mu \cdot w$,

$$a_2 = [1 + (\eta_1 - \eta_2) (\text{abs}[^+U_0] - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$$a_3 = [a_2 - \eta_2 (\text{abs}[^-U_{\text{max}}] - \text{abs}[^+U_0])]$$

f - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких вторинних електронів, які виникають під дією фонового γ -випромінювання, в газах (газових сумішах), що містяться у першому і другому чутливих об'ємах,

μ - відношення середніх молекулярних мас газів (газових сумішей), які містяться в першому та другому чутливих об'ємах,

w - відношення середніх енергій утворення іонів в газах (газових сумішах), які містяться у першому та другому чутливих об'ємах, під дією γ -випромінювання,

η_1 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання в першому чутливому об'ємі,

η_2 - максимальний нахил вольт-амперної характеристики, яка виникає під дією γ -випромінювання у другому чутливому об'ємі,

e - заряд електрона,

E_e - максимальна енергія повільних вторинних електронів, що виникають в чутливих об'ємах під дією іонізуючого випромінювання,

m - розмірний коефіцієнт, при цьому абсолютне значення номінальної електричної напруги живлення другого чутливого об'єму, що забезпечує повну компенсацію струму від γ -випромінювання, перевищує абсолютне значення $abs|U_0|$ номінальної напруги живлення першого чутливого об'єму аж до абсолютного значення електричної міцності ізоляції або максимальної допустимої напруги живлення $abs|U_{max}|$

Запропоноване технічне рішення дозволяє виготовляти скомпенсовані по струму від фонових γ -випромінювання двосекційні камери із збільшеною чутливістю для каналів контролю потоку нейтронів у реакторі за рахунок установленого в матеріалі заявки співвідношення між тиском газів, номінальними напругами живлення, характеристиками конструкції та використовуваних в ній матеріалів

Нижче викладений приклад конкретного виконання з посиланнями на прикладні креслення (фіг.) та таблиці (табл.), в яких

на фіг. 1 зображена електрична схема двосекційної газонаповненої іонізаційної камери,

на фіг. 2 зображена схема конструкції двосекційної газонаповненої іонізаційної камери типу КНК,

на фіг. 3 зображена схема конструкції двосекційної газонаповненої іонізаційної камери типу КНК,

на фіг. 4 зображені вольт-амперні характеристики секцій газонаповненої іонізаційної камери, що виникають під дією γ -випромінювання радіаційної установки з джерелами ^{60}Co ,

на фіг. 5 зображена залежність коефіцієнта a_1 від максимального нахилу вольт-амперної характеристики першого чутливого об'єму η_1 та коефіцієнтів a_2 і a_3 від максимального нахилу вольт-амперної характеристики другого чутливого об'єму η_2 при номінальній електричній напрузі живлення 500 В і максимальній допустимій напрузі живлення 1000 В,

на фіг. 6 зображена діаграма для визначення граничних відношень тисків газів по фізичним характеристикам газів і відношенню чутливих об'ємів в секціях камери,

в табл. 1 представлені основні характеристики модифікацій двосекційної газонаповненої іонізаційної камери типу КНК,

в табл. 2 представлені молекулярні маси μ , і середні енергії w , утворення однієї пари іонів в чистих газах і повітрі під дією γ -випромінювання і швидких електронів,

в табл. 3 представлені значення коефіцієнта k для визначення відношення тисків газів в секціях з різним складом газів по зображеній на фіг. 6 діаграмі

Двосекційна газонаповнена іонізаційна камера (фіг. 1) містить замкнуті в корпусі 1 дві електродні системи 2 і 3, що утворюють усередині двох герметичних секцій два чутливих об'єми V_1 4 та V_2

5 висотою L_1 та L_2 відповідно. Всі електроди електрично ізолювані від корпусу за допомогою опорних ізоляторів 6. Один із електродів 7 в першій та другій секції електрично ізолюований від інших електродів і є високовольтним, призначеним для з'єднання за допомогою електричних ввідів 8 та лінії електричного зв'язку 9 із зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення 10. Два інших сигнальних електроди електрично замкнені і призначені для з'єднання з вимірювачем електричного струму 11.

Електродні системи можуть бути виготовлені в аксіальній циліндричній або плоскопаралельній геометрії електродів у кожній секції. Найбільш перспективна конструкція, в якій перша секція містить систему із двох електродів, що являє собою набір плоских дисків з отворами у центрі, які закріплені паралельно один одному, і заповнена газовою сумішшю або газом, що ефективно випромінюють заряджені частки в реакції з нейтронами, а друга секція містить систему із двох аксіальних циліндричних електродів, заповнена газовою сумішшю або газом, що не утворюють заряджених часток в реакції з нейтронами, і розміщена усередині циліндричної порожнини, яка утворена отворами в дисках електродної системи першої секції. При такій геометрії електродної системи нейтроночутливий об'єм в першій секції практично співпадає з об'ємом, який зайнятий нейтроночутливим газом, що забезпечує мінімальне послаблення нейтронного потоку, що досягає нейтроночутливого об'єму. Конструкції камер з такою комбінацією геометрій електродних систем в секціях умовно позначимо КНК-56М.

Електродна система в першій секції може бути закріплена за допомогою стрижнів або стояків В конструкціях, в яких використані стрижні, електродна система 2 може являти собою набір із 148 (КНК-56М1) або 244 (КНК-56М2) дисків діаметром близько 44 мм і товщиною близько 0,4 мм, які розміщені в циліндричному корпусі 1 зовнішнім діаметром близько 50 мм і товщиною стінки близько 0,8 мм (фіг. 2). Диски мають однакові отвори у центрі і по чотири отвори на периферії, два діаметрально протилежні з яких призначені для прокладки стрижнів і кріплення дисків одного електрода на опорних стрижнях 12 цього електрода, а два інших отвори - для прокладки опорних стрижнів другого електрода. Диски зафіксовані за допомогою втулок, що нанизані на опорні стрижні і стягнуті гайкою 13. Довжина втулок підібрана таким чином, що кожний диск одного електрода, який називається сигнальним, розміщений між двома дисками другого високовольтного електрода 7, призначеного для з'єднання за допомогою електричного вводу 8 із зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення 10, і між дисками різнойменних електродів утворюється зазор близько 1,6 мм. Для більшої стійкості диски електродів можуть бути стягнуті шинами, що прокладені у вирізах на периферії і приварені до дисків однойменних електродів. Електродна система розділена на чотири частини за допомогою трьох опорних кілець 14, в яких закріплені керамічні втулки 15 з отвором для прокладки опорних стрижнів 12. Висота кожної частини $L_1 = 72,4$ мм в КНК-56М1 та $L_1 = 120,4$ мм в КНК-56М2. Стрижні ізолювані від

корпусу за допомогою опорних ізоляторів 6 із високоглиноземистої кераміки, що установлені в спеціальні гнізда у фланцях. Через отвори в опорних ізоляторах один із стояків кожного електрода електрично з'єднаний з окремим стандартним електричним вводом 8, що виготовлений із спаю корундової кераміки з коваром і увареним у верхній торцевий фланець 16, а один із стояків сигнального електрода електрично з'єднаний із стандартним електричним вводом 8, що уварений у нижній торцевий фланець 17.

В конструкції, що умовно позначена КНК-56М3, перша секція може бути зібрана із трьох частин, що установлені одна за другою і зварені між собою за допомогою перехідних фланців 18 (фиг. 3). Кожна частина містить систему із двох електродів, які розміщені в циліндричному корпусі 1 зовнішнім діаметром близько 50 мм і товщиною стінки 0,8 мм. Електроди набрані із 44 і 45 дисків діаметром 44 і товщиною близько 0,4 мм, в центрі яких виготовлені однакові отвори. Диски кожного із електродів на периферії мають вирізи для прокладки трьох стояків 19, вигнутих у поперечному напрямі по формі вирізів у дисках, та виступи, які при складанні електродної системи заводять у отвори несучих стояків, загинають і приварюють до останніх точковим електрозварюванням. Отвори в стояках розташовані таким чином, що між дисками різнойменних електродів утворюється зазор близько 1,6 мм, а кожний диск одного електрода, який називається сигнальним, виявляється розміщеним між двома дисками другого високовольтного електрода 7. Висота кожної частини цієї конструкції $L_1 = 176,4$ мм. Стояки ізольовані від корпусу за допомогою опорних ізоляторів із високоглиноземистої кераміки 6 марки ВК 100-2, встановлених в спеціальні гнізда у фланцях. Через отвори в перехідних фланцях 18 і опорних ізоляторах 6 стояки однойменних електродів сусідніх частин з'єднані між собою струмоведучими провідниками, а один із стояків кожного електрода верхньої частини електрично з'єднаний з окремим стандартним електричним вводом 8, увареним у верхній торцевий фланець 16. Один із стояків сигнального електрода нижньої частини електрично з'єднаний із стандартним електричним вводом, увареним у нижній торцевий фланець 17.

Розміщена усередині циліндричної порожнини, утвореної отворами в дисках електродної системи, в опорних кільцях 14 і у фланцях 16, 17, 18 першої секції, друга секція камери складається із замкнених у герметичному циліндричному корпусі максимальним зовнішнім діаметром 19,5 мм двох електродів 3, виготовлених із аксіальних циліндричних труб, закріплених за допомогою опорних ізоляторів 6 із високоглиноземистої кераміки, встановлених в спеціальні гнізда у фланцях. Через отвори в опорних ізоляторах один із електродів 7 з'єднаний струмоведучим провідником із стандартним електричним вводом 8, що уварений у верхній торцевий фланець секції і призначений для з'єднання із зовнішнім джерелом номінальної електричної напруги живлення 10. Цей електрод називається високовольтним. Сигнальний електрод, призначений для компенсації струму від фонового γ -випромінювання у ланцюзі сигнального електрода першої секції, електрично з'єднаний за допомо-

гою сусідніх електричних ввів 8, що установлені на нижніх торцевих фланцях 17, з сигнальним електродом першої секції.

За винятком вузлів електричних ввів і опорних ізоляторів усі металеві деталі двосекційної камери виготовлені із нержавіючої сталі аустенітного класу. Після зварювання верхніх 16 і нижніх 17 торцевих фланців секцій між собою забезпечується кріплення другої секції усередині першої і герметизація першої секції. Чутливий об'єм 4 (V_1) у першій секції визначається об'ємом порожнини, обмеженої проекційною площиною крайніх пластин у кожній частині електродної системи на стінки корпусу, що замкнуті між цими площинами внутрішньою поверхнею стінки корпусу цієї секції, зовнішньою поверхнею стінки корпусу другої секції і поверхнею електродної системи (поверхнею дисків, стержнів із втулками, стояків). У описаних вище конструкціях КНК-56М1, КНК-56М2 та КНК-56М3 значення V_1 відповідно дорівнюють 356, 594 та 711 см^3 . Чутливий об'єм 5 (V_2) у другій секції визначається об'ємом порожнини, що обмежена внутрішньою і зовнішньою циліндричними поверхнями аксіальних електродів більшого і меншого діаметрів відповідно і поверхнями, що утворені на протилежних краях електродної системи обертанням лінії, що проходить по краях електродів, і які перетинають вісь електродної системи, навколо осі електродної системи. Наприклад, при використанні тонкостінних труб діаметром 14 і 5 мм у другій секції конструкцій КНК-56М1, КНК-56М2 та КНК-56М3 значення V_2 відповідно дорівнюють 42, 69 і 76 см^3 . Відношення V_1/V_2 відповідно дорівнюють 8,5, 8,6 і 9,3.

Після знегажування відкачку і наповнення секцій газами здійснюють через трубки 20, що уварені у нижні торцеві фланці. Перша секція може бути заповнена до тиску P_1 газом або газовою сумішшю, яка містить ядра, що випромінюють заряджені частки в реакції з нейтронами, наприклад, $^{10}\text{BF}_3(n, \alpha)^7\text{Li} + 3\text{F}$ або $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$. Тиск і склад газової суміші вибирають з точки зору одержання необхідної або максимально можливої для конкретної конструкції чутливості до нейтронів. Друга секція, що призначена для компенсації струму від γ -випромінювання, що виникає при вимірюванні потоку нейтронів на фоні супровідного γ -випромінювання, заповнена до тиску P_2 електропозитивною сумішшю газів або газом, наприклад ^4He , Ar , Kr , Xe та ін., що не утворюють заряджених часток у реакції з нейтронами, і таким чином, чутлива тільки до γ -випромінювання. Основні характеристики модифікацій двосекційної газонаповненої іонізаційної камери типу КНК приведені у таблиці 1.

Під дією нейтронів виникають енергетичні заряджені α -частки в реакції $^{10}\text{BF}_3(n, \alpha)^7\text{Li}$ або протони в реакції $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$, які іонізують газ у чутливому об'ємі першої секції. При створенні зовнішнім джерелом живлення номінальної електричної напруги $^{220}\text{U}_0$ на високовольтному електроді у ланцюзі сигнального електрода цієї секції тече іонізаційний струм. Під дією γ -випромінювання у матеріалі виникають швидкі вторинні електрони, довжина пробігу яких значно перевищує відстань між електродами в кожній із секцій описаних вище конструкцій. У процесі гальмування ці електрони сповільнюються і утворюють в газонаповнених чутливих об'ємах

секцій іони і термалізовані повільні вторинні електрони з максимальною енергією спектра $E_e = 50$ эВ

При створенні зовнішніми джерелами 10 на високовольтних електродах секцій електричних напруг живлення ${}^+U$ та U в чутливих об'ємах відбувається збирання носіїв заряду і виникають іонізаційні струми I_i ($i = 1, 2$ відповідно для першої і другої секцій камери), які досягають насичення I_{0i} при напругах живлення ${}^+U_{нас}$ та $U_{нас}$. Значення ${}^+U_{нас}$ і $U_{нас}$ залежать, головним чином, від швидкості утворення і умов збирання носіїв заряду в кожному із чутливих об'ємів. Коли тиск газу в секціях і потужність випромінювання низькі та іони не впливають на рух повільних вторинних електронів, значення абсолютних значень ${}^+U_{нас}$ та $U_{нас}$ наближаються до $U_{min} = m \cdot e \cdot E_e = 50$ В. При протилежних по знаку напругах живлення ${}^+U$ і U струми I_1 та I_2 віднімаються у ланцюзі електрично з'єднаних сигнальних електродів секцій і на вхід вимірювача 11 надходить різницевий струм

Якщо припустити, що у описаних вище конструкціях виконується співвідношення Брега - Грея і відбувається повне збирання носіїв заряду,

$$I_{0i} = \frac{e \cdot \rho_i \cdot V_i}{f_i \cdot w_i} \quad P_i = \frac{e \cdot \mu_i}{N_L \cdot f_i \cdot w_i} \quad P_i \cdot V_i \cdot P_i, \quad (1)$$

де e - заряд електрона,

ρ_i , V_i - густина газу та об'єм i -того чутливого об'єму відповідно,

f_i - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких електронів, що виникають під дією γ -випромінювання, в матеріалі електродів і у газу i -ої секції,

w_i - середня енергія утворення іонів у газу i -ої секції під дією γ -випромінювання,

P_i - потужність дози, яка створюється зовнішнім γ -випромінюванням,

μ_i - молекулярні маси газу (газової суміші) у i -тому чутливому об'ємі,

N_L - стала Лошмідта,

P_i - тиск газу (газової суміші) у i -тому чутливому об'ємі

Для газової суміші значення μ_i вираховують

$$\text{по формулі } \mu_i = \sum_{j=1}^n P_j \mu_j / P_i,$$

де p_j , μ_j - парціальний тиск і молекулярна маса j -го газу у суміші відповідно,

n - кількість складових газів у суміші

Молекулярні маси μ_i і середні енергії w_i утворення однієї пари іонів у чистих газах і повтрі під дією γ -випромінювання і швидких електронів приведені у таблиці 2

При збільшенні напруги живлення вище $\text{abs}[{}^+U_{нас}]$ електричний струм у секціях збільшується, головним чином у зв'язку з тим, що збільшується рухомість носіїв заряду, яка зростає пропорційно напруженості електричного поля, значення I_i виражається формулою

$$I_i = I_{0i} + \int_{\text{abs}[U_{min}]}^{\text{abs}[U_{max}]} I_i \cdot \eta_i ({}^+U) \cdot d {}^+U = I_{0i} + I_{0i} \cdot \eta_i \cdot \Delta U \quad (2)$$

$$\text{де } \eta_i ({}^+U) = \frac{1}{I_i} \frac{dI_i}{dU} \quad \text{нахил вольт-амперної}$$

характеристики в i -тому чутливому об'ємі,

η_i - максимальний нахил вольт-амперної характеристики в i -тій секції при повному збиранні носіїв заряду у чутливому об'ємі,

$$\Delta U = (\text{abs}[U_{max}] - \text{abs}[U_{min}]).$$

Вольт-амперні характеристики першої та другої секцій, у яких $I_{01} = I_{02}$ позначені на фіг 4 позиціями 21 і 22 відповідно

Коли абсолютне значення напруги живлення другого чутливого об'єму U знаходиться у інтервалі від $m \cdot e \cdot E_e$ до $\text{abs}[U] < \text{abs}[{}^+U]$, верхня та нижня граничні умови, при яких досягається повна компенсація фонового струму від γ -випромінювання, мають вигляд

$$\begin{cases} I_{02} < I_1, \\ I_1 < I_2. \end{cases}$$

Вольт-амперні характеристики другої секції, що забезпечують повну компенсацію фонового струму від γ -випромінювання при граничних напругах живлення другої секції $\text{abs}[U] = \text{abs}[U_{min}] = m \cdot e \cdot E_e$ та $\text{abs}[U] = \text{abs}[{}^+U_0]$ позначені на фіг 4 позиціями 23 і 24 відповідно. Використовуючи (1) та (2) та приймаючи $I_{01}/I_{02} = \kappa P_1 V_1 / (V_2 P_2) = 1$, з цих умов отримуємо інтервал тиску P_2 газу у другій секції

$$\kappa a_2 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2 < P_2 < \kappa a_1 \cdot V_1 \cdot P_1 / V_2,$$

де $\kappa = f \cdot \mu \cdot w$,

$$a_2 = [1 + (\eta_1 - \eta_2) (\text{abs}[{}^+U_0] - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$$a_1 = [1 + \eta_1 (\text{abs}[{}^+U_0] - m \cdot e \cdot E_e)]$$

$f_1 \approx 1$ - відношення середніх масових гальмових здібностей швидких вторинних електронів, що виникають під дією фонового γ -випромінювання, в газах (газових сумішах), які містяться у першому та другому чутливих об'ємах,

μ - відношення середніх молекулярних мас газів (газових сумішей), що містяться у першому і другому чутливих об'ємах,

w - відношення середніх енергій утворення іонів у газах (газових сумішах), які містяться у першому та другому чутливих об'ємах під дією γ -випромінювання

По другому варіанту, у якому абсолютне значення напруги живлення другого чутливого об'єму перевищує абсолютне значення $\text{abs}[{}^+U_0]$ номінальної напруги живлення першого чутливого об'єму, але не вище абсолютного значення електричної міцності ізоляції або максимальної допустимої напруги живлення $\text{abs}[U_{max}]$, верхня та нижня граничні умови, при яких досягається повна компенсація фонового струму від γ -випромінювання, мають вигляд

$$\begin{cases} I_2 \leq I_1, \\ I_1 < I_2 (U_{max}). \end{cases}$$

Вольт-амперна характеристика другої секції, що забезпечує повну компенсацію фонового струму від γ -випромінювання при граничній напрузі

живлення $\text{abs}|U_{\text{max}}|$ або напрузі електричної міцності ізоляції $U_{\text{пр}}$, позначена на фіг 4 позицією 25. Аналогічно, використовуючи (1) та (2) і приймаючи $I_{01}/I_{02} = k P_1 V_1/V_2 P_2 = 1$, одержуємо

$$k \cdot a_3 V_1 P_1/V_2 < P_2 \leq k \cdot a_2 V_1 P_1/V_2,$$

$$\text{де } a_3 = [a_2 - \eta_2 (\text{abs}|U_{\text{max}}| - \text{abs}|U_0|)]$$

Звичайно для забезпечення визначеного ступеня надійності встановлюють $\text{abs}|U_{\text{max}}| \approx U_{\text{пр}}/3$

Залежність a_1 від η_1 показана позицією 26 на фіг 5. Значення a_2 зручно визначати в залежності від η_2 по графікам 27, 28, 29 та 30, побудованим при $\eta_1 = 3 \cdot 10^{-4}$, $5 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-3}$ та $2 \cdot 10^{-3} \text{ В}^{-1}$ відповідно. На цій же фігурі нанесені залежності a_3 від η_2 31, 32, 33 та 34, побудовані при $\eta_1 = 3 \cdot 10^{-4}$, $5 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-3}$ та $2 \cdot 10^{-3} \text{ В}^{-1}$ відповідно.

Як приклад на фіг 6 показана діаграма для визначення значень граничних відношень тисків газів P_2/P_1 , при яких досягається повна компенсація струму від фонових γ -випромінювання, по відношенню чутливих об'ємів V_1/V_2 у секціях камери. Фізичні характеристики газів враховуються коефіцієнтом (множником) k . Значення k при деяких комбінаціях газів у секціях камери приведені у таблиці 3. На цій діаграмі штрих-пунктирна лінія 35 побудована в припущенні $I_{01} = I_{02}$. Лінії 36, 37 та

38 замикають між собою значення P_2/P_1 в конструкції, у якій $\eta_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ В}^{-1}$, $\eta_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ В}^{-1}$ і абсолютне значення напруги живлення другого чутливого об'єму U , при якому досягається повна компенсація струму від фонових γ -випромінювання, знаходиться у інтервалах $m e E_0 < \text{abs}|U| \leq +U_0 = 500 \text{ В}$ та $+U_0 = 500 \text{ В} < \text{abs}|U| < \text{abs}|U_{\text{max}}| = 1000 \text{ В}$ відповідно. Тут же пунктирними лініями нанесені границі інтервалів відношення тисків газів, обчислені для конструкції, у якій $\eta_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ В}^{-1}$, $\eta_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ В}^{-1}$, $+U_0 = 500 \text{ В}$ і абсолютне значення напруги живлення другого чутливого об'єму U , при якому досягається повна компенсація струму від фонових γ -випромінювання, дорівнює $m e E_0$ 39 та $\text{abs}|U_{\text{max}}| = 1000 \text{ В}$ 40. Видно, що більш кращі конструкції, у яких $\eta_1 < \eta_2$, так як у них має місце тенденція до зниження тисків газів у секції, не чутливої до нейтронів, у порівнянні з конструкціями, у яких $\eta_1 > \eta_2$.

Виготовлення двосекційної газонаповненої іонізаційної камери описаним вище чином дозволяє одержувати зкомпенсовані по струму від γ -випромінювання зразки, чутливість яких до теплових нейтронів в 4 - 8 разів вища у порівнянні з камерою КНК-17-1 з твердим борвмісним радіатором, і використовувати їх у струмових каналах для вимірювання потоку теплових нейтронів у інтервалі від $2 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^2$ на фоні супровідного γ -випромінювання.

Таблиця 1

Основні характеристики модифікацій двосекційної газонаповненої іонізаційної камери типу КНК

Найменування характеристики, одиниця вимірювання	Номер модифікації					
	56M1	56M2	56M3	56M1	56M2	56M3
Склад нейтроночутливого газу	BF_3 (85 % ^{10}B)			^4He		
Чутливість до теплових нейтронів, 10^{13} Кл см^2	3,0	5,0	6,0	1,7	2,8	3,4
Максимальний власний фоновий струм, А	$5 \cdot 10^{-12}$			$1 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-10}$
Опір ізоляції електричних ввідів, Ом при нормальній температурі при температурі 473 К	10^{12} 10^{10}			10^{12} 10^{10}		
Номинальна електрична напруга живлення, В	500			500		
Електрична міцність, кВ	+ 3, - 2			+ 3, - 2		
Максимальна електрична напруга живлення, В	1000			1000		
Діапазон робочої температури, К	273 + 473			273 + 473		
Максимальна маса, кг	1,9	2,1	2,3	1,9	2,1	2,3

Таблиця 2

Молекулярні маси μ і середні енергії w утворення однієї пари іонів в чистих газах і повітрі під дією γ -випромінювання і швидких електронів

Газ	H_2	3He	4He	CH_4	Ne	C_2H_2	N_2	C_2H_4	Повітря
μ , г	2,0	3,0	4,0	16	20,2	26,0	28,0	28,1	29
w , еВ	37	31	31	27,3	36,2	25,7	34,6	26,3	33,7

Газ	Ar	O ₂	H ₂ S	CO ₂	C ₃ H ₈	CH ₃ Cl	C ₂ H ₅ Cl	$^{10}BF_3$	$^{11}BF_3$
μ , г	30,0	32,0	34,0	44,0	44,1	50,5	64,5	67,0	68,0
w , еВ	26,2	31,8	23,8	32,9	27,8	26,0	25,6	35,0	35,0

Газ	C ₅ H ₁₂	Kr	C ₆ H ₁₄	CH ₃ Br	C ₂ H ₅ Br	CHCl ₃	Xe	CH ₃ I	CCl ₄
μ , г	72,2	83,8	86,2	94,9	109,0	119,4	131,3	141,9	154,8
w , еВ	23,5	24,3	22,4	28,7	25,6	26,1	21,9	27,3	25,3

Таблиця 3

Значення коефіцієнта k для визначення відношення тисків газів в секціях з різним складом газів по зображеній на фіг. 6 діаграмі

Склад газу в першій секції	Склад газу в другій секції				
	4He	Ar	$^{11}BF_3$	Kr	Xe
BF_3 – 85 %-го збагачення по ^{10}B	–	0,34	0,59	1,0	1,8
3He	0,73	6,8	–	20	36

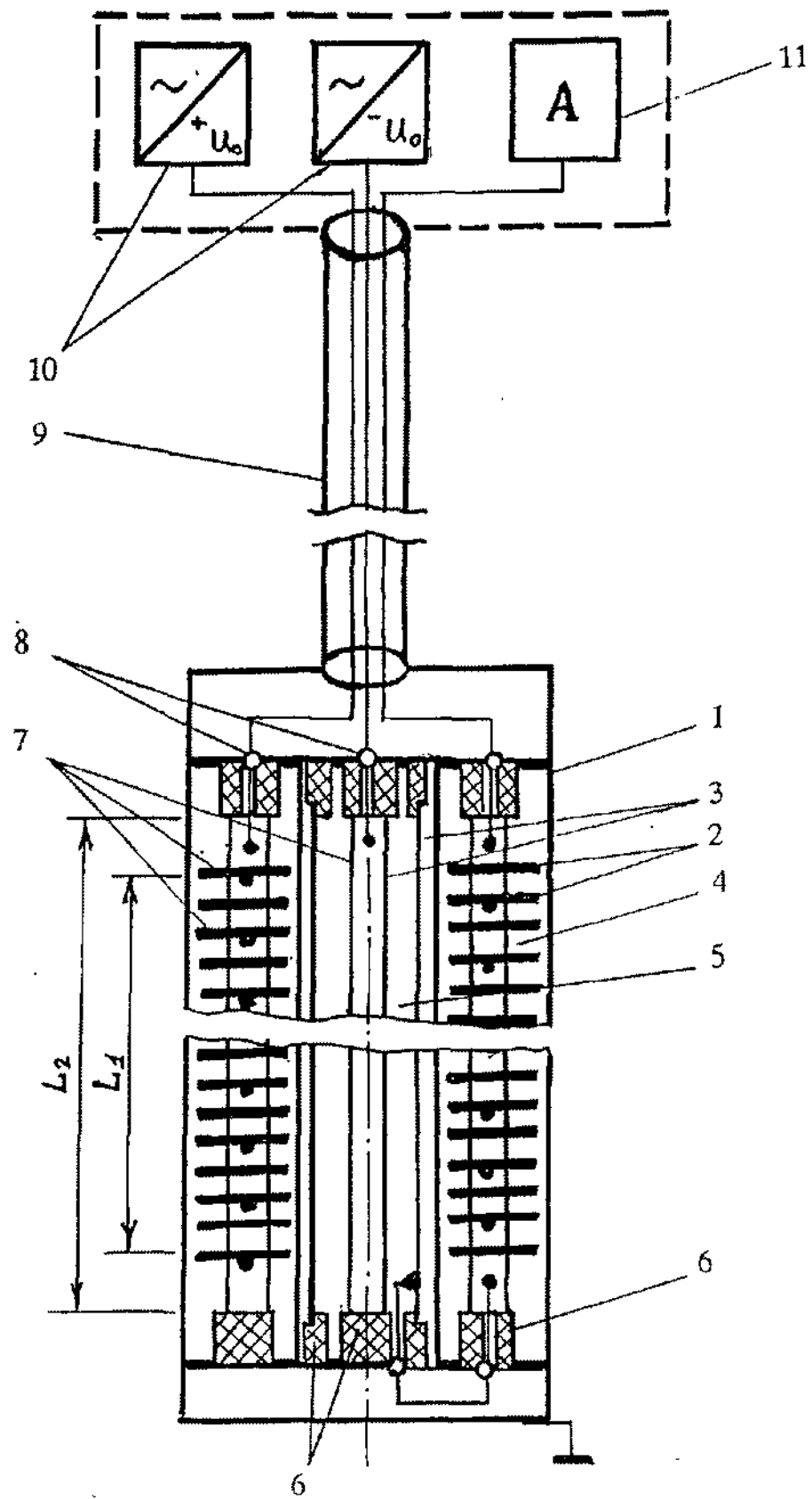


Fig. 1

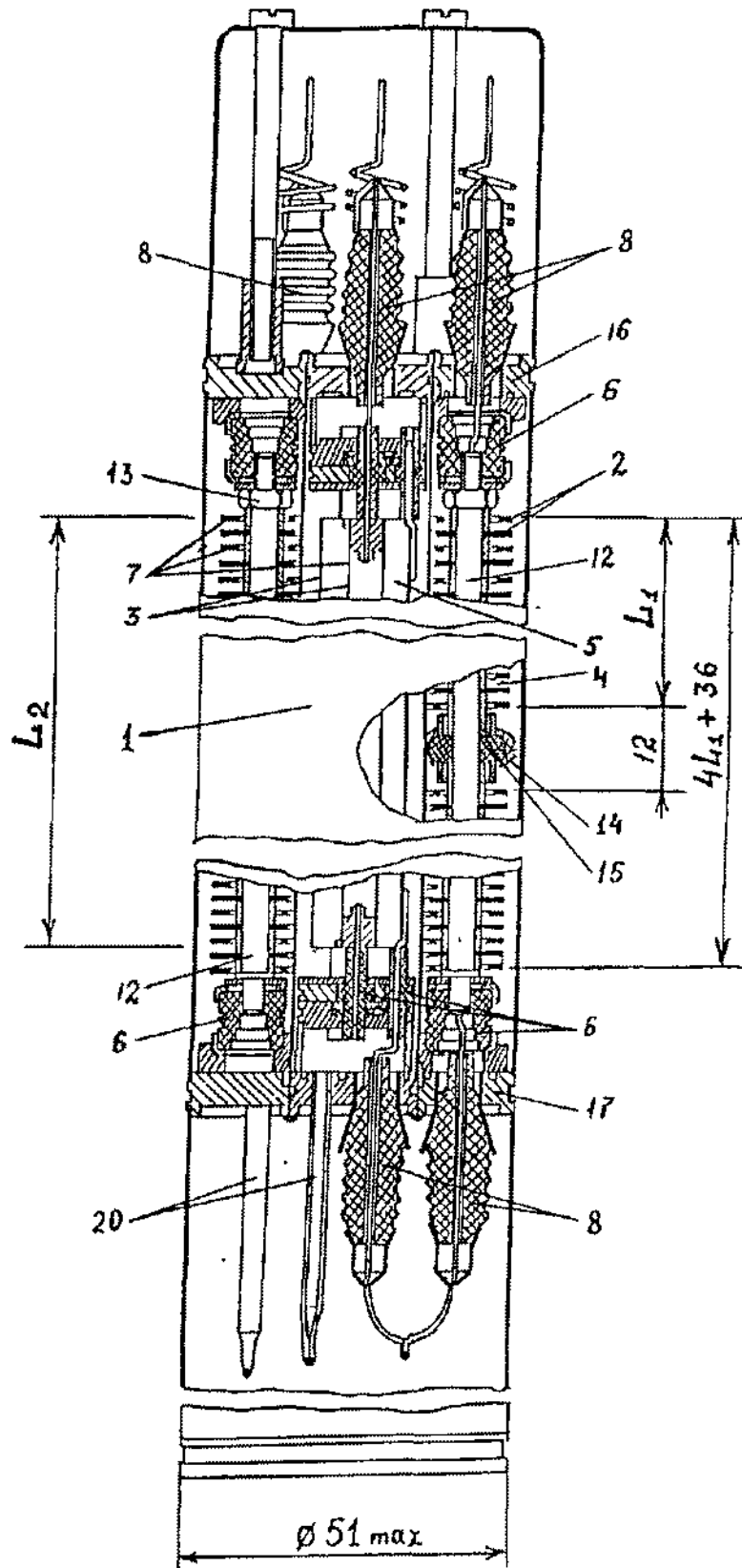


Fig. 2

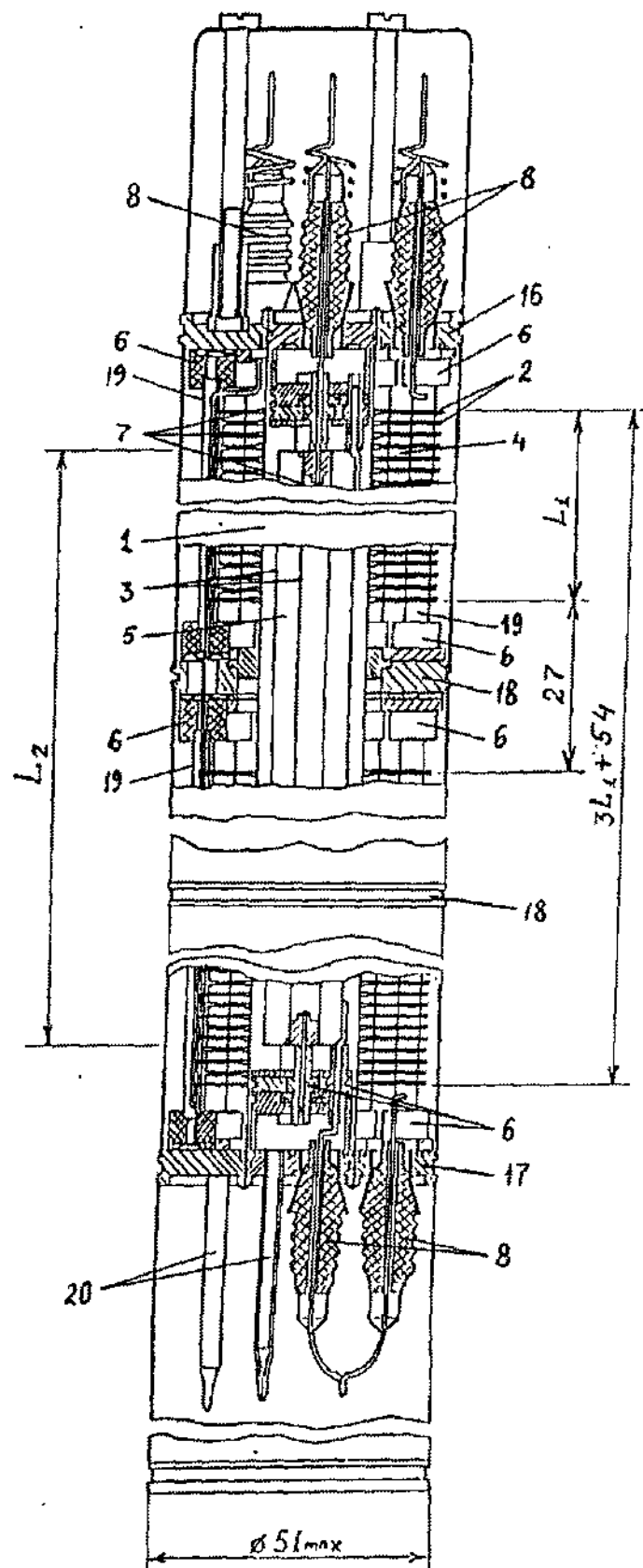


Fig. 3

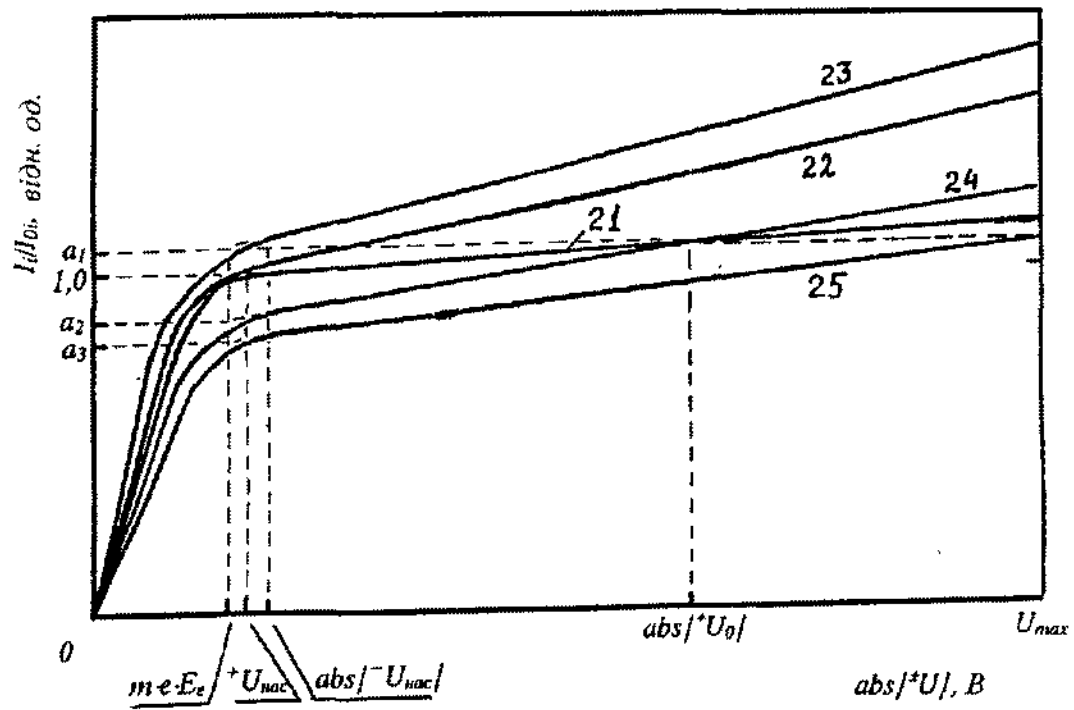


Fig. 4

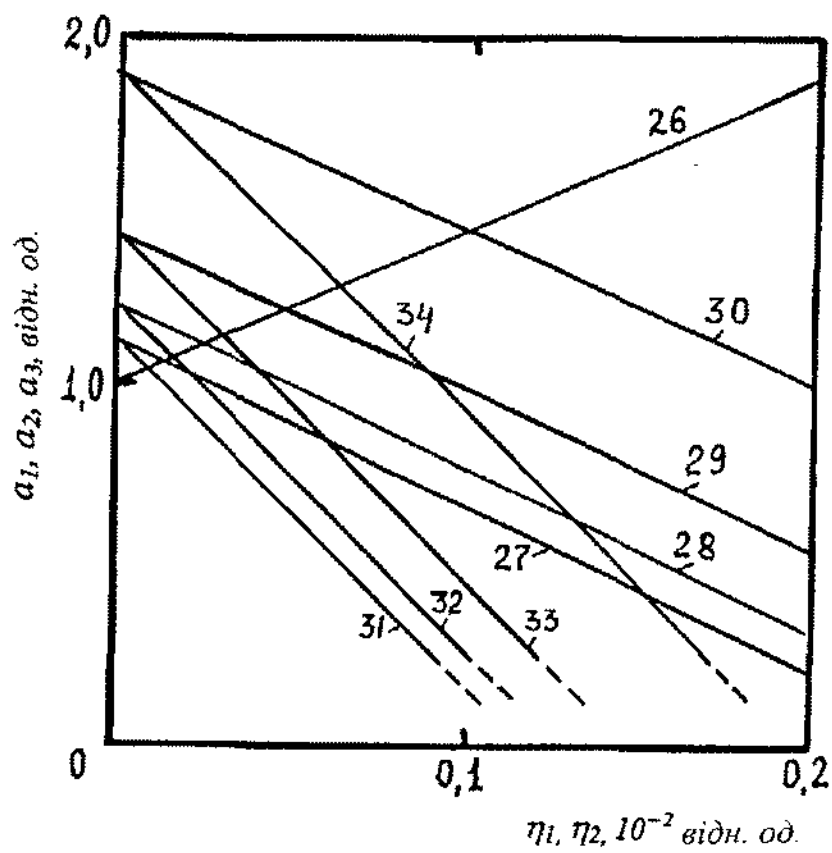
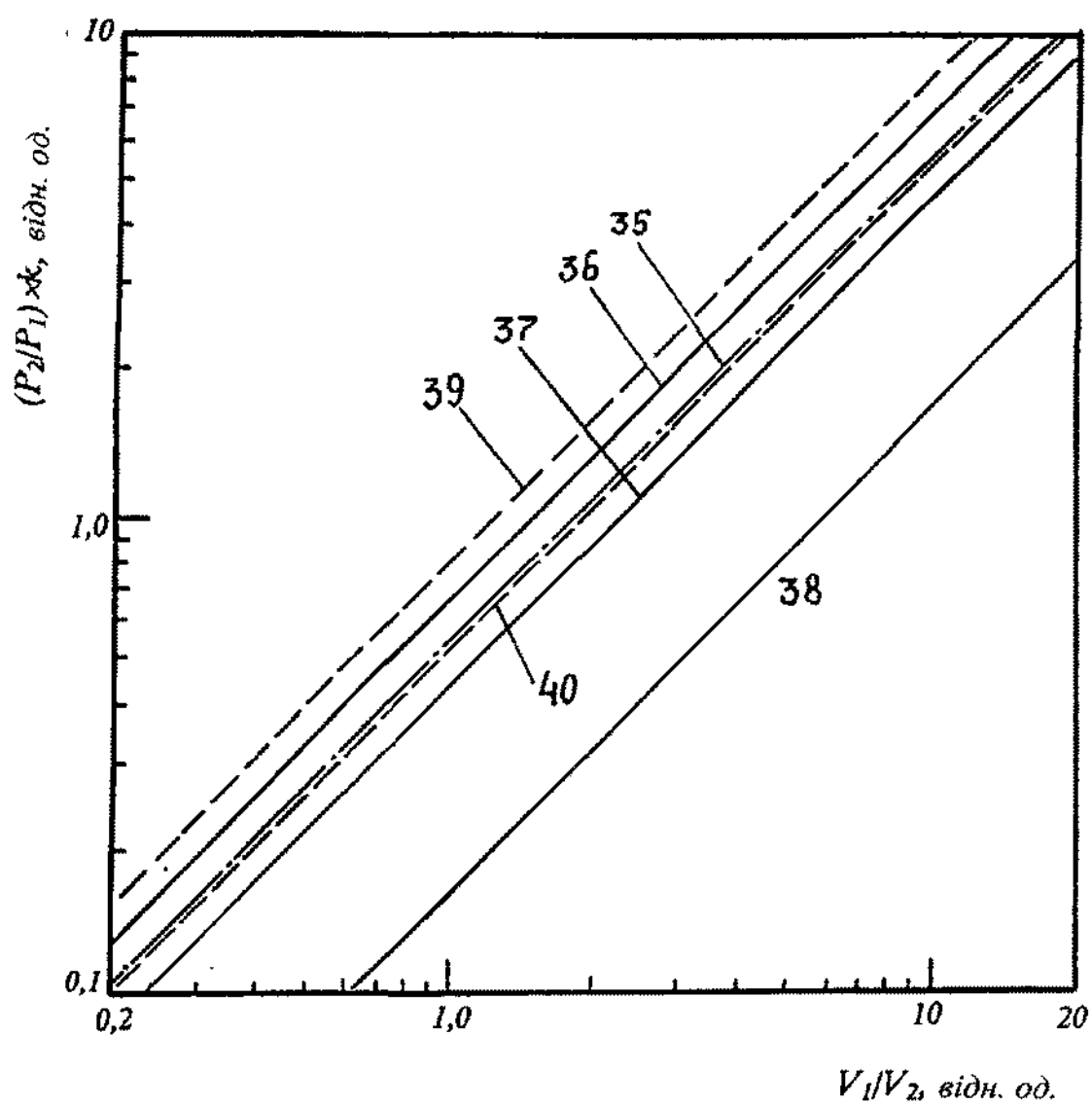


Fig. 5



Фіг. 6

Тираж 50 екз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
 (03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03