



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 45220

(13) A

(51) 6 G01N11/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) КОЛИВАЛЬНИЙ ВІСКОЗИМЕТР

1

2

(21) 2001064340

(22) 21.06.2001

(24) 15.03.2002

(46) 15.03.2002, Бюл. № 3, 2002 р.

(72) Никифрук Богдан Васильович, Єршова Емма  
Олександрівна(73) УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ  
ІНСТИТУТ СПЕЦІАЛЬНИХ ВИДІВ ДРУКУ

(57) 1. Коливальний віскозиметр, який містить корпус, контур збудження коливань, що містить спарений електромагніт, який відрізняється тим, що він додатково оснащений підсилювачем збудження низької частоти, блоком керування, електромагнітами блока керування, фазоінвертором, другим контуром збудження коливань, частотно-вибірковою ланкою, яка містить два двоконсольних вала з жорстко закріпленим на торці однієї з його консолей конусом, пружинами, вузлами настроювання жорсткості динамічної системи, індукційними датчиками, постійними магнітами, джерелом живлення, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів, при цьому усередині корпуса розміщено дві перегородки, в кожній з зазначених перегородок встановлено підшипники ковзання, на стінці корпуса між перегородками виконано отвір, який закривається кришкою, в кожний контур збудження коливань введена додаткова пара електромагнітів, частотно-коливальна ланка зв'язана з контуром збудження коливань через силопередавальні феромагнітні пластини,

жорстко і симетрично закріплені на другій консолі вала у площині його осі, вал виконано таким, що проходить крізь підшипники ковзання, усередині електромагнітів блока керування встановлено пружини, кожна з яких контактує з торцевою стінкою корпуса і з торцевою частиною двоконсольного вала, блок керування виконано зв'язаним з електромагнітами блока керування, виходи індукційних датчиків виконано сполученими з електромагнітами послідовно через підсилювач збудження низької частоти і фазоінвертор, а виходи джерела живлення виконано сполученими з електромагнітами блока керування через зазначений блок керування, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів.

2. Коливальний віскозиметр за п. 1, який відрізняється тим, що до вільного кінця одного вала конус закріплений за вершину, а на другому валу конус закріплений до консолі зазначеного вала у своїй порожнині.

3. Коливальний віскозиметр за п. 1, який відрізняється тим, що конуси виконано такими, що входять один в один.

4. Коливальний віскозиметр за п. 1, який відрізняється тим, що конуси виконано контактуючими між собою відповідно внутрішньою та зовнішньою поверхнями.

5. Коливальний віскозиметр за п. 1, який відрізняється тим, що порожнина між перегородками корпуса виконана герметичною.

Винахід відноситься до області дослідження середовища, а саме до пристроїв для вимірювання фізико-хімічних властивостей рідких і в'язких речовин, зокрема, до пристроїв для вимірювання в'язкості.

Відома конструкція вібраційного вимірювального перетворювача в'язкості, яка містить корпус, зонд, зв'язаний з контуром збудження коливань, який містить електромеханічні перетворювачі [1].

Недоліком відомої конструкції є те, що не забезпечується достатня точність вимірювання.

Відомий віскозиметр, який містить вібраційний датчик з зондом, який складається з верхнього і

нижнього неоднорідних стержнів, поділених мембраною, який виконано на базі механотрона 6МХІБ, блок живлення механотрона, систему збудження маятникових коливань зонда, генератор звукових коливань, систему вимірювання вихідного сигналу датчика [2]. Колювання зонда забезпечуються системою генерації, яка дозволяє плавно змінювати частоту коливань. При цьому амплітуда маятникових коливань зонда, пропорційна частоті коливань і в'язкості матеріалу, що досліджується, який реєструється пристроєм вимірювальної системи.

Недоліком відомого віскозиметра є недостатня

(13) A

(11) 45220

(19) UA

чутливість і мала ймовірність отриманих результатів контролю через недостатню точність вимірювання. Це пояснюється тим, що система збудження маятникових коливань збуджує зонд з частотою змущених (які задаються) коливань. Крім того, відомий механотронний віскозиметр може бути використаний тільки для виявлення в'язкості рідких матеріалів.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним як прототип, є коливальний віскозиметр, який містить корпус, контур збудження коливань, що містить спарений електромагніт [3].

Недоліком коливального віскозиметра, обраним як прототип, є недостатня точність вимірювання і, як наслідок, погіршення у визначенні величини в'язкості досліджуваного середовища (матеріалу).

В основу винаходу поставлена задача шляхом усунення недоліків прототипу забезпечити підвищення точності вимірювання величини в'язкості досліджуваного середовища.

Суть винаходу в коливальному віскозиметрі, який містить корпус, контур збудження коливань, що містить спарений електромагніт, досягається тим, що він додатково оснащений підсилювачем збудження низької частоти, блоком керування, електромагнітами блока керування, фазоінвертором, другим контуром збудження коливань, частотно-вибірковою ланкою, яка містить два двохконсольних вала з жорстко закріпленим на торці однієї з його консолей конусом, пружинами, вузлами налаштування жорсткості динамічної системи, індукційними датчиками, постійними магнітами, джерелом живлення, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів. Суть винаходу досягається також й тим, що у середині корпусу розміщено дві перегородки, в кожній з зазначених перегородок встановлено підшипники ковзання, на стінці корпусу між перегородками виконано отвір, який закривається кришкою, в кожний контур збудження коливань введена додаткова пара електромагнітів, частотно-коливальна ланка зв'язана з контуром збудження коливань через силопередавальні феромагнітні пластини, жорстко і симетрично закріплені на другій консолі вала у площині його осі, вал виконано таким, що проходить крізь підшипники ковзання, усередині електромагнітів блока керування встановлено пружини, кожна з яких контактує з торцевою стінкою корпусу і з торцевою частиною двохконсольного вала, блок керування виконано зв'язаним з електромагнітами блока керування, виходи індукційних датчиків виконано сполученими з електромагнітами послідовно через підсилювач збудження низької частоти і фазоінвертор, а виходи джерела живлення виконано сполученими з електромагнітами блока керування через зазначений блок керування, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів. Суттю винаходу є й те, що до вільного кінця одного вала конус є закріпленим за вершину, а на другому валу конус є закріпленим до консолі зазначеного вала у своїй порожнині, конуси виконано такими, що входять один в одне, зазначені конуси виконано контактуючими між собою відповідно внутрішньою та зовнішньою поверхнями, а

порожнина між перегородками корпусу виконана герметичною.

Порівняльний аналіз з прототипом показує, що коливальний віскозиметр, що заявляється, відрізняється тим, що він додатково оснащений підсилювачем збудження низької частоти, блоком керування, електромагнітами блока керування, фазоінвертором, другим контуром збудження коливань, частотно-вибірковою ланкою, яка містить два двохконсольних вала з жорстко закріпленим на торці однієї з його консолей конусом, пружинами, вузлами налаштування жорсткості динамічної системи, індукційними датчиками, постійними магнітами, джерелом живлення, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів, усередині корпусу розміщено дві перегородки, в кожній з зазначених перегородок встановлено підшипники ковзання, на стінці корпусу між перегородками виконано отвір, який закривається кришкою, в кожний контур збудження коливань введена додаткова пара електромагнітів, частотно-коливальна ланка зв'язана з контуром збудження коливань через силопередавальні феромагнітні пластини, жорстко і симетрично закріплені на другій консолі вала у площині його осі, вал виконано таким, що проходить крізь підшипники ковзання, усередині електромагнітів блока керування встановлено пружини, які контактують кожна як з торцевою стінкою корпусу, так і з торцевою частиною двохконсольного вала, блок керування виконано зв'язаним з електромагнітами блока керування, виходи індукційних датчиків виконано сполученими з електромагнітами послідовно через підсилювач збудження низької частоти і фазоінвертор, виходи джерела живлення виконано сполученими з електромагнітами блока керування через зазначений блок керування, частотоміром і реєстратором контрольованих параметрів, при цьому до вільного кінця одного вала конус є закріпленим за вершину, а на другому валу конус є закріпленим до консолі зазначеного вала у своїй порожнині, конуси виконано такими, що входять один у один, зазначені конуси виконано контактуючими між собою відповідно внутрішньою та зовнішньою поверхнями, а порожнина між перегородками корпусу виконана герметичною.

Таким чином, коливальний віскозиметр, що заявляється, відповідає критерію винаходу "новизна".

Суть винаходу пояснюється кресленнями, де на фіг.1 подана конструктивно-компонувальна схема коливального віскозиметра з розтинами для пояснення конструкції, на фіг.2 подана схема коливального віскозиметра у розтині А - А, на фіг.3 подана схема коливального віскозиметра у розтині Б - Б, на фіг.4 подана розміщення обладнання усередині корпусу, на фіг.5 - 6 подані схеми збудження крутильних коливань обох валів з конусами, відповідно, у перший та другий півперіоди коливань, на фіг. 7 подана схема розміщення конусів між собою, на фіг.8 представлена блок-схема коливального віскозиметра, яка пояснює його роботу, на фіг.9 показано номограму залежності частоти авторезонансних коливань  $f$  від в'язкості  $\nu$  досліджуваного матеріалу та температури  $t$  оточуючого середовища.

Коливальний віскозиметр (див. фіг.1) містить корпус 1, у середині якого розміщено дві перегородки 2. В кожній з зазначених перегородок 2 встановлено підшипники ковзання 3. Отвори підшипників ковзання 3 розміщено осесиметрично один до одного. Порожнина 4 між перегородками 2 представляє собою ємкість для досліджуваного середовища і виконана герметичною. На верхній стінці корпусу 1 (між двома зазначеними перегородками 2) виконаний отвір 5, який закривається кришкою 6. Крізь отвір 5 у зазначену ємкість заливається досліджуване середовище. У середині корпусу 1 розміщено контур збудження коливальних, що містить старений електромагніт 7 (електровібратор), і частотно-вибіркову ланку, яка містить два двох-консольних вала 8 з жорстко закріпленим на торці однієї з його консолей конусом 9. Конструктивно до вільного кінця одного вала 8 конус 9 є закріпленим за вершину, а на другому валу 8 конус 9 є закріпленим до консолі зазначеного вала 8 у своїй порожнині (див. фіг.7). Конуси 9 конструктивно розміщено так, що вони входять один у другий, при цьому конуси 9 виконано контактними між собою відповідно внутрішньою та зовнішньою поверхнями (див. фіг.1 та фіг.7), які конструктивно виконують полірованими. Електромагніти 7 розміщено попарно один до одного в блоках з зазором між собою, симетрично і попарно співвісно. Кожний з двох-консольних валів 8 виконано встановленим у отвір підшипника ковзання 3, при цьому вал 8 першої частотно-коливальної ланки розміщено по відношенню до вала 8 другої частотно-вибіркової ланки так, що їх осі співпадають. Вільний кінець кожного з валів 8 виконано таким, що входить у отвір електромагніта 10 блока керування 11. Електромагніт 10 блока керування 11 жорстко закріплений на торцевій стінці 12 корпусу 1, при цьому отвори в електромагнітах 10 і підшипниках ковзання 3 розміщено осесиметрично один до одного. У внутрішній порожнині отвору електромагніта 10 встановлено пружину 13, яка контактує одним своїм кінцем з елементами регулювання 14 жорсткості динамічної системи, які є розміщеними на торцевій стінці 12 корпусу 1, а другим кінцем - з торцевою частиною двохконсольного вала 8. На вільному кінці вала 8 жорстко і симетрично закріплені силопередавальні феромагнітні пластини 15, при цьому зазначені пластини 15 закріплені у площині осі вала 8. Пластини 15 виконано розташованими в одній площині, що проходить крізь вісь вала 8 (див. фіг.4). У пластини 15 упираються пружини 16, а на пластинках 15 закріплені постійні магніти 17 (N/S), при цьому пружини 16 упираються одним кінцем у пластини 15, а другим - у стінку корпусу 1, наприклад, у верхню (як варіант конструктивного виконання). Зазначені магніти 17 (N/S) розміщено в зазорі між індукційними датчиками 18 (див. фіг.2 та фіг.4). Електромагніти 10 блока керування 11 виконано зв'язаними з зазначеним блоком керування 11. Виходи індукційних датчиків 18 виконано сполученими з електромагнітами 7 послідовно через підсилювач збудження низької частоти 19 і фазоінвертор 20, а виходи джерела живлення 21 виконано сполученими з електромагнітами 10 блока керування 11 через зазначений блок керування 11, з входами частотоміра 22 і

реєстратора 23 контрольованих параметрів. На корпусі 1 встановлено вузол 24 настроювання динамічної системи частотно-вибіркової ланки, який регулює положення індукційних датчиків 18 відносно жорстко закріплених на феромагнітній пластині 15 постійних магнітів 17 (N/S). Частотно-вибіркова ланка зв'язана з контуром збудження коливальних через силопередавальні феромагнітні пластини 15. Вузол 24 настроювання динамічної системи частотно-вибіркової ланки (як варіант конструктивного виконання) містить регулювальний гвинт 25, який виконано механічно зв'язаним з пристосуванням 26. На зазначеному пристосуванні 26 жорстко закріплений індукційний датчик 18.

Коливальний віскозиметр працює наступним чином.

По-перше в ємкість (поз. 4) між перегородками 2 заливається досліджуване середовище (позиція 27). Для цього відкриваються кришка 6 отвору 5 на корпусі 1 і ємність 4 заповнюється на величину, щоб конуси 9 були зануреними у досліджуване середовище 27 повністю. Після наповнення ємності 4 досліджуванним середовищем 27 отвір 5 герметично закривається кришкою 6. При підключенні джерела живлення 21 до блока керування 11 пристрій (коливальний віскозиметр) готовий до першого етапу роботи.

Перший етап роботи починається тим, що з блока керування 11 подається сигнал (електричний струм) на електромагніти 10. Спрацьовують електромагніти 10, які починають виробляти електромагнітне поле. Під дією зазначеного електромагнітного поля вал 8 (кожної з частотно-коливальної ланки) буде втягуватися всередину порожнини (позиція 28, див. фіг.1) електромагніта 10, стискаючи пружину 13. Конуси 9 кожної частотно-вибіркової ланки відходять один від одного, при цьому простір між ними заповнюється досліджуванним середовищем 27. У такому стані конуси 9 витримуються протягом не менше 10...20 секунд (для заповнення простору між конусами 9 досліджуванним середовищем 27). Після зазначеного часу з блока керування 11 на електромагніти 10 подається інший сигнал, при якому котушки електромагнітів 10 обезструмляються. Під дією сил розтискання пружин 13 вали 8 почнуть переміщуватися назустріч один до одного (переміщуючись в підшипниках ковзання 3, які закріплені на перегородках 2 корпусу 1, до контактування поверхнями конусів 9 між собою (відповідно зовнішньою та внутрішньою). При цьому в зазорі між конусами 9 буде знаходитися досліджуване середовище 27.

При вимиканні джерела живлення 21 від блока керування 11 та підключенні джерела живлення 21 до підсилювача збудження низької частоти 19 і частотоміра 22, пристрій (коливальний віскозиметр) готовий до другого етапу роботи - безпосереднього вимірювання в'язкості  $V$  досліджуваного середовища 27.

При цьому в індукційному датчику 18, який знаходиться в магнітному полі (N/S) постійного магніту 17, відпрацьовується сигнал у вигляді електрорушійної сили (е. р. с.) Індукції. При цьому індукційні датчики 18 і постійні магніти 17 встановлені так, що е. р. с. відпрацьовується тільки в одному з датчиків 18 кожного з контурів збудження

коливань. Сигнал з цього датчика 18 (кожного контуру збудження коливань) подається на підсилювач збудження 19, де робиться його підсилювання, і далі, через фазоінвертор 20, на діагонально-протилежні магніти 7 (див. фіг.5) блоків електровібраторів. Електромагніти 7 (до яких підведений підсилений сигнал) починають діяти на силопередавальну феромагнітну пластину 15 парю сил  $F$  відносно осі оберту вала 8. При цьому вал 8 буде провертатися у підшипниках ковзання 3 у напрямку моменту  $M$ , створеного парю сил  $F$  від електромагнітів 7 (див. фіг.5). При цьому моменти  $M$  у перший півперіод коливань вала 8 з конусом 9 будуть направлені в протилежні боки. Діагональне протилежні (відносно працюючих електромагнітів 7) пружини 15 (див. фіг.4) почнуть стискуватися, накопичуючи енергію. При досягненні положення рівноваги, при якому сила  $F$  від електромагнітів 7 буде дорівнювати силі зтягнення пружини 16, сигнал на працюючому індукційному датчику 18 буде дорівнювати "нулю", а тому і "нулю" на електромагнітах 7. Не отримуючи протидії з боку електромагнітів 7 (здійнях у перший півперіод період коливань - див. фіг.5), пружини 13 почнуть розжиматися, намагаючись вернутися у положення рівноваги. Вал 8 з конусом 9 почне провертатися у зворотній бік. У другий період коливань до роботи вступає другий індукційний датчик 18 (конструктивно розташований симетрично відносно осі валу 8 другий індукційний датчик 18 показаний на фіг.3 та фіг.4), сигнал з якого, після підсилення у підсилювачі збудження 19, буде надходити на два інших діагонально протилежних електромагніта 7 (електровібратора), які впливають парю сил  $F$  (другого знаку) на силопередавальну феромагнітну пластину 15, при цьому вони будуть надавати їй безкоштовне додатковий рух у зворотній бік від першого півперіоду коливань (з моментом  $M$  іншого, відносно першого півперіоду коливань, знака) (див. фіг.6).

Таким чином, виникають механічні коливання системи "вал 8 - конус 9 - пружини 13", що не затухають, і синфазні з ними електричні коливання в системі "датчик 18 - підсилювач збудження 19 - електромагніти 7", частота яких в точності дорівнює частоті власних коливань системи "вал 8 з конусом 9 - досліджуване середовище 27". Вимірювання частоти  $f$  власних коливань вала 8 з конусом 9 здійснюється за допомогою електронно-рахувального частотоміра 22. Для автоматичного визначення величини фактичної в'язкості  $v$  досліджуваного середовища 27 сигнал з електронно-рахувального частотоміра 22 подається на вхід реєстратора 23 контрольованих параметрів, який переводить електричні величини у розмірність в'язкості.

Фізична суть процесу визначення в'язкості досліджуваного середовища полягає в наступному.

Залежно від в'язкості  $v$  досліджуваного середовища 27, тертя між конусами 9 кожної частотно-вибіркової ланки, які є зануреними у досліджуване середовище 27 і зазначеним середовищем 27 (що заходиться між зазначеними конусами 9), буде різним. Наскільки середовище 27 буде близьким до рідкого становища, настільки сила тертя між конусами 9 буде менше, а частота  $f$  власних кру-

тильних коливань більше. І навпаки, у середовищі 27 більшої щільності, сили щеплення середовища 27 і конусів 9 між собою можуть бути настільки значними, що при певній (початковій) жорсткості динамічної системи, зусиль від електромагнітів 7 не вистачить, щоб їх подолати. В цьому випадку, за допомогою регульовального гвинта 25 вузла 24 настроювання динамічної системи, індукційний датчик 18, жорстко закріплений на пристосуванні 26, переміщується у бік постійного магніту 17. Зменшення зазору між індукційним датчиком 18 і постійним магнітом 17 приводить до того, що збільшується величина сигналу, що виробляється індукційним датчиком 18, у вигляді е. р. с. індукції, і, як наслідок, збільшується потужність сигналу, який надходить від підсилювача збудження 19 на електромагніти 7. Водночас, шляхом стиснення за допомогою елементів 14 пружин 13 електромагнітів 10, добиваються деякого збільшення частоти обертання вала 8, і, як наслідок, зменшення амплітуди коливань (кута повороту  $\alpha$  - див. фіг.5 і фіг.6) зазначеного вала 8. Зменшення кута повороту  $\alpha$  вала 8 з конусом 9 буде сприяти зменшенню сили тертя між середовищем 27 і конусом 9 та підвищить чутливість частотно-вибіркової ланки.

При виконанні контрольного заміру параметрів в'язкості досліджуваного середовища 27, у якості якого може бути, наприклад, фарба, нафта, бензин, керосин, спирт та інші речовини, заміряють частоту  $f$  авторезонансних (власних) коливань частотно-вибіркової ланки. Тертя між собою конусів 9 та досліджуваного матеріалу 27 призведе до виникнення дисипативних сил тертя і, як наслідок, до зменшення частоти  $f$  авторезонансних коливань системи "вал 8 з конусом 9 - досліджуване середовище 27". Знаючи виміряні раніше еталонні частоти коливань  $f$  частотно-вибіркової ланки в ємності 4 з досліджуванним матеріалом 27, параметри якого перевірені іншими методами контролю, наприклад, що надані в [3]), і порівнюючи їх з показниками частотоміра 22 при контрольному вимірюванні, отримують за номограмою залежності частоти  $f$  власних (авторезонансних) коливань системи "вал з конусом-досліджуваний матеріал" від в'язкості  $v$  досліджуваного матеріалу 27 та температури  $t$  оточуючого середовища, величину в'язкості  $v$  дослідного середовища 27 (див. номограму на фіг.9). Наприклад, при контрольному вимірюванні в'язкості  $v$  досліджуваного середовища 27 (матеріалу) була отримана частота  $f_1$  власних авторезонансних коливань. Згідно з номограмою, на осі  $f$  знаходять величину  $f_1$ , проводять перпендикуляр до графіків  $t$  (на фіг.9 - зазначено  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  та  $t_4$ ), відповідно до температури  $t_2$  (як приклад), переходять паралельно базової осі до графіка зміни в'язкості  $v$ , і опускаючи перпендикуляр з точки перетину графіка зміни в'язкості  $v$  на вісь  $v$ , отримують величину фактичної в'язкості  $v_1$  досліджуваного матеріалу (поз. 27).

Використання в якості показника в'язкості досліджуваної речовини частоти власних (авторезонансних) коливань зонда (який виконано у вигляді вала з диском), дозволить підвищити точність у визначенні в'язкості досліджуваного середовища, розширить функціональні можливості пристрою шляхом вимірювання в'язкості не тільки рідких

середовищ, але й середовищ, які мають велику в'язкість та щільність. Використання пристрою, який заявляється, можливе не тільки у виробничих умовах, але й у польових. Коливальний віскозиметр, що заявляється, може бути розташований в конструкції баків для зберігання різноманітних речовин, наприклад, фарби, бензину, нафти, а також в баках для пального літальних апаратів, в ємкостях для зберігання пального на автозаправних станціях, в ємкостях для перевезення молока та інше. Контроль за вимірюванням фізико-хімічних властивостей вищезазначених речовин, в цьому випадку, може вестись дистанційно.

Підвищення ефективності застосування коливального віскозиметра, що заявляється, у порівнянні з прототипом досягається за рахунок підвищення точності визначення частоти коливань рухомого вала з закріпленням на ньому датчиком в'язкості (конусом), який є зануреним у досліджуване середовище (речовину), а саме, за рахунок використання авторезонансних режимів коливань

динамічної системи, що найбільш точно відображають зміну впливу на згадану динамічну систему характеристик досліджуваного середовища. Використовується коливальна система самоналаджувального типу, динамічні характеристики якої залежать тільки від жорсткості вмонтованих пружних елементів (пружин) і від реологічних характеристик досліджуваного середовища, зокрема, від в'язкості.

Література:

1. А.с. СРСР № 717625, 1980р., МІЖ G 01 N 11/16-аналог.
2. А.с. СРСР № 238875, 1966 р., МІЖ G 01 N 11/16 -аналог.
3. А.с. СРСР № 789704, 1980р., МІЖ G 01 N 11/16-прототип.
4. Н. Й. Орел, Э. В. Губачек, Б. Й. Березин, В. М. Водолазская «Справочник технолога-полиграфиста», часть 5, Печатные краски, М., «Книга», 1988г., стр. 188-202, § 4.3 «Реологические свойства красок для издательских целей».

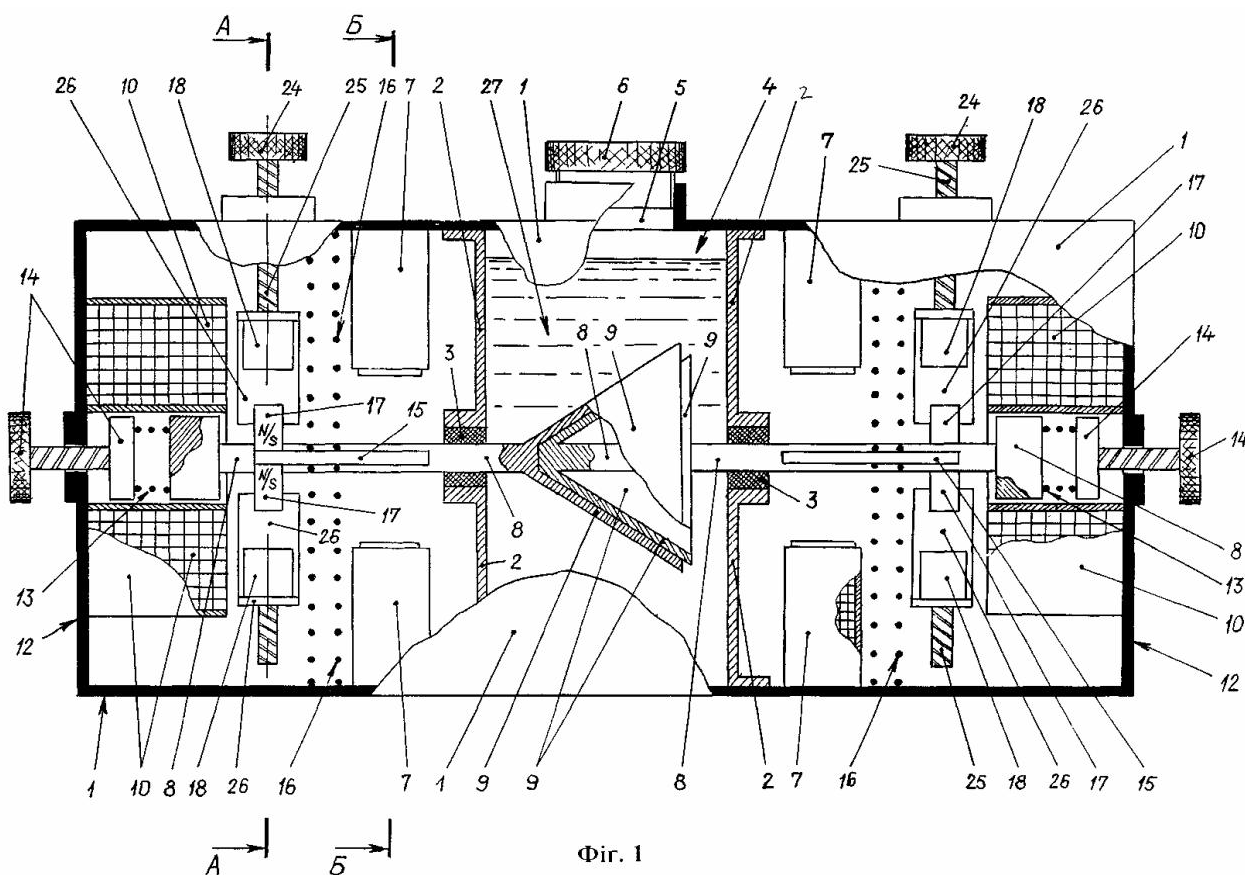
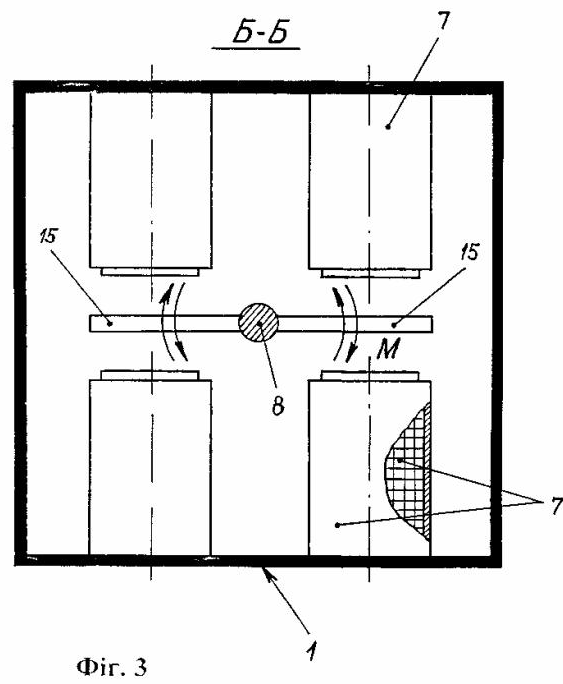
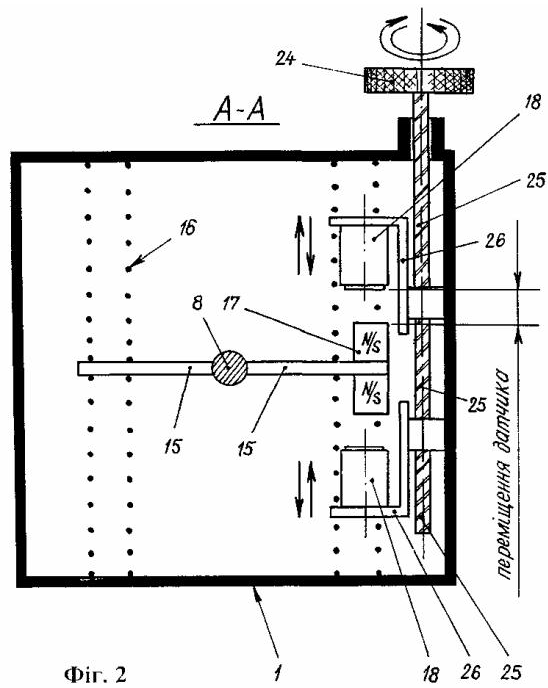
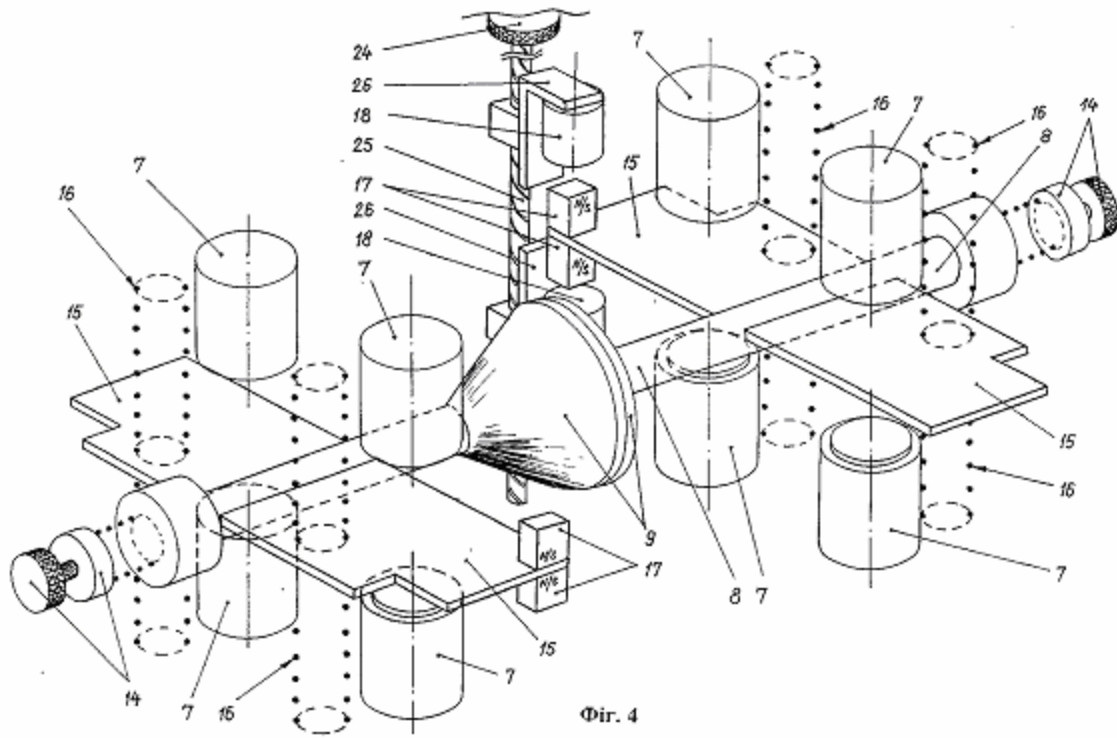
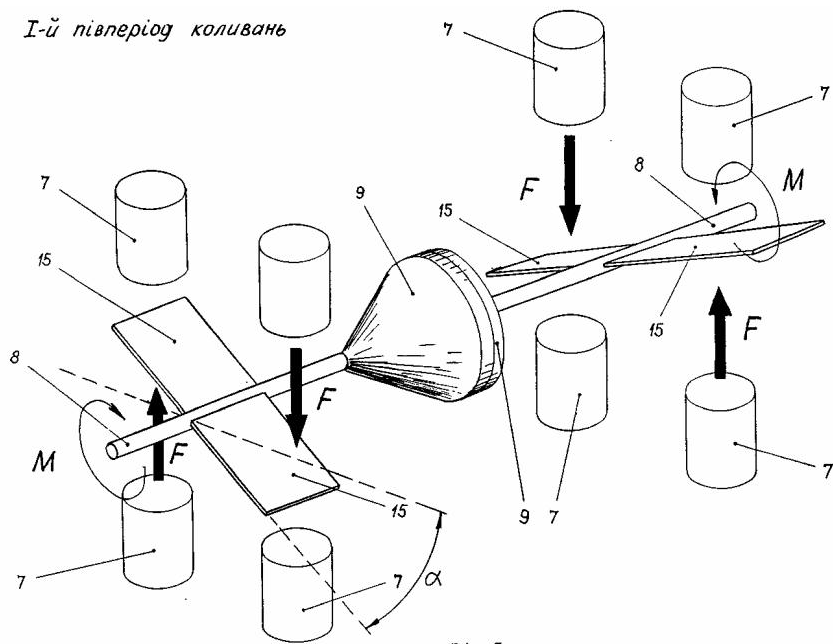


Fig. 1





I-й півперіод коливань



II-й півперіод коливань

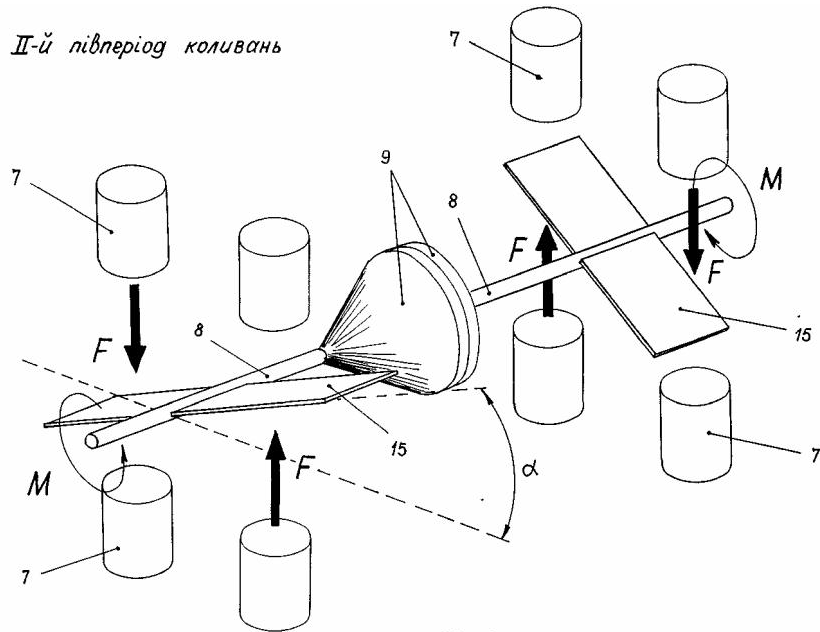


Fig. 6

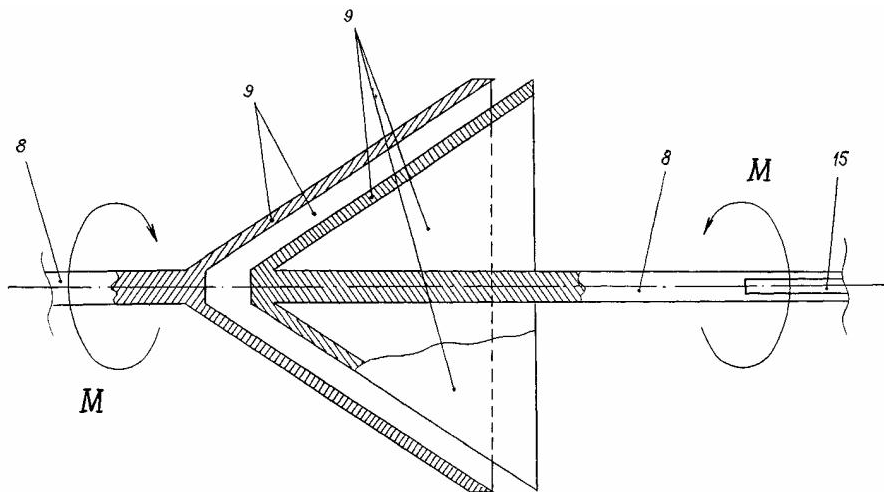
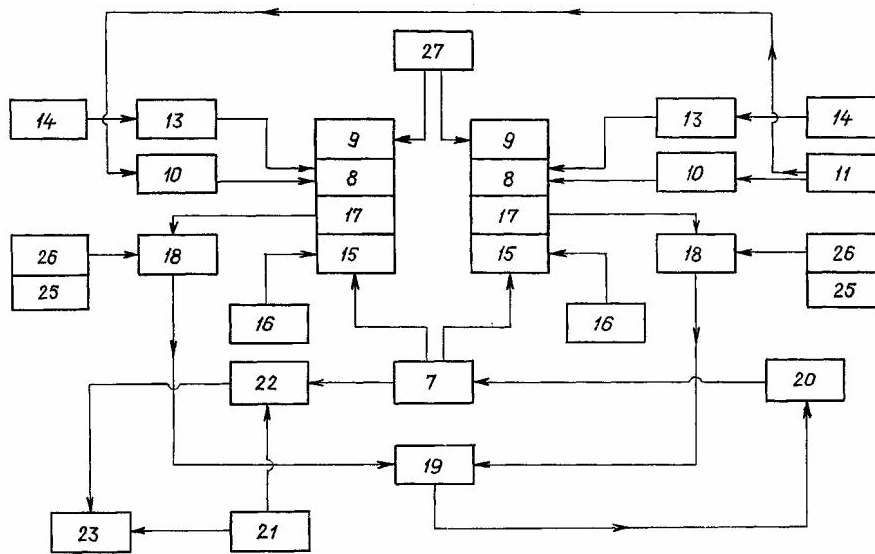
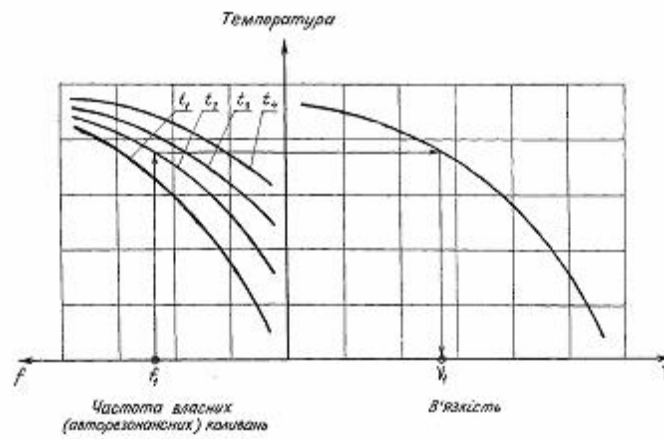


Fig. 7





Фиг. 8



Фиг. 9