

М.А. Колодій, асист.  
Житомирський державний технологічний університет

## ВИСОКОШВИДКІСНИЙ СТРУМОЗНІМАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ

(Представлено д.т.н., проф. Мельничуком П.П.)

*Аналізуються особливості конструкції та дії високошвидкісних рідиннометалічних струмознімальних пристроїв, що використовуються в складі вимірювальних інформаційних систем розгінних стендів для дослідження міцності обертових маховиків та інших деталей машин. Запропонована нова конструкція ртутного біротативного високошвидкісного струмознімального пристрою, обладнаного системою демеркурізації охолоджувального повітря.*

**Постановка проблеми.** При дослідженні міцності обертових високошвидкісних деталей машин та складальних одиниць для передачі сигналів від рухомих тензодатчиків та термопар, змонтованих на елементах конструкцій досліджуваних обертових роторів, до нерухомих перетворювачів сигналів і приладів комп'ютерних та інших вимірювальних систем найбільш широко застосовуються струмознімачі з рідиннометалічними контактними елементами. Зважаючи на те, що за останні роки КБ та виробничі підприємства авіаційної промисловості створили авіаційні двигуни, дослідження міцності елементів конструкції роторів котрих на стендах вимагають струмознімачів з робочими швидкостями 6000 ... 7000 1/с, з'явилась потреба вивчення можливостей підвищення робочих параметрів струмознімачів вимірювальних систем. Те ж саме можна сказати і про потреби досліджень міцності роторів інерційних накопичувачів енергії – супермаховиків, руйнівні швидкості моделей котрих ще в середині 80-х років минулого століття досягали значень до 7000 1/с.

**Аналіз джерел дослідження.** Серед великої кількості вимірювальних струмознімачів, що знаходяться в експлуатації в дослідних лабораторіях наукових організацій та виробничих підприємств, слід виділити конструктивну групу високошвидкісних рідиннометалічних струмознімачів, робочою рідиною котрих є ртуть [наприклад, 1–5]. Всі вони мають відносно малі радіальні розміри блоків контактних кілець роторів, що забезпечує можливість отримання високих кутових швидкостей при низьких значеннях колових швидкостей ковзання робочих поверхонь в рідинному контакті.

Робочі поверхні рухомих та нерухомих контактних кілець розміщуються в камерах [6] для рідиннометалічних контактних провідників, функції яких можуть виконувати і ртуть, і інші метали та сплави в рідкому стані [7], [8].

Більшість камерних струмознімачів мають ланкову або блочну будову з одним і тим же принципом організації руху робочої рідини в зазорах між контактними поверхнями нерухомої камери та роторного контактного елемента.

На основі аналізу особливостей руху робочої рідини в камерах можна зробити висновок, що в представленому розробниками стані конструкцій струмознімачів їх можливості щодо підвищення робочих швидкостей обмежені.

**Мета досліджень.** Метою роботи є поглиблене вивчення особливостей конструкцій використовуваних струмознімачів та властивостей робочих рідин з метою виявлення можливостей їх використання для забезпечення підвищення граничних робочих швидкостей, розроблення принципів побудови нових та удосконалення існуючих конструкцій струмознімачів.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Рідкий метал протягом багатьох років є робочою рідиною швидкісних струмознімачів. Вивчення особливостей роботи струмознімачів та властивостей використовуваних робочих рідин дає змогу погодити наявні властивості рідин і прийнятні конструктивні виконання струмознімачів.

Перспективні робочі рідини, які відібрала інженерна практика для використання в струмознімачах, – це ртуть, легкоплавкі метали та сплави на їх основі.

Ртуть знаходиться в рідкому стані при температурах, вищих – 38,8 °С, але придатною для використання в струмознімачах її можна вважати тільки при температурах, вищих – 20 °С, що в деяких випадках вимагає нагрівання струмознімача і значного ускладнення конструкції при створенні системи нагрівання.

Широке використання ртуті як робочої рідини струмознімачів не узгоджується з тим фактом, що у виробництвах, зв'язаних з її застосуванням, може відбуватися хронічне отруєння організму людини, тому що препарати ртуті добре усмоктуються всіма поверхнями тіла. Максимально допустимий вміст ртуті в повітрі промислових підприємств складає 0,00001 мг/л (або 0,01 мг/м<sup>3</sup>).

Через досить високий тиск насиченої пари ртуті (близько 240 Па при 20 °С) небезпека хронічного отруєння працівників можлива у всіх приміщеннях, де ртуть постійно знаходиться в контакт з повітрям навколишнього середовища. При нагріванні ртуті на робочих режимах струмознімачів до 80 °С та 100 °С тиск насиченої пари зростає до 12 000 Па та 37200 Па відповідно, що примушує застосовувати охолодження конструкцій.

Випаровування нагрітої ртуті завжди призводить до появи її конденсату на холодних поверхнях обладнання, а при підвищенні температури в приміщенні і нагріванні обладнання – до повторного випаровування і підтримування стану забрудненого повітря.

Як рідинне робоче середовище струмознімача можна використати й інші метали і сплави в рідкому стані, для отримання котрого в більшості випадків необхідне нагрівання конструкцій [наприклад, 7, 8].

Близьким до ртуті за фізичними властивостями є галій, який має температуру плавлення 30 °С, кращу електро- і теплопровідність, але за отруєністю переважає ртуть і навіть арсен.

До складу найбільш легкоплавких сплавів входять, як правило, Bi, Pb, Sn і Cd з перевагою вісмуту. Температури їхнього плавлення залежать від складу. Так, сплав 41 % Bi з 18,1 % In, 22,1 % Pb, 10,6 % Sn і 8,2 % Cd має температуру плавлення 47 °С; сплав 50 % Bi з 25 % Pb, 12,5 % Sn і 12,5 % Cd (сплав Вуда) має температуру плавлення 60,5 °С; сплав 50 % Bi з 27 % Pb, 13 % Sn і 10 % Cd – 70 °С, і т.д. Іноді застосовуються і легкоплавкі сплави без кадмію або з заміною його ртуттю. Так, сплав 14 % Bi з 7 % Pb, 7 % Sn і 72 % Hg плавиться при 45 °С, сплав 50 % Bi з 30 % Pb і 20 % Sn – при 92 °С, а сплав 57 % Pb з 29 % Bi і 14 % Hg легко плавиться навіть за рахунок тепла, яке виділяється при терті.

Хоча оснащення струмознімачів спеціальними нагрівальними пристроями для зрідження робочого сплаву викликає їх ускладнення, були виготовлені і впроваджені конструкції з використанням сплаву Ga – In – Sn і навіть чистого Ga [7] та сплаву Вуда [8]. Масив сплаву Ga – In – Sn вимагає запобігання від контактної взаємодії з киснем повітря створенням спеціальної ущільнювальної системи, інакше завдяки особливим властивостям галію по відношенню до кисню частина сплаву диспергується і для її видалення необхідно додатково створювати надійну систему фільтрації рідкого сплаву. Це суттєво ускладнює конструкцію струмознімача, і використання галію рідко буває доцільним.

Стосовно інших рідких металів, користувач і розробник струмознімачів повинні зробити вибір між варіантами ускладнення конструкцій, пов'язаними з необхідністю розробки та експлуатації систем теплового зрідження робочого металу та, при використанні рідкої ртуті, необхідністю розробки систем охолодження і дотримання жорстких правил техніки безпеки.

На основі вивчення властивостей рідких металів, результатів установчих експериментів зі зрідженими сплавами Вуда, зі сплавами металів Pb – Sn – Sb, зі свинцем, які виконувались при розробці гальмінового стенду для дослідження міцності маховиків [9], нами зроблений висновок про доцільність розробки та експлуатації вимірювальних систем струмознімачів переважно з використанням ртуті. Збитки, які мають місце при створенні систем нагрівання конструктивних елементів струмознімачів для зрідження металів і сплавів та їх експлуатації, виявились відчутно більшими, ніж збитки, які мають місце при створенні та експлуатації систем охолодження конструктивних елементів струмознімачів для підтримування теплового стану ртуті та запропонованого нами використання системи демеркуризації повітря, яке поступає з системи нагрівання (охолодження) і насичене парою ртуті.

Якщо прогнозується руйнування енергомісткого об'єкта дослідження та елементів конструкції випробувального стенду, в тому числі – ртутного струмознімача, і поява викидів ртуті в стендове приміщення, то, очевидно, використання рідкого сплаву без вмісту ртуті буде виправданим навіть при великих збитках.

Вивчення окремих конструктивних рішень розповсюджених ртутних струмознімачів пристроїв дає підстави стверджувати, що іноді можливо їх модернізувати і забезпечити підвищення робочих швидкостей пристроїв.

Протягом тривалого часу в складі інформаційних вимірювальних систем застосовуються різні модифікації ртутних струмознімачів ланкового типу [6].

Кожна з ланок такого струмознімача (рис. 1, на якому представлена спрощена конструкція ланки) складається зі статора і ротора. Статор – циліндричний корпус 1 з амальгамованою внутрішньою циліндричною контактною поверхнею, що разом з кришками 2 і 3 утворюють робочу камеру ланки. В отвори в кришках вмонтовані підшипники 4 вала ротора 5 з сальниками 6. Ротор – сталевий вал 5 з амальгамованим контактним кільцем 7. Обертається ротор півмуфтою 8, а ротор наступної ланки – півмуфтою 9. Одна з півмуфт провідником 10 з'єднана із розподільною голівкою ротора струмознімача, а корпус 1 провідником 11 з'єднаний з нерухомим приладом вимірювальної системи. Якщо рідким шаром ртуті сполучити амальгамовані поверхні корпусу ланки 1 і кільця 7, то створюється електрична лінія з рухомим рідиннометалічним контактом. Набір таких ланок в ізолюваному циліндричному корпусі 12 утворює багатоланковий струмознімач, який, в залежності від модифікації, здатний задовільно працювати при кутових швидкостях до 3000–4000 1/с з часовим

ресурсом від кількох годин до декількох десятків годин.

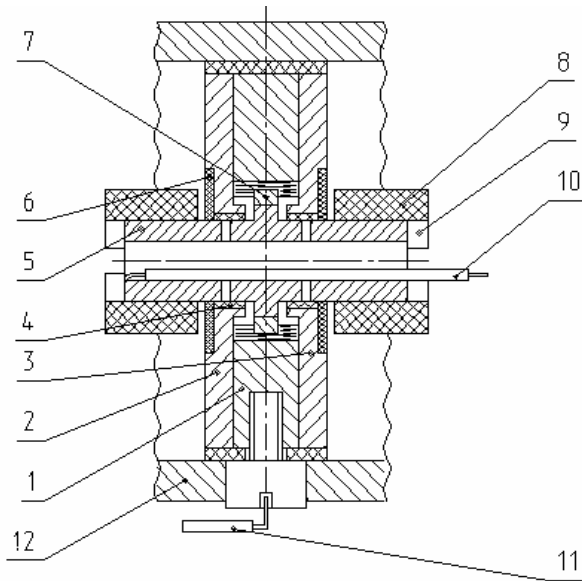


Рис. 1

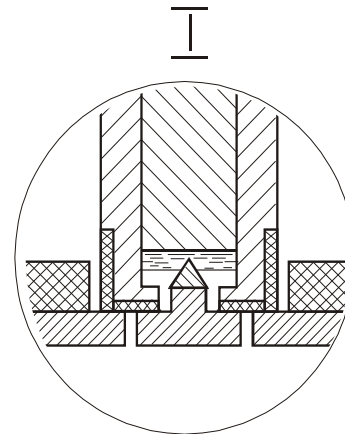


Рис. 2

Нами досліджено, що при високих швидкостях ротори окремих ланок втрачають стійкість обертального руху, збуджуються їх коливання, масив контактної ртуті в камері коливними поверхнями кільця 7 руйнується і підшипники 4 та фетрові сальники 6 пропускають частинки ртуті діаметрами в кілька десятих долей міліметра у порожнини між ланками, при цьому поступово збіднюється запас ртуті у ланці і втрачається здатність ланки передавати електричний сигнал.

Моделлю рухомого роторного контактної кільця 7 в масиві контактної рідини є плоский диск, що обертається при частковому зануренні в масив рідини.

Точки робочих поверхонь контактних елементів – дисків кільця ланкових струмознімачів при граничній кутовій швидкості 4200 1/с і значенні зовнішнього радіуса 0,0045 м мають колові швидкості  $v_0 \approx 19$  м/с. Критерій О.Рейнольдса при робочій температурі контактної рідини – ртуті і диска – контактної кільця

$$Re = \frac{R_0^2 \omega_0}{\nu} \quad (1)$$

досягає значень  $Re \approx 8 \cdot 10^5$  при його критичному значенні  $Re_{кр} \approx 3 \cdot 10^5$ . Очевидна наявність турбулентного режиму руху робочої рідини відносно поверхні диска.

Товщина прилежого шару на поверхні кільця при турбулентному режимі руху

$$\delta \approx 0,525 R_0 \left( \frac{\nu}{R_0 \omega_0} \right)^{0,2}, \quad (2)$$

де  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості контактної рідини,  $\nu = \eta/\rho$ ;

$\eta$  – коефіцієнт динамічної в'язкості;

$\rho$  – густина контактної рідини;

$\omega_0$  – кутова швидкість диска;

$R_0$  – зовнішній радіус диска.

У випадку, коли робочою рідиною є ртуть з  $\nu \approx 1 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с, прилежовий шар має товщину  $\delta \approx 1,6 \cdot 10^{-4}$  м.

При такому значенні  $\delta$  і бокових зазорах між поверхнями камери і диска контактної кільця  $s = 1 \cdot 10^{-3}$  м контакт прилежових шарів відсутній і до обертання буде приведений обмежений заряд робочої рідини, що свідчить про зменшення моменту опору в порівнянні з випадком обертання диска в необмеженому рідинному просторі.

Прандтль вважає [10], що при  $s > \delta$  в прилежових шарах на обох поверхнях диска рідина рухається до периферії, а на відповідних поверхнях камери – від периферії до центра.

Це явище є наслідком того, що рідина в прилежовому шарі на поверхні диска має кутову швидкість  $\omega_{шд}$ , близьку до кутової швидкості диска  $\omega_0$ , а рідина в прилежовому шарі на поверхні камери має кутову швидкість  $\omega_{шк}$ , близьку до кутової швидкості бокових стінок камери  $\omega_k$ . За цією причиною відцентрові

сили, що діють на частинки рідини, будуть завжди найбільшими в шарах на поверхнях дисків і завжди забезпечуватимуть відцентровий рух рідини. Гідростатичний тиск  $p_{шд}$ , що генерується в периферійній зоні площини примежових шарів диска, передається по всій периферійній частині об'єму робочої контактної рідини. Внаслідок того, що гідростатичний тиск  $p_{шк}$ , який генерується в периферійних зонах площин примежових шарів стінок камери, менший дискового тиску  $p_{шд}$ , перепади тисків  $\Delta p_{ш} = p_{шд} - p_{шк}$  викликають появу в масиві робочої рідини камери ланки струмознімача двох вихрових кілець, які розташовані коаксіально з камерою. Вихрові потоки рідини можна представити сумою складових потоків: двох уже вказаних потоків у площині примежових шарів на поверхнях дисків, двох периферійних осьових циліндричних потоків від площини симетрії камери до її бокових стінок, двох потоків у площинах примежових шарів на поверхнях бокових стінок камери з напрямком руху рідини від периферії до центра ланки, двох осьових зустрічних циліндричних порожнистих за формою потоків рідини від бокових стінок камери до площини її симетрії. Очевидно, що витрати рідини в цих потоках будуть визначати температурні режими ланок ущільнення, але геометричні параметри цих потоків невизначені, тому оптимальні їх величини доцільно визначати експериментально при доводці виробів.

Момент сил опору при обертанні диска контактної кільця в масиві ртуті, який обмежений вузькою камерою ланки

$$M_m = C_m^{1V} \rho \omega^2 R_\partial^5, \quad (3)$$

де  $C_m^{1V}$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, який визначається залежністю

$$C_m^{1V} = \left( \frac{l}{R_\partial} \right)^{0,1} Re^{-0,2} C_x, \quad (4)$$

де  $R_\partial$  – зовнішній діаметр диска роторного контактної кільця;

$C_x$  – допоміжний коефіцієнт, який залежить від параметрів змоченої (контактної) поверхні роторного кільця:

$$C_x = 0,006 + 0,168X - 0,241X^2 + 0,106X^3, \quad (5)$$

а величина відносного зазору  $X$  визначається з виразу:

$$X = 1 - \frac{R_{np}}{R_\partial}, \quad (6)$$

де  $R_{np}$  – радіус внутрішньої вільної циліндричної поверхні робочої рідини.

Потужність, що вводиться в робочу рідину камери ланки при обертанні диска контактної кільця ротора, який частково занурений в рідину периферійною частиною [11],

$$P = C_m^{1V} \rho \omega^3 R_\partial^5,$$

і при кутовій швидкості ротора 4200 1/с досягає значення  $\approx 2$  Вт. Необхідність охолодження контактної камери є очевидною. Очевидною є і необхідність збільшення заряду ртуті в камері, тому що при такому рівні енергії, що підводиться в камеру, буде мати місце локальне перегрівання та інтенсивне випаровування ртуті.

Вивчення руху рідин в гідромеханічних системах, аналогічних системі ланки струмознімача [12], показує, що при сходженні пристіночного потоку рідини з диску за прямокутними кромками контактної кільця мають місце розриви профілів швидкостей частинок рідини. Це значить, що на вихідних кромках кільця мають місце втрати енергії потоку, які вносять свій вклад в нагрівання масиву рідини. Тому рекомендовано: профіль контактної кільця 7 виконувати загостреним (рис 2), а оптимальне значення кута загострення визначити експериментально; збільшити зазор між поверхнями кільця 7 та циліндричною поверхнею корпусу 1 та збільшити масив заряду ртуті в ланці, а це забезпечить збільшення товщини шару ртуті між кільцем 7 і циліндричною поверхнею кільця та зменшення нагрівання масиву ртуті в робочому об'ємі ланки та її випаровування; крім цього, при збільшенні об'єму масиву ртуті збільшується поверхня контакту ртуті з поверхнями корпусу та кришок ланки і, відповідно, – тепловіддача від ртуті, вирівнювання температури деталей ланки.

Конструкцією із зменшеними радіальними розмірами ротора є струмознімач блочного типу [6]. Блоки статорних контактних та ізоляційних кілець з наскрізним отвором постійного діаметра впресовані в трубчастий корпус, а блоки роторних контактних та ізоляційних кілець з наскрізним отвором постійного діаметра напесовані на трубчастий вал, при цьому забезпечена відповідна комутація контактних кілець статора і ротора по електричних каналах рухомих та нерухомих частин вимірювальної лінії. Недоліком цього

знімача також є втрата стійкості руху ротора на великих швидкостях із-за наявності залишкового згину вала, його невривноваженості; вплив вказаних факторів відчувається при значеннях величини згину і зміщення центрів ваги перерізів навіть в кілька мікрометрів; при втраті стійкості руху ротор займає ексцентричне положення в центральному каналі, при цьому під дією відцентрових сил з'являється рух контактної ртуті в збоченому зазорі між ротором та статором, ковзання притиснутої поверхні ротора по поверхні статора та їх нагрівання, нагрівання ртуті, витіснення її з однієї плівкової камери в сусідню, втрати контактів та замикання електричних ланцюгів окремих вимірювальних каналів, втрата працездатності струмознімача. Резерви для підвищення робочих швидкостей в розглядуваній конструкції нами не знайдені.

Відомий струмознімач, який виконаний у вигляді підшипника кочення, що має у своєму складі зовнішнє та внутрішнє кільця з амальгамованими біговими доріжками для кульок, амальгамовані кульки та сепаратор, виконаний з пористого матеріалу і просочений ртуттю. З торців підшипник закривається ущільнювальними шайбами [13]. При роботі струмознімача сигнал передається кульками через амальгамовані контактні поверхні від обертального внутрішнього кільця до нерухомого зовнішнього кільця або навпаки. Сепаратор здійснює підживлення або відновлення шару амальгами на тілах кочення ртуттю, яка витіснена відцентровими силами, або при її розширенні в порах за рахунок розігріву підшипника при роботі струмознімача на великих швидкостях. При цьому ртуть забезпечує отримання малого перехідного електричного опору на контактних поверхнях і змащення поверхонь ковзання та кочення. Ущільнювальні шайби протидіють витоку ртуті з корпусу підшипника. Недоліками описаного струмознімача є низька гранична частота обертання ротора внаслідок недостатньої міцності пористого сепаратора, велика площа нагрітих амальгамованих поверхонь деталей підшипника викликає більш інтенсивне випаровування ртуті та попадання більшої кількості пари в навколишнє повітря лабораторного приміщення та її конденсація в приміщенні.

Відпрацьована ідея створення двоступеневих (а при необхідності – і тріступеневих) струмознімачів (рис. 3), в конструкціях яких знімач першого ступеня має нерухомий корпус 8, а його ротор 9 зв'язаний з рухомим корпусом знімача другого ступеня 4, що примусово обертається спеціальним приводом 7 в напрямі обертання ротора досліджуваної машини 1 і ротора знімача другого ступеня 5; для ланкового знімача цим зменшується швидкість ковзання контактної поверхні кільця 7 і поверхні масиву ртуті (рис. 1 та рис. 2); основна перевага такої конструктивної схеми – в знаходженні ланки в полі відцентрових сил, в якому обертається масив заряду ртуті в ланці; це забезпечує створення певного гідростатичного тиску в масиві, який діє і на поверхні контакту, а це, особливо при великих градієнтах швидкості, забезпечує зменшення та стабілізацію величини перехідного опору контактної поверхні, підвищує точність вимірювання величини сигналу, який передається.

Складнощі при розробці та виготовленні таких конструкцій зростають відчутно, але зменшення швидкості ковзання в контактах, створення додаткового тиску робочої рідини на контактних поверхнях, зменшення розкидання частинок робочої рідини в полі відцентрових сил забезпечує реальну можливість підвищення робочої швидкості струмознімачів на величину, близьку до швидкості примусового обертання корпусу знімача другого ступеня.

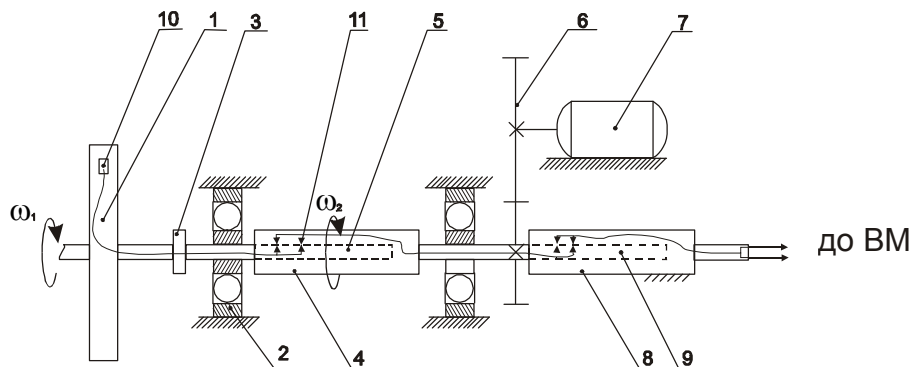


Рис. 3

В полі відцентрових сил досліджувались і ланки з амальгамованими підшипниками кочення [2], які також покращили параметри стабільності проходження сигналу через канал при швидкостях, які на  $\approx 30\%$  перевищили робочі швидкості роторів у нерухомих корпусах знімачів.

Дослідження працездатності ланок струмознімачів показали, що при наявності збільшених зазорів між поверхнями валів і підшипників ротора ланок (наприклад, при зношенні підшипників ковзання) на певних режимах втрачається стійкість руху окремих валів, з'являються коливні рухи, вібрації, при цьому прискорюється зношення робочих поверхонь підшипників, з'являються викиди ртуті і окремі ланки втрачають працездатність; після установки двох роторних кілець на один вал, що призводить до збільшення опорної бази вала в підшипниках, стійкість його обертання втрачалась при швидкостях, що часто виходять за межі

номінальних; при такому ж допрацюванні досліджувалась також стійкість ланок струмознімачів з підшипниками кочення, при виконанні яких отримані аналогічні результати.

Огляд результатів аналізу виконаних робіт дозволив обґрунтувати ідею створення нової конструкції високошвидкісного струмознімача на основі струминної моделі організації рідинного контакту, принцип дії якої пояснює рис. 4.

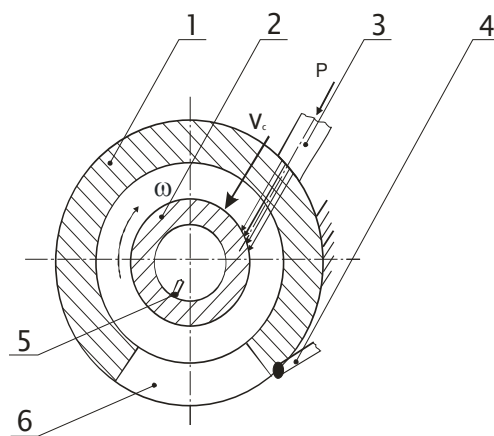


Рис. 4

Нова конструкція знімача має ланкову будову. На порожнистий вал напресовані амальговані контактні кільця 2 та кільця, які ізолюють контактні кільця від сусідніх контактних кілець та вала. В корпус знімача впресовані статорні амальгамовані контактні та ізоляційні кільця. В кожному контактному кільці виконаний отвір для підведення робочого рідиннопровідникового (наприклад, металічного) середовища через насадок 3. Контактні кільця провідниками 4 та 5 з'єднані з вимірювальними приладами та датчиком відповідно. Контактна рідина підводиться від електрично ізолюваної ємності під дією надлишкового тиску в ємності або за рахунок тиску рідини в каналі, що виникає в полі сил тяжіння. При дослідженні першого експериментального одноланкового зразка отриманий стійкий контакт в ланці при швидкості обертання ротора  $\approx 1800$  1/с.

**Висновки.** На основі виконаного аналізу особливостей роботи рідинних струмознімачів різних типів запропоновані нові конструктивні схеми біроторативних струмознімачів, які забезпечують створення в полі відцентрових сил гідростатичного тиску робочої рідини на контактні поверхні для стабілізації перехідного опору в рідинному контакті, підвищення стійкості руху роторів ланок до більш високого рівня швидкості, відцентрові сили зменшують розкидання рідкого контактного металу при дії на нього вібрації роторів ланок, впливу кульок підшипників, що рухаються з великою швидкістю (в підшипникових ланках). Експериментально встановлено, що при збільшенні бази ланок ланцюгових знімачів за рахунок установки на один подовжений вал двох контактних кілець двох ланок зростає стійкість руху спільного ротора двох ланок, що супроводжується збереженням стабільності перехідного опору до більшої кутової швидкості. Запропонована нова конструкція напірного рідинного високошвидкісного струмознімача з проточною контактною рідиною, яка знімає проблему охолодження пристрою.

На основі викладених попередніх результатів виконаних досліджень розробляються фізичні моделі для уточнення отриманих результатів та їх обґрунтування.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Авторське посвідчення СРСР № 1051632, кл. Н 01 R 39/30, 1983.
2. Авторське посвідчення СРСР № 1072163, кл. Н 01 R 39/64, 1984.
3. Авторське посвідчення СРСР № 1098056, кл. Н 01 R 39/30, 1984.
4. Авторське посвідчення СРСР № 1279001, кл. Н 01 R 39/30, 1986.
5. Авторське посвідчення СРСР № 1670730, кл. Н 01 R 39/30, 1991.
6. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. – Минск, 1975.
7. Авторське посвідчення СРСР № 577594, кл. Н 01 R 39/64, 1987.
8. Авторське посвідчення СРСР № 581538, кл. Н 01 R 39/64, 1977.
9. Колодій М.А. Випробування маховиків у полі відцентрових сил при навантаженні гальмівним крутильним моментом // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 2 (21) / Технічні науки. – С. 12 – 15.
10. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства. Изд. 2-е, переработ. и доп. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1973. – 232 с.
11. Кетولا, Мак-Грю. Распределение давления, сопротивление трения и расходные характеристики для частично смоченного вращающегося диска // Труды АОИМ. Проблемы трения и смазки. Т. 30.

– Сер. Ф. № 2. – М.: Машиностроение, 1986. – С. 463.

12. Мисюра В.И., Овсянников Б.В., Присяков В.Ф. Дисковые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 112 с.

13. Авторське посвідчення СРСР № 574800, кл. Н 01 R 39/30, 1977.

КОЛОДІЙ Марина Анатоліївна – асистент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– дослідження міцності деталей машин.

Подано 11.11.2004

Колодій М.А. Високошвидкісний струмознімальний пристрій  
Колодій М.А. Высокоскоростное токосъемное устройство  
Kolodiy M.A. High-speed current collecting device

УДК 621.3.047 (088.8)

**Високошвидкісний струмознімальний пристрій /М. А. Колодій // Вісник ЖДТУ. – 2004. № XX (XX). – Т. 2/ Технічні науки. – С. XX-XX: іл. 3.- Бібліогр.: 3 назв.**

Аналізуються особливості конструкції та дії високошвидкісних рідиннометалічних струмознімальних пристроїв, які використовуються в складі вимірювальних інформаційних систем розгінних стендів для дослідження міцності обертових маховиків та інших деталей машин. Запропонована нова конструкція ртутного біроторного високошвидкісного струмознімального пристрою, обладнаного системою демеркуризації охолоджувального повітря.

УДК 621.3.047 (088.8)

**Высокоскоростное токосъемное устройство /М. А. Колодій // Вісник ЖДТУ. – 2004. № XX (XX). – Т. 2/ Технічні науки. – С. XX-XX: іл. 3.- Бібліогр.: 3 назв.**

Анализируются особенности конструкции и действия высокоскоростных жидкометаллических токосъемных устройств, которые используются в составе измерительных информационных систем разгонных стендов для исследования прочности вращающихся маховиков и других деталей машин. Предложена новая конструкция ртутного высокоскоростного токосъемного устройства, оборудованного системой демеркуризации охлаждающего воздуха.

УДК 621.3.047 (088.8)

**High-speed current collecting device./M. A. Kolodiy // Вісник ЖДТУ. – 2004. № XX (XX). – Т. 2/ Технічні науки. – С. XX-XX: іл. 3.- Refs.: 3 titles.**

The peculiarities of construction and action of the high-speed liquid- metal current collecting devices, which are used as a part of measuring information systems of dispersing stand for strength studing of rotating flywheel and other machine elements are analysed. A new construction of mercuric high- frequent current collecting device which is equipped with a system of demercurization of cooling air is proposed.