



УКРАЇНА

(19) UA (11) 86305 (13) C2

(51) МПК (2009)

G01B 7/00

G01N 27/82

G01M 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗМІЩЕНЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА СПОСІБ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

1

(21) а200709828

(22) 03.09.2007

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл. № 7, 2009 р.

(72) ШОКАРЕВ ВІКТОР СЕМЕНОВИЧ, UA, ЧАП-
ЛИГІН ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, UA, ГРЕЧКО ВОЛО-
ДИМИР ФЕДОРОВИЧ, UA, ВОЛКОВ ДМИТРО
АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ХІЛЬКО СЕРГІЙ ВОЛОДИ-
МИРОВИЧ, UA

(73) ПРИВАТНЕ ПІДПРИЄМСТВО "БІЛ", UA

(56) UA 75876 C2, 15.12.2003

RU 2272993 C1, 27.03.2006

RU 2044261 C1, 20.09.1995

SU 1190225 A, 07.11.1985

WO 02/14819 A1, 21.02.2002

GB 2012431 A, 25.07.1979

US 4889997, 26.12.1989

JP 2054102 A, 23.02.1990

GB 2198669 A, 22.06.1988

(57) 1. Електромагнітний вимірювальний перетворювач для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд, що містить циліндричну діелектричну втулку, короткі секційні котушки збудження, розташовані на діелектричній втулці, пристрій вимірювання величини індуктивності котушок збудження, розрахунку і відображення зміщень, циліндричний якір, розташований в циліндричній діелектричній втулці, шток, скріплений з корпусом якоря, несучий стакан циліндричної форми для розташування в ньому електромагнітного вимірювального перетворювача, який **відрізняється** тим, що на зовнішній стороні діелектричної втулки з одним кроком установлені ідентичні електропровідні шайби, на кожному торці діелектричної втулки на різьбі установлене ідентичне діелектричне кільце з отворами, розподіленими рівномірно по його поверхні, між кожною парою електропровідних шайб на діелектричній втулці розташована коротка котушка збудження, по периметру електропровідних шайб закріплений ізоляційний діелектричний циліндр, корпус якоря виконаний пустотілим із діелектричного матеріалу, несучий стакан виконаний із діелектричного прозорого матеріалу з отвором в центрі основи, на його зовнішній поверхні у напрямку вертикальної

2

осі його симетрії закріплена градуйована шкала зміщень, всередині несучого стакана по периметру його основи розташоване обмежувальне кільце, на несучому стакані із зовнішньої сторони на його циліндричній частині біля основи закріплена різьбою діелектрична кришка з отвором в центрі, між основою несучого стакана і основою діелектричної кришки розташована діелектрична пружна шайба, до основи діелектричної кришки із зовнішньої сторони прикріплений діелектричний кутик.

2. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що із зовнішньої сторони на циліндричній поверхні корпусу якоря закріплений феромагнітний циліндр.

3. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що із зовнішньої сторони феромагнітний циліндр якоря має електропровідне покриття, товщина якого визначається співвідношенням:

$$\Delta_3 \ll \Delta_\Phi,$$

де Δ_Φ, Δ_3 - відповідно товщина стінки феромагнітного циліндра якоря і електропровідного покриття на його зовнішній поверхні.

4. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що загальна товщина стінки феромагнітного циліндра якоря і електропровідного покриття визначається співвідношенням:

$$\Delta \approx \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_\Phi \gamma_\Phi \mu_0}} + \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma_3}} \leq \delta,$$

де Δ - загальна товщина стінки феромагнітного циліндра і електропровідного покриття; f - частота струму збудження; μ_0, μ_Φ - відповідно магнітна проникність вакууму і феромагнітного матеріалу циліндра; γ_Φ, γ_3 - відповідно електропровідність феромагнітного матеріалу циліндра і електропровідність матеріалу покриття; π - фізична постійна; δ - глибина проникнення електромагнітного поля в матеріал циліндричної частини якоря.

5. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що довжина фе-

(13) C2

(11) 86305

(19) UA

ромагнітного циліндра на якорі дорівнює щонайменше півтора - двом крокам розташування електропровідних шайб на поверхні діелектричної втулки.

6. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що товщина стінок електропровідних шайб визначається співвідношенням:

$$\Delta_{\Pi} \geq 2 \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma}},$$

де Δ_{Π} - товщина електропровідних шайб; f - частота струму збудження; μ_0 - магнітна проникність вакууму; γ - електропровідність матеріалу шайб; π - фізична постійна.

7. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що шток якоря закріплений одним кінцем різьбою в циліндричному виступі на основі корпусу якоря, а другим кінцем різьбою закріплений в металевому кутику.

8. Електромагнітний вимірювальний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що він виконаний таким чином, що індукція електромагнітного поля, що створюється кожною котушкою збудження, збільшується по довжині їх розташування змінюючись числом витків котушок збудження за лінійним законом, починаючи від однієї із котушок збудження, розташованої біля одного із торців діелектричної втулки.

9. Спосіб електромагнітного вимірювального перетворення для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд за допомогою вимірювального перетворювача за будь-яким з пп. 1-8, що включає вимірювання значень індуктивності котушок збудження вимірювального перетворювача, який **відрізняється** тим, що за даними вимірювання будують загальну щонайменше для трьох електромагнітних вимірювальних перетворювачів еталонну градуїзовану залежність $L_{\Sigma} = \varphi(\ell_{\Sigma})$ змін значень індуктивності L_{Σ} котушок збудження без якоря від довжини ℓ_{Σ} їх розташування на діелектричній втулці, наприклад від котушки збудження, розташованої біля одного із торців діелектричної втулки, далі будують загальну для трьох електромагнітних вимірювальних перетворювачів робочу градуїзовану залежність $L_p = \psi(\ell_p)$ зміни індуктивності L_p від відстані ℓ_p зміщення якоря, наприклад від котушки збудження біля торця втулки, приймають значення індуктивності L_c , наприклад середньої котушки збудження, здобутої при розташуванні симетрично їй якоря, за нульове зміщення конструктивних елементів або фундаменту, визначають за залежностями $L_p = \psi(\ell_p)$ і $L_{\Sigma} = \varphi(\ell_{\Sigma})$ діапазони змін робочих градуїзованих індуктивностей $\{L_c - L_{1p}\}$ і $\{L_c - L_{np}\}$ і

діапазони змін градуїзованих еталонних індуктивностей $\{L_c - L_{1\Sigma}\}$ і $\{L_c - L_{n\Sigma}\}$, ці діапазони, індуктивність L_c середньої котушки збудження, еталонну градуїзовану залежність $L_{\Sigma} = \varphi(\ell_{\Sigma})$ і градуїзовану робочу залежність $L_p = \psi(\ell_p)$, заносять в пам'ять пристрою вимірювання індуктивності, розрахунку і відображення зміщень, при цьому при контролі зміщень конструктивних елементів у напрямку поздовжньої осі симетрії корпусу якоря і зміщень фундаменту визначають пристроєм вимірювання індуктивності, розрахунку і відображення зміщень значення відповідних їм індуктивностей L_k , а при контролі осадок фундаментів визначають значення індуктивностей $L_{1\phi}, L_{2\phi}$, порівнюють здобуті при контролі індуктивності $L_k, L_{1\phi}, L_{2\phi}$ з еталонними значеннями індуктивностей L_{Σ} в діапазонах $\{L_c - L_{1\Sigma}\}$ і $\{L_{1c} - L_{n\Sigma}\}$, причому котушки збудження, у яких значення еталонних індуктивностей L_{Σ} і здобутих при контролі індуктивностей $L_k, L_{1\phi}, L_{2\phi}$ однакові за величиною, не враховують при розрахунку зміщень, а котушка збудження, у якій еталонна індуктивність L_{Σ} і здобуті при контролі індуктивності $L_k, L_{1\phi}, L_{2\phi}$ відрізняються за величиною, враховують при розрахунку зміщень конструктивних елементів і фундаменту, далі визначають за градуїрованою залежністю $L_p = \psi(\ell_p)$, в якому із діапазонів $\{L_c - L_{1p}\}$ або $\{L_c - L_{np}\}$ знаходяться величини індуктивностей L_k або $L_{1\phi}, L_{2\phi}$, здобуті при контролі, і за знайденими діапазонами змін індуктивностей визначають напрямки зміщень від середньої котушки збудження вгору у напрямку до першої котушки збудження або вниз до останньої котушки збудження, розташованої біля основи несучого стакана, за градуїрованою залежністю $L_p = \psi(\ell_p)$ визначають величину зміщення ℓ_k конструктивних елементів, при контролі зміщення фундаменту в області установки двох перетворювачів, з'єднаних гідравлічно, зміщення (осадки) розраховують за формулами:

$$\ell_{\phi 1} = 2 \ell_{k1},$$

$$\ell_{\phi 2} = 2 \ell_{k2},$$

де $\ell_{\phi 1}, \ell_{\phi 2}$ - зміщення фундаменту в області установки першого і другого електромагнітних вимірювальних перетворювачів, ℓ_{k1}, ℓ_{k2} - зміщення, розраховане як при контролі зміщень фундаментів за рівнем рідини для кожного електромагнітного вимірювального перетворювача окремо.

Винахід відноситься до області електромагнітного контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд. Зміщення констру-

ктивних елементів, будівель і споруд проходять в основному нерівномірно, тому виникає необхідність їх безперервного контролю, щоб вони не ви-

йшли за граничне значення. Використані в сучасний час для цієї мети відомі методи і технічна їх реалізація, наприклад, геодезичний і гідростатичний метод дозволяє проводити тільки періодичний візуальний контроль з невисокою точністю, тобто практично неможливо автоматизувати процес контролю, наприклад, при вирівнюванні будівель і споруд.

Відомий електромагнітний вимірювальний прохідний перетворювач для контролю зміщень, який містить розташовану на каркасі циліндричну котушку збудження, підключену до джерела змінного струму і циліндричний магніто провід, розташований всередині каркасу [Збірник наукових праць НГА України №9, т.2. - Дніпропетровськ: РИК НГА Укр., 2000. - 227с., с.7, Аналог].

При використанні електромагнітного вимірювального перетворювача каркас з обмоткою збудження закріплюють на конструкції, що не деформується, а циліндричний феромагнітний сердечник закріплюють на конструкції, що сприймає зміщення, наприклад, фундамент будівель, споруд. При зміщенні фундаменту зміщується і сердечник в результаті змінюється індуктивність обмотки збудження. По величині зміни індуктивності на основі попередньо збудованого градуированого графіку залежності індуктивності обмотки збудження від величини зміщення сердечника визначають величину зміщення. Відомий перетворювач має достоїнство: він дозволяє безперервно автоматично контролювати зміщення конструктивних елементів, що дозволяє його використати в інформаційно-вимірювальних системах.

Але відомий електромагнітний вимірювальний перетворювач має і інший суттєвий недолік: зміна індуктивності котушки збудження від величини зміщення циліндричного зразка від центру котушки має однаковий характер, тобто виникає неоднозначність залежності в області країв котушки, тому для цілі контролю зміщень відомого перетворювача можливо використати зміни індуктивності тільки в початковій або кінцевій області котушки збудження.

Відомо гідростатичний пристрій для контролю значних зміщень, наприклад, фундаментів будівель і споруд при їх вирівнюванні. Пристрій складається мінімум із двох сполучених посудів різного січення, основи яких з'єднані трубою, на бокових поверхнях посудів закріплені шкали зміщень [НДІБК. Методичні рекомендації по застосуванню систем дистанційного контролю положення об'єктів. Київ, 1987, с.18, Аналог].

При використанні відомого гідростатичного пристрою закріплюють по периметру фундаменту парами сполучені сосуди, фіксують початкове положення рівнів рідини в сосудах, вимірюють зміну рівнів рідини у всіх сосудах і по їх значенням, здобутим по шкалам, визначають величину і характер зміщень (осадов) фундаменту.

Достоїнством гідростатичного пристрою є можливість візуального контролю значних зміщень. Але гідростатичний пристрій має суттєвий недолік: він не дозволяє здобути інформацію про характер зміни зміщень в електричних сигналах, а тому не може бути використано при автоматичному конт-

ролі зміщень, наприклад, у вимірювальних інформаційних системах, що обмежує область його практичного застосування.

Найбільш близький до розробленого електромагнітного прохідного перетворювача відомий прохідний електромагнітний перетворювач, який містить коротку котушку збудження з довжиною значно меншою її діаметра, підключеною до джерела змінного струму, коротку вимірювальну котушку, підключену до пристрою вимірювання вихідної її напруги [Р. Мак-Мастер, Вид. Енергія; М. 1965, Л. 492с., с.161, Прототип].

При використанні відомого електромагнітного прохідного перетворювача в котушці збудження розташовують контрольований короткий зразок, який взаємодіє з електромагнітним полем котушки збудження, при зміщенні короткого зразка змінюється величина індуктивності котушки збудження і вихідної напруги на виході вимірювальної котушки, тому при контролі по змінам індуктивності або вихідної напруги на основі попередньо здобутих градуированих залежностей цих змін від величини зміщення зразка визначають величину зміщення. Відомий перетворювач має високу чутливість до зміщення короткого зразка відносно збуджувачої котушки, а зміни індуктивності або вихідної напруги можуть бути виміряні дистанційно, наприклад, на основі використання електромагнітної вимірювальної інформаційної системи неруйнівного контролю параметрів напружено-деформованого стану інженерних конструкцій і споруд [Шокарев В.С., Чаплигин В.І., Мальцева Я.В. Патент на винахід №75876. Бюл. №6, 2006р.].

Відомий електромагнітний прохідний перетворювач має суттєвий недолік: при зміщенні короткого зразка в різні сторони від центру котушки збудження до її країв, зміна індуктивності має один характер, тому при контролі можливо використати тільки одну із крайніх областей котушки збудження, що обмежує область практичного застосування відомого перетворювача, наприклад, він не може бути використаний при контролі значних зміщень (осадов) фундаментів, виникаючих при вирівнюванні будівель і споруд.

У винаході постає задача здобуття технічного результату, який дозволяє поширити область застосування електромагнітного вимірювального перетворювача для контролю конструктивних елементів і фундаментів будівель, споруд і способів його застосування.

Технічний результат досягається тим, що в електромагнітному вимірювальному перетворювачі для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд і способі його застосування, який містить циліндричну діелектричну втулку, короткі секційні котушки збудження, розташовані на діелектричній втулці, пристрій вимірювання величини індуктивності котушок збудження, розрахунку і відображення зміщень, циліндричний якір, розташований в циліндричній діелектричній втулці, шток, скріплений з якорем, несучий стакан циліндричної форми з розташованим в ньому електромагнітним вимірювальним перетворювачем, у винаході на зовнішній стороні діелектричної втулки з одним шагом установлені

ідентичні електропровідні шайби, на торцях діелектричної втулки на різьбі встановлено по ідентичному діелектричному кільцю з отворами, розподіленими рівномірно по їх поверхні, між кожною парою електропровідних шайб на діелектричній втулці розташовано по короткій котушці збудження, по периметру електропровідних шайб закріплений ізоляційний діелектричний циліндр, корпус якоря виконаний пустотілим із діелектричного матеріалу, несучий стакан виконаний із діелектричного прозорого матеріалу з отвором в центрі основи, на його зовнішній поверхні у напрямі вертикальної осі його симетрії закріплена градуйована шкала зміщень, всередині несучого стакану по периметру його основи розташоване обмежуваче кільце, на несучому стакані з зовнішньої сторони на його циліндричній частині у основи закріплена різьбою діелектрична кришка з отвором в центрі, між основою несучого стакану і основою діелектричної кришки розташований діелектрична пружна шайба, до основи діелектричної кришки з зовнішньої сторони прикріплений діелектричний уголок, технічний результат досягається також тим, що у винаході з зовнішньої сторони на циліндричній поверхні якоря закріплений феромагнітний циліндр, із зовнішньої сторони феромагнітний циліндр якоря має електропровідне покриття, товщина якого визначається співвідношенням:

$$\Delta_3 \ll \Delta_\Phi,$$

де Δ_3 , Δ_Φ - відповідно товщина стінки феромагнітного циліндра якоря і електропровідного покриття на феромагнітному циліндрі, загальна товщина стінки феромагнітного циліндра якоря і електропровідного покриття визначається співвідношенням:

$$\Delta \approx \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_\Phi \gamma_\Phi \mu_0}} + \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma_3}} \leq \delta,$$

де Δ - загальна товщина стінки феромагнітного циліндра і електропровідного покриття; f - частота струму збудження; μ_0 , μ_Φ - відповідно магнітна проникність вакууму і феромагнітного матеріалу циліндра; γ_Φ , γ_3 - відповідно електропровідність феромагнітного матеріалу циліндра і електропровідність матеріалу покриття; π - фізична постійна, δ - глибина проникнення електромагнітного поля в матеріал циліндричної частини якоря, довжина феромагнітного циліндра на якорі дорівнює мінімум півтори - двом шагам розташування електропровідних шайб на поверхні діелектричної втулки, товщина стінок електропровідних шайб визначається співвідношенням:

$$\Delta_\Pi \geq 2 \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma}},$$

де Δ_Π - товщина електропровідних шайб; f - частота струму збудження; μ_0 - магнітна проникність вакууму; γ - електропровідність матеріалу шайб; π - фізична постійна, шток якоря закріплений одним кінцем різьбою в циліндричному виступі на основі корпусу якоря, а другим кінцем різьбою

закріплений в металевому уголку, індукція електромагнітного поля, що створюється кожною котушкою збудження, збільшується по довжині їх розташування зміною числа витків котушок збудження по лінійному закону, починаючи від однієї із котушок збудження, розташованою біля одного із торців діелектричної втулки, будують загальну мінімум для трьох електромагнітних вимірювальних перетворювачів еталонну градуйовану залежність

$L_3 = \varphi(\ell_3)$ змін значень індуктивності L_3 котушок збудження без якоря від довжини ℓ_3 їх розташування на діелектричній втулці, наприклад, від котушки збудження, розташованої у одного із торців діелектричної втулки, будують загальну для трьох електромагнітних вимірювальних перетворювачів робочу градуйовану залежність $L_p = \psi(\ell_p)$ зміни

індуктивності L_p від відстані ℓ_p зміщення якоря, наприклад, від котушки збудження у торця втулки, приймають значення індуктивності L_c , наприклад, середньої котушки збудження, здобутої при розташуванні симетрично їй якоря, за нульове зміщення конструктивних елементів або фундаменту, визначають по залежностям $L_p = \psi(\ell_p)$ і

$L_3 = \varphi(\ell_3)$ діапазони зміни робочих градуйованих індуктивностей $\{L_c - L_{1p}\}$ і $\{L_c - L_{np}\}$ і діапазони зміни градуйованих еталонних індуктивностей $\{L_c - L_n\}$ і $\{L_c - L_{n3}\}$, ці діапазони, індуктивність L_c середньої котушки збудження, еталонну градуйовану залежність $L_3 = \varphi(\ell_3)$ і градуйовану робочу залежність

$L_p = \psi(\ell_p)$ заносять в пам'ять пристрою вимірювання індуктивності, розрахунку і відображення зміщень, при контролі зміщень конструктивних елементів у напрямку поздовжньої осі симетрії корпусу якоря і зміщень фундаменту пристроєм вимірювання індуктивності, розрахунку і відображення зміщень, визначають значення відповідних їм індуктивностей L_k , а при контролі осадок фундаментів визначають значення індуктивностей $L_{1\Phi}$, $L_{2\Phi}$, порівнюють здобуту при контролі індуктивність L_k , $L_{1\Phi}$, $L_{2\Phi}$ з еталонними значеннями індуктивностями L_3 в діапазонах $\{L_c - L_{13}\}$ і $\{L_{1c} - L_{n3}\}$, котушки збудження, у яких значення еталонних індуктивностей L_3 і здобутих при контролі індуктивностей L_k , $L_{1\Phi}$, $L_{2\Phi}$ однакові по величині, не враховують при розрахунку зміщень, котушка збудження, у якій еталонна індуктивність L_3 і здобута при контролі індуктивність L_k , $L_{1\Phi}$, $L_{2\Phi}$ відрізняються по величині, враховують при розрахунку зміщень конструктивних елементів і фундаменту, визначають по градуйованій залежності $L_p = \psi(\ell_p)$ в якому із діапазонів $\{L_c - L_{1p}\}$ або $\{L_c - L_{np}\}$ знаходиться величина індуктивності L_k або $L_{1\Phi}$, $L_{2\Phi}$, здобуті при контролі, по знайденим діапазонам зміни індуктивностей визначають напрям зміщень від середньої котушки збудження, вгору у напрямку до першої котушки збудження або вниз до останньої котушки збудження, розташованих у основ несучого стакану, по градуйованій залежності $L_p = \psi(\ell_p)$ визначають величину зміщення ℓ_k конструктивних елементів, при контролі зміщення фундаменту в області

установки двох перетворювачів, з'єднаних гідравлічно, зміщення (осадки) $\ell_{\phi 1}, \ell_{\phi 2}$ розраховують по формулам:

$$\ell_{\phi 1} = 2\ell_{\kappa 1},$$

$$\ell_{\phi 2} = 2\ell_{\kappa 2},$$

де $\ell_{\phi 1}, \ell_{\phi 2}$ - зміщення фундаменту в області установки першого і другого електромагнітних вимірювальних перетворювачів, $\ell_{\kappa 1}, \ell_{\kappa 2}$ - зміщення, розраховане як при контролі зміщень фундаментів по рівню рідини для кожного електромагнітного вимірювального перетворювача окремо.

Відмінні особливості розробленого електромагнітного вимірювального перетворювача для контролю зміщень конструктивних елементів і фундаментів будівель і споруд і спосіб його застосування дозволяють вважати, що він має елементи новизни.

При пошуку по науково технічним і патентним джерелам не виявлені технічні рішення, що мають відмінні особливості розробленого технічного рішення, тому воно характеризується суттєвими відмінностями.

На Фіг.1 приведено конструктивне виконання розробленого електромагнітного вимірювального перетворювача для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд.

На Фіг.2 показано використання електромагнітного вимірювального перетворювача при контролі зміщень конструктивних елементів і фундаментів.

Конструкція електромагнітного вимірювального перетворювача для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд приведено на Фіг.1 і містить циліндричну діелектричну втулку 1, довжиною ℓ , на якій розташовані короткі індуктивні котушки збудження 2_{1-2_n}, виходом підключені до входів пристрою 3 вимірювання величини їх індуктивності, розрахунку і відображення зміщень, циліндричний якорь 4, розташований в діелектричній втулці 1, шток 5, скріплений з якорем 4, несучий стакан 6 циліндричної форми, на зовнішній стороні діелектричної втулки 1 з одним шагом t установлені ідентичні електропровідні шайби 7_{1-7_i}, товщина яких визначається співвідношенням:

$$\Delta_{\Pi} \geq 2\sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma}},$$

де Δ_{Π} - товщина електропровідних шайб 7₁, 7₂ - 7_{n+1}; f - частота струму збудження; μ_0 - магнітна проникність вакууму; γ - електропровідність матеріалу шайб 7₁, 7₂ - 7_i; π - фізична постійна, на торцях діелектричної втулки 1 на різьбі установлено по ідентичному діелектричному кільцю 8, 9 з отворами 10_{1-10_j} і 11_{1-11_j} по всій їх поверхні, між кожною парою електропровідних шайб (7₁, 7₂)-(7_{i-1}, 7_i) на діелектричній втулці 1 розташовано по короткій котушці збудження 2_{1-2_n}, по периметру всіх електропровідних шайб 7₁, 7₂ - 7_i закріплена ізоляційна діелектрична втулка 12, корпус якоря 4 виконаний пустотілим із діелектричного матеріалу, несучий стакан 6 виконаний із діелектричного прозорого

матеріалу з отвором 13 в центрі основи 14, на його зовнішній поверхні у напрямі вертикальної осі його симетрії закріплена шкала зміщень 15, всередині несучого стакану 6 на його основі 14 по його периметру розташоване обмежуюче кільце 16, аз зовнішньої його сторони на його циліндричній частині закріплена різьбою діелектрична кришка 17 з отвором 18 в центрі, між основою 14 несучого стакану 6 і основою 19 діелектричної кришки 17 розташований діелектрична шайба 20, з зовнішньої сторони на циліндричній поверхні якоря 4 закріплений феромагнітний циліндр 21 з електропровідним покриттям 22, товщина якого визначається співвідношенням:

$$\Delta_{\phi} < \Delta_{\phi},$$

де Δ_{ϕ} , Δ_{ϕ} - відповідно товщина стінки феромагнітного циліндра 21 і електропровідного покриття 22, а загальна товщина стінки феромагнітного циліндра 21 і електропровідного покриття 22 визначається співвідношенням:

$$\Delta \approx \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_{\phi} \gamma_{\phi} \mu_0}} + \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \gamma_{\phi}}} \leq \delta,$$

де Δ - загальна товщина стінки феромагнітного циліндра 21 з електропровідним покриттям 22; f - частота струму збудження; μ_0 , μ_{ϕ} - відповідно магнітна проникність вакууму і феромагнітного матеріалу циліндра; γ_{ϕ} , γ_{ϕ} - відповідно електропровідність феромагнітного матеріалу циліндра 21 і електропровідність матеріалу покриття 22; π - фізична постійна, δ - глибина проникнення електромагнітного поля кожної котушки збудження 2_{1-2_n} в матеріал циліндричної частини якоря 4, довжина

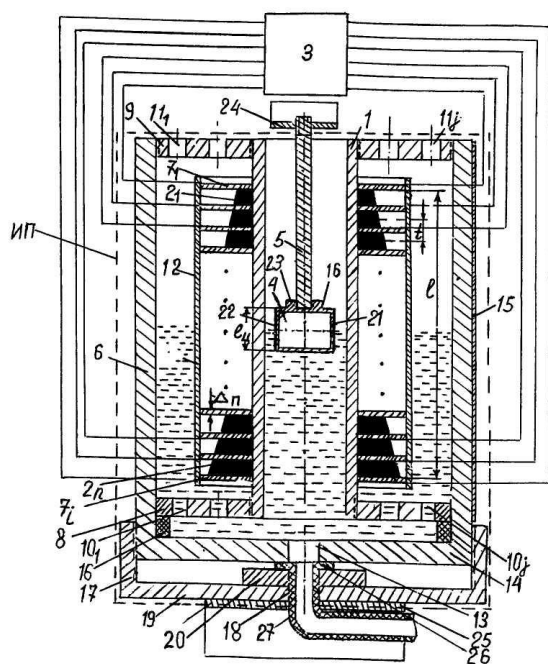
ℓ_{ϕ} феромагнітного циліндра 21 на якорі 4 дорівнює мінімум півтори - двом шагам t розташування електропровідних шайб 7₁, 7₂ - 7_i, шток 5 якоря 4 закріплений різьбою одним кінцем на основі 23 якоря, а на другому кінці штока 5 закріплений уголок 24, число витків кожної обмотки збудження збільшується по довжині їх розташування ℓ_{κ} на діелектричній втулці 1 по лінійному закону. Перед використанням електромагнітного вимірювального перетворювача для контролю зміщень конструктивних елементів, фундаментів будівель і споруд проводять його градування (Фіг.2); будують першу еталонну градувану залежність $L_{\phi} = \phi(\ell_{\phi})$ змін значень індуктивності L_{ϕ} котушок збудження 2_{1-2_n} від довжини ℓ_{κ} їх розташування на діелектричній втулці 1 при відсутності в ній якоря 4, будують другу робочу градувану залежність $L_p = \psi(\ell_p)$ зміни індуктивності L_p від відстані зміщення якоря 4 в одному напрямі від першої котушки збудження 2₁ по всій довжині і розташування котушок збудження 2_{1-2_n}, приймають значення індуктивності L_c середньої котушки збудження 2_c, здобутої при розташуванні симетрично їй якоря, за загальне нульове зміщення конструктивних елементів і фундаменту, визначають по залежностям $L_{\phi} = \phi(\ell_{\phi})$ і $L_p = \psi(\ell_p)$ діапазони робочих індукти-

вностей $\{L_c-L_{1p}\}$ і $\{L_c-L_{np}\}$ і діапазони зміни еталонних індуктивностей $\{L_c-L_{1з}\}$ і $\{L_c-L_{пз}\}$ відносно індуктивності L_c середньої котушки збудження 2_c , заносять в пам'ять пристрою 3 вимірювання індуктивності і розрахунку зміщень здобуті залежності $L_z = \varphi(\ell_z)$ і $L_p = \psi(\ell_p)$, величину середньої індуктивності L_c , діапазони робочих індуктивностей $\{L_c-L_{1p}\}$ і $\{L_c-L_{np}\}$ і діапазони еталонних індуктивностей $\{L_c-L_{1з}\}$ і $\{L_c-L_{пз}\}$. При застосуванні електромагнітного вимірювального перетворювача ИП1 (Фіг.2) для контролю зміщень конструктивних елементів 29, 30 відносно один одного закріплюють на їх поверхні уголки 24, 25, шток 5 установлюють на різьбі в уголку 24, а вимірювальний перетворювач ИП1 скріплюють з уголком 25, виходи всіх катушок збудження підключають до пристрою 3 вимірювання індуктивності катушок збудження розрахунку і відображення зміщень. При контролі зміщень (осадок) фундаменту 28 (Фіг.2) закріплюють по його довжині парами з одною базою установки електромагнітні вимірювальні перетворювачі, наприклад, ИП2, ИП3, з'єднують основи 14 (Фіг.1) їх несучих стаканів в кожній парі діелектричною трубою 27, вивертають з якоря 4 шток 5 і заповнюють перетворювачі ИП2, ИП3 діелектричною рідиною так, щоб її рівень був напроти центру середньої котушки збудження, які контролюють візуально по шкалам 15 і пристроєм 3 (Фіг.2). Для контролю абсолютних значень зміщень (осадок) фундаментів безліч однотипних електромагнітних перетворювачів ИП2₁-ИП2_п закріплюють по довжині фундаменту в контрольованих точках з одним шагом, а відповідні безлічі електромагнітних перетворювачів ИП3₁-ИП3_п закріплюються на конструкціях без осадок. При контролі зміщень конструктивних елементів (Фіг.2) пристроєм вимірювання 3 індуктивності і розрахунку зміщень використовують зміни індуктивності L_k , а при контролі зміщень фундаментів використовують зміни індуктивності $L_{ф1}$ або $L_{ф2}$. При цьому в пристрої вимірювання 3 індуктивності, розрахунку і відображення зміщень використовують розроблений алгоритм визначення зміщень. Порівнюють здобуту при контролі індуктивність L_k з еталонними індуктивностями діапазонів $\{L_c-L_{1з}\}$ і $\{L_c-L_{пз}\}$, катушки збудження 2, у яких значення еталонних індуктивностей L_z і здобутої при контролі індуктивності L_k однакові, не враховують при розрахунку зміщень, катушка збудження 2, у якої еталонна індуктивність L_z і здобута при

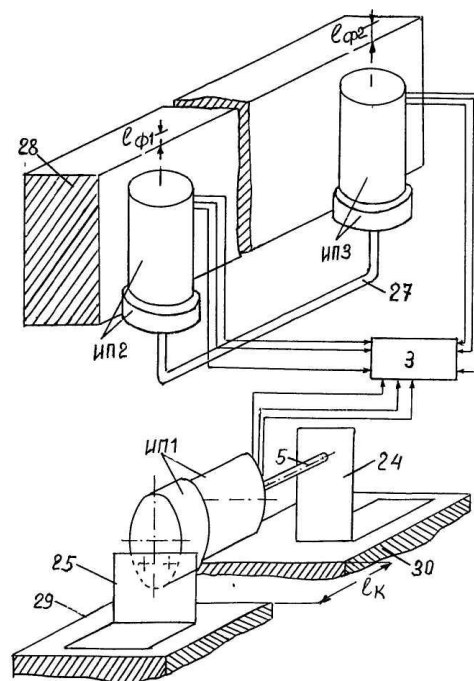
контролі індуктивність L_k відрізняються, враховують при розрахунку зміщень конструктивних елементів, визначають в якому із діапазонів $\{L_c-L_{1п}\}$ або $\{L_c-L_{пп}\}$ знаходиться величина індуктивності L_k , здобута при контролі, по знайденому діапазону індуктивностей визначають напрям зміщень, вгору або вниз від середньої котушки збудження, а по залежності $L_p = \psi(\ell_p)$ визначають величину зміщення ℓ_k конструктивних елементів, при контролі зміщення $\ell_{ф1}, \ell_{ф2}$ фундаменту в області установки двох перетворювачів, з'єднаних гідравлічно, зміщення (осадки) визначаються співвідношеннями: $\ell_{ф1} = 2\ell_{к1}$, $\ell_{ф2} = 2\ell_{к2}$, де $\ell_{ф1}, \ell_{ф2}$ - зміщення фундаменту в області установки першого і другого електромагнітних вимірювальних перетворювачів, $\ell_{к1}, \ell_{к2}$ - зміщення, розраховане як при контролі першим і другим перетворювачем.

У розробленому електромагнітному перетворювачі використані наступні фізичні закономірності: - використання циліндричної частини якоря у вигляді двохшарової структури: електропровідне покриття - феромагнітний циліндр дозволяє зменшити вплив зовнішньої температури на результати контролю; - використання електропровідних шайб дозволяє розділити електромагнітні поля катушок збудження 2₁-2_п, це збільшує точність контролю - використання загальної градуйованої залежності індуктивностей катушок збудження по довжині діелектричної втулки при відсутності якоря дозволяє значно спростити алгоритм розрахунку зміщень; - застосування в конструкції електромагнітного вимірювального перетворювача несучого стакану дозволило при контролі зміщень об'єднати два фізичних ефекту: сполучених судів і взаємодії електромагнітного поля катушок збудження з якорем.

Розроблений електромагнітний вимірювальний перетворювач і спосіб його використання в порівнянні з аналогами може бути використаний для контролю зміщень конструктивних елементів будівель і споруд і осадок їх фундаментів в широкому діапазоні їх значень і може бути використаний в автоматизованому режимі контролю, наприклад, разом з інформаційно вимірювальними системами.



Фиг. 1



Фиг.2