

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ СЕПАРАТНИХ КАНАЛІВ ГІДРОПРИВОДА СТАБІЛОМЕТРА

*Получены аналитические зависимости для определения взаимного влияния отдельных каналов гидропривода стабилметра. Установлено, что давление рабочей жидкости в рабочих полостях гидроцилиндров имеет три составляющие. Основная составляющая определяется ходом управляющего дроссельного элемента гидропривода одной оси нагружения, две других — скоростью изменения давления каналов нагружения по смежным осям. В установленном режиме передаточная функция между давлением в рабочей полости гидроцилиндра одного канала нагружения и скоростью изменения давления смежного канала нагружения определяется коэффициентом, который учитывает параметры испытуемого образца грунта, отношением коэффициента жесткости механической характеристики гидропривода к произведению коэффициентов упругой реакции образца грунта по основной и смежной осям нагружения, а также учитывает соотношение коэффициентов усиления электрогидравлического усилителя и передаточного коэффициента корректирующего устройства.*

*The mathematical model of a hydraulic drive of the triaxial test apparatus with the purpose of obtaining analytical dependences for definition of mutual influence of separate channels hydraulic installation of three-axle loading on the attained the pressure of working fluid in the working chambers of the executive hydraulic cylinders. Set the parameters of the hydraulic drive and the sample of the soil, which have a direct impact on the accuracy of control in a dynamic test of the samples. In the steady state transfer function between the pressure in the working cavity of the cylinder of one channel loading and speed of change of the pressure channel loading is determined by the coefficient, which takes into account the parameters of the test sample of the soil, the attitude of the stiffness coefficient of the mechanical characteristics of the hydraulic drive to the work of the coefficients of elastic reaction of the soil sample on the main and adjacent axes of loading, and also takes into account the ratio of amplification coefficients of electro-hydraulic amplifier and a transfer factor correction device.*

### Вступ

Для достовірного дослідження напружено-деформованого стану зразка ґрунту, який випробується в умовах складного об'ємного навантаження, використовуються стабілометри (установки триосного навантаження) [1, 2, 3]. Для створення статичних та динамічних навантажень на зразок ґрунту і будівельних матеріалів найдоцільніше використання стабілометрів із електрогидравлічним слідкувальним приводом. Режим і схеми випробування зразків матеріалів, які мають різні фізико-механічні характеристики, нелінійні і нестационарні характеристики окремих елементів стабілометра, впливають на динамічні і статичні характеристики гідропривода. Гідропривод стабілометра є системою із змінними параметрами, що ускладнює забезпечення необхідних динамічних характеристик і точності регулювання. Як показали дослідження гідроприводів з електрогидравлічним керуванням забезпечення високих динамічних характеристик і точності регулювання можливо при використанні цифрових електрогидравлічних слідкувальних систем із коректувальними пристроями [4, 5, 6]. Стабілометр із гідроприводом є багатозв'язною систе-

мою автоматичного керування. При її проектуванні виникає проблема оцінки стійкості функціонування при різних умовах із різними програмами керування і оцінки запасів стійкості системи за модулем і фазою [7]. Створення необхідних навантажень, одержання достовірних експериментальних даних у процесі динамічних випробувань зразків потребує розроблення математичної моделі гідропривода стабілометра, яка враховувала би взаємний вплив його сепаратних каналів на тиск робочої рідини у робочих порожнинах виконавчих гідроциліндрів. У роботі [8] було одержано аналітичні залежності для визначення точності керування гідроприводом і визначено робочі параметри гідропривода, регулюванням яких досягається потрібна точність для одноосового навантаження.

### Постановка задачі

Задачами дослідження є: розроблення математичної моделі гідропривода стабілометра з метою одержання аналітичних залежностей для визначення взаємного впливу сепаратних каналів гідропривода установки триосного навантаження на тиск робочої рідини у робочих порожнинах виконавчих гідроциліндрів;

встановлення параметрів гідропривода та зразка ґрунту, які безпосередньо впливають на точність керування при триосному випробуванні зразків.

**Результати дослідження**

Розглянемо динаміку гідропривода стабілометра з коректувальним зворотним зв'язком за тиском [9]. Принципову схему робочої камери стабілометра та окремого сепаратного гідропривода по одній із трьох осей навантаження показано на рисунку 1.

Робоча камера 1 містить п'ять підпружинених рухомих штампів 2, три подвійні гідроциліндри 3, кожний з яких, у свою чергу, містить гідроциліндри статичного та динамічного навантаження. Гідроциліндри статичного навантаження з'єднані з окремим гідроприводом статичного навантаження (не показано). Гідроциліндри динамічного навантаження з'єднані, відповідно, з гідроприводами динамічного навантаження. Кожний окремий гідропривод динамічного навантаження містить електрогідравлічний підсилювач, який складається з керівного каскаду 4 (регульовального дроселя) та основного каскаду 5, ізодромний коректувальний пристрій, який містить мембранний гідроциліндр 6 і регульовальний дросель 7 (конструкція, яка відповідає патенту [10], містить електронний пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор у ланцюзі зворотного зв'язку проміж давачем тиску, який встановлено у робочій порожнині гідроциліндра динамічного навантаження, та узгоджувальним електронним блоком керування 8). Керівний каскад 4 містить дросельну пару сопло-голка 9, електромеханічний перетворювач 10, який електрично з'єднаний з узгоджувальним електронним блоком керування 8. Каскади електрогідравлічного підсилювача 4, 5 під'єднано через регульовальні дроселі 11, 12 до напірної гідромагістралі насосної станції 13 із редукційним клапаном (стабілізатором тиску) 14. В основному каскаді 5 розташовано підпружинений золотник 15 з утворенням проточної камери 16, торцевої керувальної порожнини 17. Стабілометр обладнано давачами тиску, переміщень та напружень, які є датчиками зворотного зв'язку відповідно за зміною тиску в робочих порожнинах гідроциліндрів, переміщень штампів та напружень у зразку ґрунту й електрично з'єднані з узгоджувальним електронним блоком керування 8.

Рівняння витрат через проточну камеру 16 основного каскаду 5 електрогідравлічного підсилювача, яке зв'язує поточний тиск у підпоршневій порожнині гідроциліндру динамічного навантаження 3  $P_{dx}$ , переміщення штампа 2  $x_{ts}$  і відносний хід золотника 15  $l_{zolx}$ , у малих відхиленнях змінних від рівноважного стану має вигляд [8]:

$$F_d \frac{dx_{ts}^*}{dt} + k_{sts1x} \frac{dp_{dx}^*}{dt} + f_{s1x} \cdot P_{dx}^* =$$

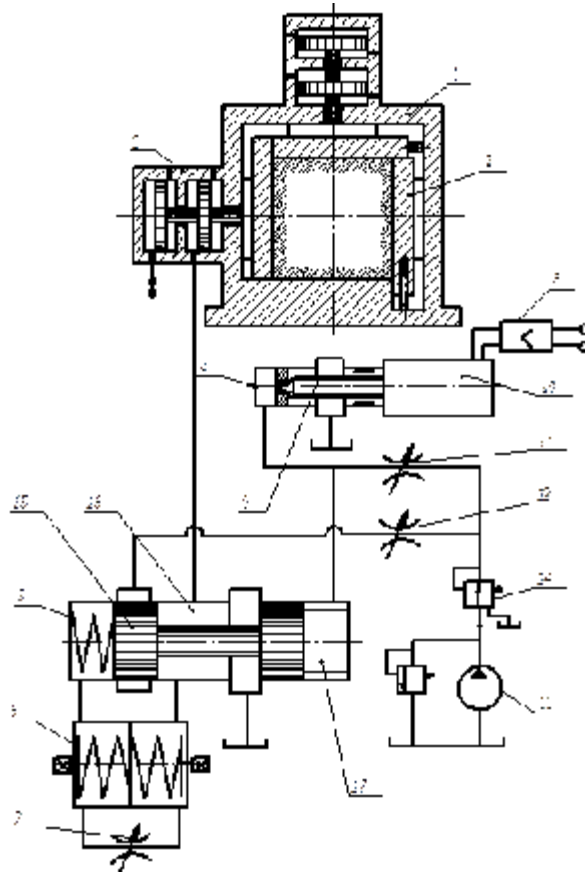


Рисунок 1 – Принципова схема стабілометра з гідроприводом

$$= k_{Qx} \cdot l_{zolx}^* + F_{zol} \frac{dl_{zolx}^*}{dt}, \tag{1}$$

де  $f_{s1x}$  — фактор стійкості основного каскаду електрогідравлічного підсилювача, який складається з коефіцієнтів ковзання навантажувальної характеристики напірної та зливної дросельовальної щілини золотника;  $k_{sts1x}$  — коефіцієнт стиснення робочої рідини у порожнині гідроциліндра динамічного навантаження та з'єднувальних трубопроводах;  $F_d$  — площа поршня гідроциліндра динамічного навантаження;  $F_{zol}$  — площа торця золотника;  $k_{Qx}$  — сумарний коефіцієнт підсилення за витратою основного каскаду 5 електрогідравлічного підсилювача.

Рівняння потенційних сил, які діють на поршень подвійного гідроциліндра гідропривода по осі навантаження із врахуванням сил реакції зразку ґрунту від сепаратних каналів навантаження по осях  $y, z$  у малих відхиленнях змінних від рівноважного стану

$$M_x \frac{d^2 x_{ts}^*}{dt^2} = p_{dx}^* \cdot F_d - (k_{tx} + a_{Tx}) \frac{dx_{ts}^*}{dt} - (c_x + k_x) \cdot x_{ts}^* + p_{sx}^* \cdot F_s - k_E \cdot (H_z \cdot y_{ts}^* + H_y \cdot z_{ts}^*), \tag{2}$$

де  $M_x$  — приведена маса рухомих елементів: поршнів зі штоками та штампів із приєднаною масою ґрунту;  $p_{sx}^*$  — тиск в підпоршневій порожнині гідроциліндру статичного навантаження у малих відхиленнях;  $F_s$  — площа поршня гідроциліндру статичного навантаження;  $a_{Tx}$  — сумарний коефіцієнт в'язкого тертя, який складається з коефіцієнту в'язкого тертя в рухомих з'єднаннях гідроциліндрів, робочої камери 1 та коефіцієнту демпфірування зразка ґрунту;  $k_{tx}$  — еквівалентний коефіцієнт в'язкого тертя в рухомих з'єднаннях робочої камери та гідроциліндрів [11];  $c_x$  — сумарна жорсткість пружин упорів штампів по осі навантаження  $x$ ;  $H_z$ ,  $H_y$  — розміри зразка ґрунту по відповідних осях навантаження;  $k_x$  — коефіцієнт пружної реакції зразка ґрунту по осі навантаження [12];  $y_{ts}^*$ ,  $z_{ts}^*$  — переміщення штампів 2 по відповідних осях навантаження у малих відхиленнях;  $k_E$  — коефіцієнт, який враховує параметри зразка ґрунту: коефіцієнт Пуассона  $\nu$  та динамічний модуль пружності  $E$  [12].

Рівняння витрат для підпоршневої порожнини гідроциліндра статичного навантаження у малих відхиленнях, відмінних від рівноважного стану [8]

$$k_{sts2x} \frac{dp_{sx}^*}{dt} + F_s \frac{dx_{ts}^*}{dt} = -k_{Qpstx} \cdot p_{sx}^*, \quad (3)$$

де  $k_{sts2x}$  — коефіцієнт стиснення робочої рідини у порожнині гідроциліндра статичного навантаження та з'єднувальних трубопроводах осі навантаження  $x$ ;  $k_{Qpstx}$  — коефіцієнт ковзання навантажувальної характеристики гідророзподільника статичного навантаження.

Застосувавши до рівнянь (1)—(3) перетворення за Лапласом, одержимо систему рівнянь у операторному вигляді

$$M_x \cdot p^2 \cdot X(p) = P_{dx}(p) \cdot F_d - (k_{tx} + a_{Tx} - c_x - k_x) \cdot p \cdot X(p) + P_{sx}(p) \cdot F_s - k_E \cdot (H_z \cdot Y(p) + H_y \cdot Z(p)), \quad (4)$$

$$F_d \cdot p \cdot X(p) + (k_{sts1x} \cdot p + f_{s1x}) \cdot P_{dx}(p) =, \quad (5)$$

$$= (F_{zol} \cdot p + k_{Qx}) \cdot X_{zol}(p)$$

$$F_s \cdot p \cdot X(p) = -(k_{sts2x} \cdot p + k_{Qpstx}) \cdot P_{sx}(p). \quad (6)$$

Також врахуємо операторні рівняння, які одержано в роботах [11, 12] для визначення відносного ходу золотника 15  $l_{zolx}$  і поточного тиску  $p_{upx}$  в торцевій керувальній порожнині 17 основного каскаду 5 електрогідралічного підсилювача

$$L_{zolx}(p) = (P_{upx}(p) - P_{dx}(p)) \cdot \frac{k_{1x} \cdot (T_{1x} \cdot p + 1)}{T_{2x} \cdot p + 1}, \quad (7)$$

$$P_{upx}(p) = \frac{k_{Qhglx} \cdot H_x(p) - F_{zol} \cdot p \cdot l_{zolx}(p)}{f_{s2x}}, \quad (8)$$

де  $H_x(p)$  — операторне зображення відносного ходу керувального дросельного елемента (голки) 9  $\bar{h}_x$ ;  $k_{1x}$  — коефіцієнт, який залежить від торцевої площі золотника 15  $F_{zol}$ , жорсткості його пружини і коефіцієнта передачі регульовального дроселя 7 коректувального пристрою;  $T_{1x}$ ,  $T_{2x}$  — сталі часу, які характеризують роботу коректувального пристрою;  $k_{Qhglx}$  — коефіцієнт підсилення за витратою керівного каскаду 4;  $f_{s2x}$  — фактор стійкості керівного каскаду 4 електрогідралічного підсилювача, який складається з коефіцієнтів ковзання навантажувальної характеристики дросельних елементів керівного каскаду.

Систему (4)—(8) зведемо до одного рівняння

$$P_{dx}(p) \cdot \frac{F_d^2 \cdot p + A_x(p) \cdot [(T_{gx} \cdot p + 1) \cdot f_{s1x} + R_x(p)]}{F_d \cdot p} =$$

$$= A_x(p) \cdot k_{Qhglx} \cdot R_x(p) \cdot H_x(p) +$$

$$+ k_E \cdot H_z \cdot Y(p) + k_E \cdot H_y \cdot Z(p), \quad (9)$$

де

$$A_x(p) = \frac{(T_{mx}^2 \cdot p^2 + 2Z_x \cdot p + 1) \cdot (c_x + k_x) \cdot (T_{gsx} \cdot p + 1)}{T_{gsx} \cdot p + 1} +$$

$$+ \frac{B_{sx} \cdot p}{T_{gsx} \cdot p + 1}, \quad (10)$$

$$R_x(p) = \frac{(T_{zolx} \cdot p + 1) \cdot k_{1x} \cdot (T_{1x} \cdot p + 1)}{k_{px1} \cdot (T_{2x} \cdot p + 1) + T_{zolx} \cdot p \cdot k_{1x} \cdot (T_{1x} \cdot p + 1)}, \quad (11)$$

де  $T_{gx} = \frac{k_{sts1x}}{f_{s1x}}$ ,  $T_{gsx} = \frac{k_{sts2x}}{k_{Qpstx}}$  — гідралічні сталі

часу відповідно гідроприводів динамічного і статичного навантаження, які враховують стисливість рідини у гідросистемі;  $T_{zolx} = \frac{F_{zol}}{k_{Qx}}$  — стала часу золотника 15 основного каскаду 5 електрогідралічного

підсилювача;  $B_{sx} = \frac{F_s^2}{k_{Qpstx}}$  — коефіцієнт жорсткості

механічної характеристики гідропривода статичного

навантаження;  $T_{mx} = \sqrt{\frac{M_x}{c_x + k_x}}$  — механічна стала

навантаження;  $T_{mx} = \sqrt{\frac{M_x}{c_x + k_x}}$  — механічна стала

часу гідропривода, яка враховує інерційність навантаження на шток подвійного гідроциліндра 3;

$$V_x = \frac{k_{Tx} + a_{Tx}}{2\sqrt{M_x(c_x + k_x)}} \quad \text{— коефіцієнт відносного дем-}$$

пфірування гідропривода;  $k_{px1} = \frac{f_{s2x}}{k_{Qx}}$  — коефіцієнт, що характеризує співвідношення коефіцієнтів підсилення керівного 4 і основного каскадів 5 електрогідравлічного підсилювача.

Передавальну функцію поміж тиском  $p_{dx}^*$  і задавальною дією ходу голки 9 керівного каскаду 4 електрогідравлічного підсилювача  $h_x^*$  наведемо у вигляді

$$W_{phx}(p) = \frac{P_{dx}(p)}{H_x(p)} = k_{Qhgx} \cdot R_x(p) \times \frac{A_x(p)}{F_d^2 \cdot p} \cdot \left( 1 + \frac{A_x(p)}{F_d^2 \cdot p} \cdot [(T_{gx} \cdot p + 1) \cdot f_{s1x} + R_x(p)] \right) \quad (12)$$

Передавальна функція поміж тиском  $p_{dx}^*$  і переміщенням штампа  $y_{is}^*$  робочої камери 1 сепаратного каналу навантаження по осі у

$$W_{pxy}(p) = \frac{P_{dx}(p)}{Y(p)} = k_E \cdot H_z \cdot F_d \cdot p \cdot \times \frac{1}{F_d^2 \cdot p} \cdot \left( 1 + \frac{1}{F_d^2 \cdot p} \cdot A_x(p) \cdot [(T_{gx} \cdot p + 1) \cdot f_{s1x} + R_x(p)] \right) \quad (13)$$

Визначимо передавальну функцію поміж переміщенням штампа  $y_{is}^*$  і тиском  $p_{dy}^*$  каналу навантаження по осі у. Оскільки канали навантаження одностипні, то із рівняння, одержаного з системи (4)—(7) для осі навантаження x

$$X(p) \cdot A_x(p) + k_E \cdot [H_z \cdot Y(p) + H_y \cdot Z(p)] = P_{dx}(p) \cdot F_d \quad (14)$$

із врахуванням (10), визначимо передавальну функцію поміж переміщенням штампа  $y_{is}^*$  і тиском  $p_{dy}^*$

$$W_{ypy}(p) = \frac{Y(p)}{P_{dy}(p)} = \frac{F_d}{A_y(p)} \quad (15)$$

Тоді із рівнянь (13), (15) визначаємо передавальну функцію поміж тиском  $p_{dx}^*$  каналу навантаження по осі x і тиском  $p_{dy}^*$  каналу навантаження по осі у

$$W_{pxpy}(p) = \frac{P_{dx}(p)}{P_{dy}(p)} = k_E \cdot H_z \cdot F_d^2 \cdot p \cdot \frac{1}{A_y(p)} \times \frac{1}{F_d^2 \cdot p} \cdot \left( 1 + \frac{1}{F_d^2 \cdot p} \cdot A_x(p) \cdot [(T_{gx} \cdot p + 1) \cdot f_{s1x} + R_x(p)] \right) \quad (16)$$

Передавальна функція поміж тиском  $p_{dx}^*$  каналу навантаження по осі x і тиском  $p_{dz}^*$  каналу навантаження по осі z аналогічна.

Із рівнянь (13), (16) видно, що у разомкнутому колі передавальних функцій знаходиться диференціальна ланка. Тобто, тиск  $p_{dx}^*$  каналу навантаження по осі x залежить від швидкості зміни тиску  $p_{dy}^*$  (переміщення штампа) каналу навантаження по осі у.

З рівняння (9) можна побачити, що тиск  $p_{dx}^*$  має три складові. Основна складова визначається відносним ходом голки  $\bar{h}_x$ , дві інших — швидкістю зміни величин тиску  $p_{dy}^*$ ,  $p_{dz}^*$  (переміщень штампів) каналів навантаження по осях у, z. Отже, підвищити точність керування величиною тиску  $p_{dx}^*$  не можливо тільки за рахунок основного каналу керування гідроприводу стабілометра. Це пов'язано з тим, що суміжні канали керування мають інші ланки. Крім того, сепаратні канали гідропривода мають можливість створювати навантаження на зразок з різними частотами.

Розглянемо вплив на тиск  $p_{dx}^*$  суміжних каналів керування в усталеному режимі. При усталеному режимі ( $p = 0$ ) передавальна функція поміж тиском  $p_{dx}^*$  каналу навантаження по осі x і швидкістю зміни тиску  $p_{dy}^*$  каналу навантаження по осі у має вигляд

$$W_{pxvpy}(0) = \frac{P_{dx}(0)}{V_{pdy}(0)} = k_E \cdot H_z \times \frac{B_x}{(k_x + c_x) \cdot (k_y + c_y) \cdot \left( 1 + \frac{k_{px1}}{f_{s2x}} \cdot k_{1x} \right)}, \quad (17)$$

де  $B_x = \frac{F_d^2}{f_{s1x}}$  — коефіцієнт жорсткості механічної характеристики гідропривода динамічного навантаження.

З рівняння (17) видно, що в усталеному режимі передавальна функція визначається коефіцієнтом  $k_E$ , який враховує параметри зразка ґрунту: коефіцієнт

Пуассона  $u$  та динамічний модуль пружності  $E$ , поперечним розміром зразка  $H_z$ , відношенням коефіцієнта жорсткості механічної характеристики гідропривода  $B_x$  до добутку коефіцієнтів пружної реакції зразка ґрунту по основній осі навантаження  $x$  і суміжній осі  $y$ , а також додатково поправкою на співвідношення коефіцієнтів підсилення основного і керівного каскаду електрогідрравлічного підсилювача та передавального коефіцієнта коректувального пристрою. Чим більші коефіцієнти жорсткості зразка ґрунту, тим менші складові тиску  $p_{dx}^*$ , які визначаються впливом суміжних каналів навантаження. В ідеальному випадку, для зменшення статичної помилки, необхідно досягти  $W_{pxpy}(0) \approx 1$ , що ускладнено, через залежність точності керування від параметрів конкретного зразка ґрунту.

Одержані рівняння (13), (16) дозволяють визначити основні показники гідропривода: амплітудно-частотні характеристики, області стійкості, коливальність, перехідні процеси, які відображають роботу стабілометра при тривісному навантаженні зразка ґрунту, що випробовується; визначити шляхи зменшення помилок керування.

### Висновки

Розроблено математичну модель гідропривода стабілометра з метою одержання аналітичних залежностей для визначення взаємного впливу сепаратних каналів гідропривода установки триосного навантаження на досягнутий тиск робочої рідини у робочих порожнинах виконавчих гідроциліндрів.

Встановлено, що тиск робочої рідини у робочих порожнинах виконавчих гідроциліндрів має три складові. Основна складова визначається ходом керувального дросельного елемента гідропривода певної осі навантаження, дві інших — швидкістю зміни тиску (переміщень штампів) каналів навантаження по суміжних осях.

Встановлено, що в усталеному режимі передавальна функція поміж тиском робочої рідини в робочій порожнині виконавчого гідроциліндра одного каналу навантаження і швидкістю зміни тиску суміжного каналу навантаження визначається коефіцієнтом, який враховує параметри зразка ґрунту, відношенням коефіцієнта жорсткості механічної характеристики гідропривода до добутку коефіцієнтів пружної реакції зразка ґрунту по основній і суміжній осях навантаження, а також додатково поправкою на співвідношення коефіцієнтів підсилення основного і керівного каскаду електрогідрравлічного підсилювача та передавального коефіцієнта коректувального пристрою основного каналу навантаження.

Оцінка стійкості функціонування гідропривода стабілометра при різних умовах із різними програмами керування і оцінка запасів стійкості системи за модулем і фазою є перспективним напрямом досліджень.

### Література

1. Стабілометр: [сайт]. Режим доступу: <http://www.npp-geotek.ru/catalog/info/stabilometer/> (дата звернення 30.03.2013). — Назва з екрана.
2. Ратушняк, Г. С. Точність регулювання гідроприводу стабілометра з коректувальним пристроєм / Г.С. Ратушняк, О. Б. Волошин // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2010. — № 1. — С. 86—94.
3. Пат. 31167U Україна, МПК G 01 N 3 / 10, E 02 D 1 / 02. Стабілометр / Г.С. Ратушняк, О.Б. Волошин; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. — №u200714148; заявл. 17.12.07; опубл. 25.03.08, Бюл. №6.
4. Пат. 31509U Україна, МПК G 01 N 3 / 10, E 02 D 1 / 02. Стабілометр / О.Б. Волошин; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. — №u200714158; заявл. 17.12.07; опубл. 10.04.08, Бюл. №7.
5. Ратушняк, Г.С. Гідропривод стабілометра з корекцією його динамічних властивостей / Г.С. Ратушняк, О.Б. Волошин // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007. — № 4. — С. 98—109.
6. Ратушняк, Г.С. Математична модель роботи гідроприводу стабілометра при циклічному об'ємному навантаженні зразка ґрунту / Г.С. Ратушняк, О.Б. Волошин // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. — Вінниця: УНІВЕРСУМ — Вінниця. — 2008. — № 5. — С. 85 — 95.

### References

1. Stabilometr [sayt]. Rezhim dostupu: <http://www.npp-geotek.ru/catalog/info/stabilometer/>. — Nazva z ekranu.
2. Instron Products [sayt]. Rezhim dostupu: <http://www.instron.ru/wa/product/MultiAxis-Testers.aspx>. — Nazva z ekranu.
3. Automatic triaxial test systems [sayt]. Rezhim dostupu: <http://www.controls-group.com/eng/soil-mechanics-testing-equipment/automatic-triaxial-test-systems.php>. — Nazva z ekranu.
4. Tihenko, V.N. Gidravlicheskiy sledyaschiy privod s korrektruyuschim ustroystvom / V.N. Tihenko // Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta. — Odessa. — 2002. — Vyp. 2(18). — S. 1—4.
5. Modelirovanie tsifrovoy elektrogidravlicheskoj sledyaschey sistemy s silovym gidrotsilindrom v srede MATLAB / V.G. Baunin, N.V. Shvetsov // Trudy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Proektirovanie inzhenernykh I nauchnykh prilozheniy v srede MATLAB", 25—26 maya 2004, Moskva. — M.: IPU RAN, 2004. — 2004. — S. 841—857.
6. Bortsov, Y.A. Adaptivnyy elektrogidravlicheskiy sledyaschiy privod s neposredstvennym upravleniem [Tekst] / Y.A. Bortsov, O.E. Yakupov // Elektrichestvo: ezhe-mesyachnyy teoreticheskiy I nauchno-prakticheskiy zhurnal. — M.: Energoizdat. — 2006. — N4. — S.32 —38.

7. Analiz ustoychivosti mnogosvyaznoy sistemy upravleniya gazoturbinnym dvigatelem / B.G. Ilyasov, G.A. Saitova, E.A. KHalikova // Trudy konferentsii "Upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh" UTS-2010, 12 — 14 oktyabrya 2010 g., g. Sankt-Peterburg. — 2010. S. 35—38.

8. Ratushnyak, H.S. Tochnist regulyuvannya hidropryvoda stabilometra z korektuvalnym prystroyem / H.S. Ratushnyak, O.B. Voloshyn // Suchasni tekhnolohiyi, materialy I konstruktsiyi v budivnytstvi. — Vinnytsya: UNIVERSUM, 2010. — № 1. — S. 86—94.

9. Pat. 31167U Ukrayina, MPK G 01 N 3 / 10, E 02 D 1 / 02. Stabilometr / H.S. Ratushnyak, O.B. Voloshyn; zayavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskiy natsionalnyy tekhnichnyy universytet. — N u200714148; zayavl. 17.12.07; opubl. 25.03.08, Bul. N 6.

10. Pat. 31509U Ukrayina, MPK G 01 N 3 / 10, E 02 D 1 / 02. Stabilometr / O.B. Voloshyn; zayavnyk ta

patentovlasnyk Vinnytskiy natsionalnyy tekhnichnyy universytet. — N u200714158; zayavl. 17.12.07; opubl. 10.04.08, Bul. N 7.

11. Ratushnyak, H.S. Hidropryvod stabilometra z korektsiyeyu yoho dynamichnykh vlastyvostryey / H.S. Ratushnyak, O.B. Voloshyn // Suchasni tekhnolohiyi, materialy I konstruktsiyi v budivnytstvi. — Vinnytsya: UNIVERSUM — Vinnytsya. — 2007. — N 4. — S. 98—109.

12. Ratushnyak, H.S. Matematychna model roboty hidropryvodu stabilometra pry tsiklichnomu obyemnomu navantazheni zrazka gruntu / H.S. Ratushnyak, O.B. Voloshyn // Suchasni tekhnolohiyi, materialy I konstruktsiyi v budivnytstvi. — Vinnytsya: UNIVERSUM — Vinnytsya. — 2008. — N 5. — S. 85—95.

*Надійшла 10.04.2013 року*