

УДК 621.317

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОРІЄНТОВАНОГО КЕРНОВІДБІРНИКА

ПОНОМАРЬОВА О. А.<sup>1\*</sup> *к.т.н., доц.*,  
РИЖКОВ І. В.<sup>2</sup> *к.т.н., доц.*,  
ПОНОМАРЬОВ С. М.<sup>3</sup> *ас.*

<sup>1\*</sup> Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та систем, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-08-98, e-mail: [pricmech@mail.ru](mailto:pricmech@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-1254-4403

<sup>2</sup>Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та систем, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-08-98

<sup>3</sup>Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та систем, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-08-98

**Анотація. Мета.** Для кардинального розв'язку проблеми якісного й ефективного буравлення горизонтальних, багатозабійних і багатостовбурних свердловин необхідно: досліджувати гідродинаміку шару нафтових і газових покладів різних типів; досліджувати напружений стан гірських порід, що розкриваються свердловинами й механізм формування стовбура буровими інструментами різних типів; розробити науково обґрунтовану систему оптимального керування траєкторією буравлення для різних геологічних умов і способів буравлення; розробити ефективну технологію буравлення, розкриття шарів і кріплення. Орієнтований добір керна дозволяє одержати інформацію про тріщинуватість і розташування порід, що підстиляють, їхньої проникності і пористості. Метою даної роботи є розробка методики визначення кутів просторової орієнтації керна і його шарів у похило-спрямованих свердловинах, а також побудова математичної моделі орієнтованого керновідбірника. **Методика.** Інклінометр вимірює проекції векторів напруженості магнітного поля Землі й прискорення сили ваги на ортогональні вісі свердловинного снаряда за допомогою трьох ферозондів і акселерометрів для визначення магнітного азимута, зенітного й візирного кутів. Інклінометр дозволяє не тільки визначати просторове положення свердловини, але і положення різця, що наносить мітку на тілі керна. Це дає можливість при подальшому лабораторному дослідженні керна визначити просторове положення шарів і тріщин керна щодо векторів вільного падіння і напруженості магнітного поля Землі для відновлення просторової структури шарів породи, що оточує свердловину. **Результати.** Пропонується для визначення стану ґрунту під фундаментом будівельних споруджень використовувати орієнтований керновідбірник з автономним інклінометром. З використанням матриць направляючих косинусів отримані вираження для визначення просторового положення шарів керна. **Наукова новизна.** Новим у рішенні задачі визначення структури породи і підстильних шарів є включення до складу керновідбірника автономного інклінометра з електронною пам'яттю. **Практична значимість.** Використання сучасних засобів вимірювальної техніки дозволяє нам моделювати практично будь-які технічні процеси в електронному вигляді, тим самим заощаджуючи ресурси й час на реалізацію даних процесів. Здійснений розв'язок науково-технічного завдання – створення системи орієнтованого відбору керна в похило-спрямованих свердловинах, що має важливе народногосподарське значення в області підвищення ефективності видобутку нафти.

**Ключові слова:** орієнтований керновідбірник, автономний інклінометр, керн, математична модель, кути просторової орієнтації

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРИЕНТИРОВАННОГО КЕРНООТБОРНИКА

ПОНОМАРЕВА Е. А.<sup>1\*</sup> *к.т.н., доц.*,  
РЫЖКОВ И.В.<sup>2\*</sup> *к.т.н., доц.*,  
ПОНОМАРЕВ С. М.<sup>3\*</sup> *асс.*

<sup>1\*</sup> Кафедра информационно-измерительных технологий и систем, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-08-98, e-mail: [pricmech@mail.ru](mailto:pricmech@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-1254-4403

<sup>2\*</sup>Кафедра информационно-измерительных технологий и систем, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-08-98

<sup>3\*</sup> Кафедра информационно-измерительных технологий и систем, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-08-98

**Аннотация. Цель.** Для кардинального решения проблемы качественного и эффективного бурения горизонтальных, многозабойных и многоствольных скважин необходимо: исследовать гидродинамику пласта нефтяных и газовых залежей различных типов; исследовать напряженное состояние горных пород, вскрываемых скважинами и механизм формирования ствола породоразрушающими инструментами различных типов; разработать научно обоснованную систему оптимального управления траекторией бурения для различных геологических условий и способов бурения; разработать эффективную технологию бурения, вскрытия пластов и крепления. Для анализа возможностей нефтеотдачи скважины необходимо знать углы падения пласта и направление углов наклона относительно неподвижной системы координат. Ориентированный отбор керна позволяет получить информацию о трещиноватости и расположении подстилающих пород, их проницаемости и пористости. Целью данной работы является разработка методики определения углов пространственной ориентации керна и его пластов в наклонно-направленных буровых скважинах, а также построение математической модели ориентированного керноотборника. **Методика.** Инклинометр измеряет проекции векторов напряженности магнитного поля Земли и ускорение силы тяжести на ортогональные оси бурового снаряда с помощью трех феррозондов и акселерометров для определения магнитного азимута, зенитного и визирного углов. Инклинометр позволяет не только определять пространственное положение буровой скважины, но и положение резца, который наносит метку на теле керна. Это дает возможность при дальнейшем лабораторном исследовании керна определить пространственное положение пластов и трещин керна относительно векторов свободного падения и напряженности магнитного поля Земли для восстановления пространственной структуры пластов породы, которая окружает буровую скважину. **Результаты.** Предлагается для определения состояния грунта под фундаментом строительных сооружений использовать ориентированный керноотборник с автономным инклинометром. С использованием матриц направляющих косинусов получены выражения для определения пространственного положения пластов керна. **Научная новизна.** Новым в решении задачи определения структуры породы и подстилающих пластов есть включение в состав керноотборника автономного инклинометра с электронной памятью. **Практическая значимость.** Использование современных средств измерительной техники позволяет нам моделировать практически любые технические процессы в электронном виде, тем самым, экономя ресурсы и время на реализацию данных процессов. Осуществлено решение научно-технической задачи – создание системы ориентированного отбора керна в наклонно-направленных буровых скважинах, которое имеет важное народнохозяйственное значение в области повышения эффективности добычи нефти.

**Ключевые слова:** ориентированный керноотборник, автономный инклинометр, керн, математическая модель, углы пространственной ориентации

## CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF ORIENTED CORE SAMPLER

PONOMARYOVA E. A.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor*,  
RYZHKOV I.V.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor*,  
PONOMARYOV C. M.<sup>3\*</sup>, *Assistant Professor*

<sup>1\*</sup> Department of Informatively-measuring technologies and systems, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-08-98, e-mail: [pricmech@mail.ru](mailto:pricmech@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-1254-4403

<sup>2</sup> Department of Informatively-measuring technologies and systems, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-08-98

<sup>3</sup> Department of Informatively-measuring technologies and systems, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-08-98

**Abstract. Purpose.** For the cardinal decision of problem of the quality and effective boring drilling of horizontal, branch-hole and mining holes it is necessary: to investigate hydrodynamics of layer of petroleum and gas beds of different types; to investigate the tense state of the mountain breeds unsealed by mining holes and mechanism of forming of barrel the instruments of different types; to work out the scientifically reasonable system of optimal management the trajectory of the boring drilling for different geological terms and methods of the boring drilling; to work out effective technology of the boring drilling, dissection of layers and fastening. For the analysis of possibilities of mining hole it is necessary to know the angles of incidence of layer and direction of angles of slope of the relatively immobile system of coordinates. The oriented selection of core sampler allows to obtain information about location of laying breeds, their permeability and porosity. An aim hired is development of methodology of determination of corners of spatial orientation of core sampler and its layers in the obl-directed well sites mining holes, and also construction of mathematical model of oriented selection of core sampler. **Methodology.** An inclinometer measures the projections of vectors of tension magnetic-field of Earth and acceleration of gravity on the orthogonal axes of boring projectile by means of three ferroprobes and accelerometers for determination of magnetic azimuth zenithal and sight corners. An inclinometer allows not only to determine spatial position of drill hole but also position of chisel that inflicts a mark on the body of core sampler. It gives an opportunity at further laboratory research of core sampler to define spatial position of layers and cracks of core sampler in relation to the vectors of the free falling and tension of magnetic-field of Earth for renewal of spatial structure of layers of breed that surrounds a drill hole. **Findings.** It is suggested for determination of the state of soil under foundation of building to use oriented selection of core sampler with a stand-alone inclinometer. With the use of matrices of directing cosines got expression for determination of spatial position of layers of core sampler. **Originality.** New in the decision of task of determination of structure of breed and laying layers is including in the complement of selection of core sampler of stand-alone inclinometer with electronic memory. **Practical value.** The use of

modern tools of measuring technique allows to design practically any technical processes us in an electronic kind, saving resources and time the same on realization of these processes. The decision of scientific and technical task is carried out is creation of the system of the oriented selection of s core sampler in the obl-directed well sites mining holes, that has an important pertaining to national economy value in area of increase of efficiency of booty of oil.

**Keywords:** oriented core sampler, stand-alone inclinometer, stipple, mathematical model, corners of spatial orientation

**Вступ**

Рішення багатьох технічно складних задач, що поставлені однією галуззю народного господарства, найчастіше знаходять застосування й в інших галузях. Так, наприклад, рішення задачі дослідження шарів для аналізу можливостей нафтовіддачі свердловини може бути використане при дослідженні порід у районах будівництва і функціонування особливо відповідальних будівельних об'єктів (наприклад, атомних станцій). Для обох задач необхідно знати кути падіння шару і напрямки кутів нахилу щодо вертикалі. Для аналізу можливостей нафтовіддачі свердловини це дозволяє визначити місце розташування куполів і пасток, у яких зосереджена нафта, а також змоделювати розташування продуктивного шару. Для цілей будівництва це дозволить одержати найбільш точну картину стану ґрунту під фундаментом. Орієнтований добір керна дозволяє одержати інформацію про тріщинуватість і розташування порід, що підстиляють, їхньої проникності і пористості [1, 2, 3, 4, 5, 6].

**Мета**

Метою даної роботи є розробка методики визначення кутів просторової орієнтації керна і його шарів у похило-спрямованих свердловинах, а також побудова математичної моделі орієнтованого керновідбірника.

**Методика**

Відомі способи визначення положення шарів керна по його природній намагніченості [9], з використанням ординарних шарнірних відхилювачів [7, 8, 9], спосіб палеомагнітної орієнтації керна [6, 9]. Однак усі вони досить трудомісткі і не одержали широкого розповсюдження.

Новим у рішенні задачі визначення структури породи і підстильних шарів є включення до складу керновідбірника автономного інклінометра з електронною пам'яттю.

Інклінометр дозволяє не тільки визначити просторове положення свердловини, але і положення різця, що наносить мітку на тілі керна. Це дає можливість при подальшому лабораторному дослідженні керна визначити просторове положення шарів і тріщин керна щодо векторів вільного падіння і напруженості магнітного поля Землі для відновлення просторової структури шарів породи, що оточує свердловину.

Інклінометр розташовується усередині керноприймальної труби на амортизаторах, що дозволяють знизити вібраційні й ударні перевантаження, що виникають при буравленні.

Кінематична схема інклінометра представлена на рис. 1.

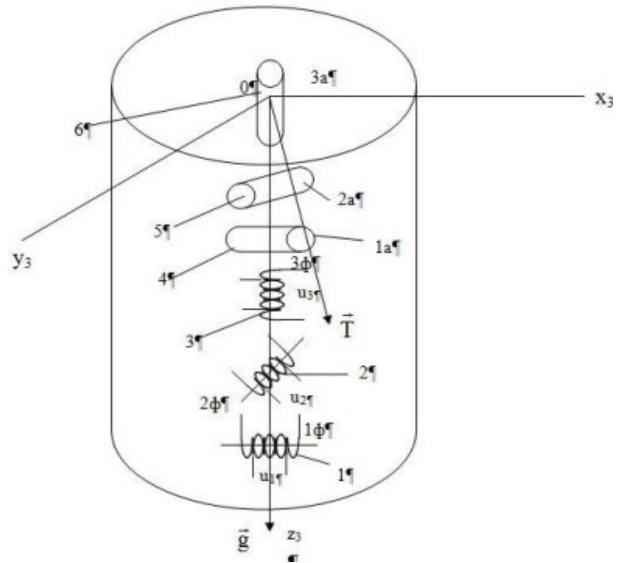


Рис. 1. Кінематична схема інклінометричного перетворювача: / Kinematics chart of inclinometer sensor:

1, 2, 3 – ферозонди блоку азимута; 4, 5, 6 – компенсаційні акселерометри; 7 – корпус датчиків інклінометра;  $\vec{T}$ ,  $\vec{g}$  – вектори напруженості магнітного поля Землі і прискорення вільного падіння / 1, 2, 3 –ferroprobes of block of azimuth; 4, 5, 6 –compensative accelerometers; 7 –corps of sensors of inclinometer;  $\vec{T}$ ,  $\vec{g}$  -vectors of tension of magnetic-field of Earth and acceleration of the freefalling

Інклінометр вимірює проєкції векторів напруженості магнітного поля Землі й прискорення сили ваги на ортогональні вісі свердловинного снаряда за допомогою трьох ферозондів і акселерометрів для визначення магнітного азимута, зенітного й візирного кутів. Первинні датчики – ферозонди й акселерометри не мають рухливих елементів, а тому мають високу надійність та віброударостійкість [3, 4, 7]. Споживана потужність свердловинної частини не перевищує 2 Вт. Діаметр свердловинного снаряда не перевищує 50 мм при довжині  $\leq 900$ мм.

Технічні характеристики автономного інклінометра наступні. Основна похибка виміру азимута в діапазоні  $0 \dots 360^\circ$  не більш  $\pm 3^\circ$ , основна похибка виміру зенітного кута в діапазоні  $0 \dots 90^\circ$  не

більш  $\pm 0,5^\circ$ . Основна похибка виміру візирного кута при нахилах  $\geq 5^\circ$  не більш  $\pm 3^\circ$ .

Основна наведена похибка виміру температури не більш 0,25 %. Основна наведена похибка виміру вібраційних перевантажень не більш 0,5 %. Час виміру одного параметра не більш 4 секунд. Час безперервної роботи автономного інклінометра не менш 10 годин. Робочий діапазон температур навколишнього середовища для свердловинного снаряда  $-10^\circ\text{C} \dots +90^\circ\text{C}$ . Максимальний гідростатичний тиск для свердловинного снаряда 40 Мпа. Вібро- та ударостійкість свердловинного снаряда не більш 50g.

Завдання побудови математичної моделі інклінометра полягає у визначенні кутів просторової орієнтації керновідбірника й підстильних шарів породи керна. А саме визначення зв'язку між «рухливою системою координат» керновідбірника й нерухливою системою координат  $O, \xi, \eta, \zeta$  пов'язаною із Землею, останнє дозволяє визначити орієнтацію керновідбірника в просторі.

Магніточутливі елементи й акселерометри нерухомо закріплені в тілі свердловинного снаряда й утворюють своїми осями чутливості ортогональну систему координат  $Ox_3Y_3Z_3$ . Таким чином, інклінометр вимірює проєкції векторів напруженості магнітного поля Землі і прискорення сили ваги на ортогональні осі свердловинного снаряда. Формули для визначення кутів просторової орієнтації  $\alpha, \theta, \varphi$ , приведені, наприклад у [4].

Позначимо  $Ox_4Y_4Z_4$  систему координат, зв'язану з корпусом керновідбірника. При цьому вісь  $Ox_4$  проходить через середину підстави різця керновідбірника, рис. 2.

Система  $Ox_4Y_4Z_4$  отримана із системи  $Ox_3Y_3Z_3$  поворотом на кут  $\sigma$ .

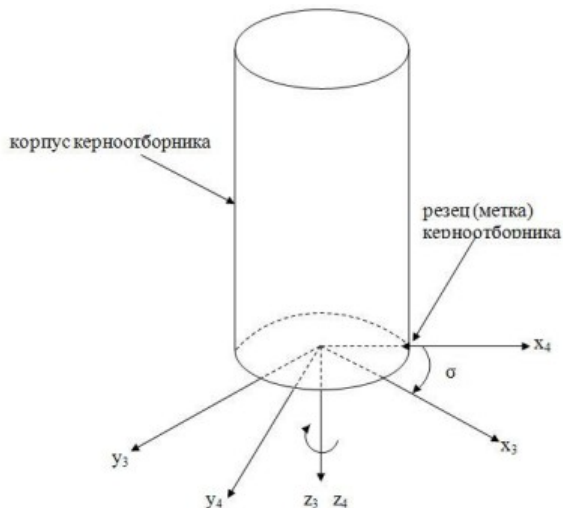


Рис. 2. Система координат, пов'язана з корпусом керновідбірника / System of coordinates, related to the corps of selection core sampler

Таким чином, відповідно до формул Ейлера, системи координат  $Ox_3Y_3Z_3$  і  $Ox_4Y_4Z_4$  зв'язані між собою співвідношеннями:

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma & 0 \\ \sin \sigma & \cos \sigma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & \sin \sigma & 0 \\ -\sin \sigma & \cos \sigma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

При доборі керна різець керновідбірника залишає на тілі керна слід у формі кривої L, рис 3. У такий спосіб точка M на кривій L задає положення рухливої системи координат  $Ox_4Y_4Z_4$ , жорстко зв'язаної з корпусом керновідбірника.

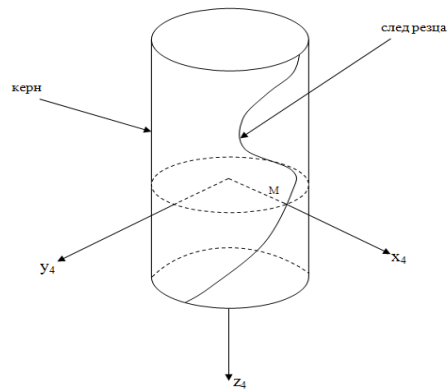


Рис. 3. Прив'язка рухливої системи координат до сліду, що залишає різець керновідбірника / Attachment of the movable system of coordinates is to track that abandons the chisel of selection core sampler

Нехай шар керна, що проходить через точку M, відтинає деякий еліпс P. Позначимо через  $\vec{n}$  одиничний вектор нормалі до площини шару P, а через  $\vec{a}$  – вектор одиничної довжини, що задає напрямок головної осі еліпса P, рис 4.

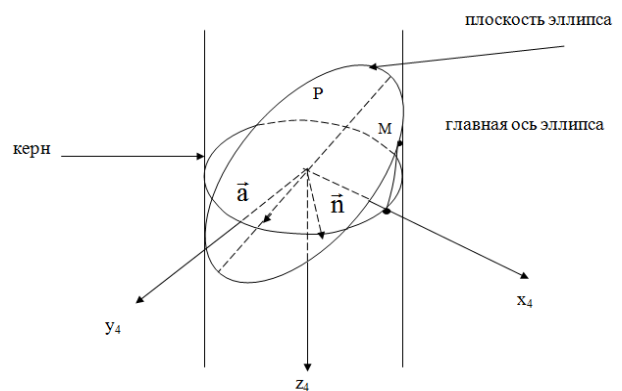


Рис. 4. Орієнтація шарів породи в системі координат, зв'язаної з корпусом керновідбірника / Orientation of layers of the breed in the system of coordinates, related to the corps of selection core sampler

Тоді задача просторової орієнтації шарів зводиться до визначення координат векторів  $\vec{n}$  і  $\vec{a}$  в

нерухомій, зв'язаної з Землею системі координат  $O\xi\eta\zeta$ .

Розглянемо нерухомий репер  $R_0(0, \xi, \eta, \zeta)$ , пов'язаний із Землею. При цьому точку  $0$  розташуємо в усті свердловини, вісь  $O\xi$  направимо по дотичній до магнітного меридіана й на північ,  $O\eta$  – по дотичній до паралелі на схід, а вісь  $O\zeta$  направимо по вертикалі устя й вниз.

Перехід від репера  $R_0$  до репера  $R_3$  може бути зроблений шляхом поворотів на кут азимута  $\alpha$ , зенітний кут  $\theta$  і візирний  $\varphi$ . Точніше, у результаті першого повороту ми одержуємо репер  $R_1(0, x_1, y_1, z_1)$ , після другого репер  $R_2(0, x_2, y_2, z_2)$ , а після третього репер  $R_3(0, x_3, y_3, z_3)$ . При цьому репер  $R_1$  виходить із  $R_0$  поворотом останнього навколо осі  $O\zeta$  на азимут  $\alpha$ ; репер  $R_2$  з репера  $R_1$  поворотом його навколо осі  $y_1$  на зенітний кут  $\theta$ , а  $R_3$  шляхом повороту репера  $R_2$  навколо осі  $z_2$  на кут  $\varphi$ .

Перехід від системи координат  $R_0(0, \xi, \eta, \zeta)$  до системи  $R_1(0, x_1, y_1, z_1)$  задається матрицею:

$$A_\alpha = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = A_\alpha \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix}, \quad (3)$$

від системи  $R_1(0, x_1, y_1, z_1)$  до системи  $R_2(0, x_2, y_2, z_2)$  матрицею:

$$A_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = A_\theta \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

а системи координат  $R_2(0, x_2, y_2, z_2)$  і  $R_3(0, x_3, y_3, z_3)$  зв'язані матрицею:

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = A_\varphi \cdot \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Таким чином, згідно (3) – (5) системи координат  $R_0(0, \xi, \eta, \zeta)$  і  $R_3(0, x_3, y_3, z_3)$  зв'язані формулою:

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = A_\varphi A_\theta A_\alpha \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} \quad (6)$$

Тепер через  $A_\sigma$  позначимо матрицю

$$A_\sigma = \begin{bmatrix} \cos\sigma & -\sin\sigma & 0 \\ \sin\sigma & \cos\sigma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Тоді з формул (1) і (7) одержуємо зв'язок між «рухливою» системою координат пов'язаною з корпусом керновідбірника  $R_4(0, x_4, y_4, z_4)$  та нерухомою системою координат  $R_0(0, \xi, \eta, \zeta)$ .

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} = A_\sigma A_\varphi A_\theta A_\alpha \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} \quad (8)$$

Вектора  $\vec{a}$  й  $\vec{n}$  у системі  $Ox_4y_4z_4$ , мають

$$\text{координати } \vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Підставивши їх у вираження (8), після деяких перетворень одержимо в розгорнутому виді формули для визначення просторового положення шарів породи:

$$\vec{n}_{R_0} = \begin{pmatrix} \cos\alpha \cos\theta \sin\beta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) - \sin\alpha \sin\beta \cos(\varphi - \sigma - \gamma) + \cos\alpha \sin\theta \cos\beta \\ \sin\alpha \cos\theta \sin\beta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) + \cos\alpha \sin\beta \cos(\varphi + \sigma - \gamma) + \sin\alpha \sin\theta \cos\beta \\ -\sin\theta \sin\beta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) + \cos\theta \cos\beta \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\vec{a}_{R_0} = \begin{pmatrix} \cos\alpha \cos\theta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) - \sin\alpha \cos\beta \cos(\varphi - \sigma - \gamma) - \cos\alpha \sin\theta \sin\beta \\ \sin\alpha \cos\theta \cos\beta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) + \cos\alpha \cos\beta \cos(\varphi - \sigma - \gamma) - \sin\alpha \sin\theta \sin\beta \\ -\sin\theta \cos\beta \sin(\varphi + \gamma - \sigma) - \cos\theta \sin\beta \end{pmatrix} \quad (10)$$

## Результати

Пропонується для визначення стану ґрунту під фундаментом будівельних споруджень використовувати орієнтований керновідбірник з автономним інклінометром.

З використанням матриць направляючих косинусів отримані вираження для визначення просторового положення шарів ядра.

Запропонований метод визначення орієнтації шарів породи дозволяє одержати інформацію про стан і властивості порід під фундаментом.

## Наукова новизна та практична значимість

Використання сучасних засобів вимірювальної техніки дозволяє нам моделювати практично будь-які технічні процеси в електронному вигляді, тим самим заощаджуючи ресурси й час на реалізацію даних процесів.

Здійснений розв'язок науково-технічного завдання – створення системи орієнтованого відбору ядра в похило-спрямованих свердловинах, що має важливе народногосподарське значення в області підвищення ефективності видобутку нафти.

## Висновки

З використанням теорії матриць розроблено методику визначення просторової орієнтації шарів породи ядра, узятого в похило-спрямованій

свердловині, на основі автономного забійного інклінометра із трьома ортогональними ферозондами та акселерометрами.

Запропоновані математичні моделі дозволяють із необхідної для практичних завдань точністю розробити раціональні алгоритми обчислення при

буравленні як просторового розташування пробуреної свердловини (магнітний азимут, зенітний кут), так і кутове положення шарів керна щодо векторів напруженості магнітного поля Землі й прискорення вільного падіння.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксельрод С. М. Современные проблемы определения положения скважин (по материалам американских публикаций) / С. М. Аксельрод // Каротажник. – 2007. – №1 (154). – С.104 – 137.
2. Блюменцев А. М. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин / А. М. Блюменцев, Г. А. Калистратов, В. П. Цирульников // Законодательная и прикладная метрология, 1993. – № 3. – С. 20 – 22.
3. Ковшов Г. Н. Инклинометры. (Основы теории и проектирования) / Ковшов Г.Н. Алимбеков Р.И., Жибер А.В. – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.
4. Ковшов Г. Н. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении / Г.Н. Ковшов, Г.Ю. Коловертнов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – 228с.
5. Нескоромных В. В. Направленное бурение и основа кернометрии / В. В. Нескоромных. – Инфра-М, 2015. – 336 с.
6. Повалихин А. С. Направленное бурение - основа совершенствования технологии строительства скважин и нефтедобычи / А.С. Повалихин, А.Г. Калинин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – №5. – С. 5.
7. Рыжков И. В. Определение углов пространственной ориентации керноотборника и слоев породы керна в наклонных скважинах / И.В. Рыжков, Е.А. Пономарева // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Стародубовские чтения 2012. – 2012. – №64. – С. 395 – 402.
8. Рыжков И. В. Инклинометр ориентированного керноотборника: математическая модель, конструкция, принцип действия / И.В. Рыжков, Е.А. Пономарева // Theoretical foundations of civil engineering. – Warsaw, 2012. – С. 367 –372.
9. Юшков А. С. Кернометрия / А. С. Юшков. – Москва: Недра, 1989. – 224с.

## REFERENCES

1. Akselrod S.M. *Sovremennyye problemy opredeleniya polozheniya skvazhin (po materialam amerikanskikh publikatsiy)* [Modern problems of position-finding of mining holes (on materials of the American publications)]. *Karotazhnik* [Logger]. 2007, Vol. 1, no 154, pp. 104 – 147. (in Russian).
2. Blyumentsev A.M., Kalistratov G.A. end Tsyruльников V.P. *Metrologicheskoe obespecheniye geofizicheskikh issledovaniy skvazhin* [Metrology providing of geophysical researches of mining holes]. *Zakonodatelnaya I prikladnaya metrologiya* [Legal and applied metrology]. 1993, Vol. 3, pp. 20 – 22. (in Russian).
3. Kovshov G.N., Alimbekov R.I. end Zhiber A.V. *Inklinometry (Osnovy teorii i proektirovaniya)* [Inclinometers. (Bases of theory and planning)]. Ufa: Gilem Publ., 1998, 380 p. (in Russian).
4. Kovshon G.N. end Kolovertnov G.Yu. *Pribory kontrolya prostranstvennoy orientatsii skvazhin pri bureanii* [Devices of control of spatial orientation of mining holes at the boring drilling]. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2001, 228 p. (in Russian).
5. Neskormnykh V.V. *Napravlennoye bureniye i osnova kernometrii* [Directional drilling and foundation measuring core]. *Infra-M Publ.*, 2015, 336 p. (in Russian).
6. Povalikhin A.S. end Kalinin A.G. *Napravlennoye bureniye – osnova sovershenstvovaniya tekhnologii stroitelstva skvazhin i nefte dobychi* [The directed boring drilling is basis of perfection of technology building of mining holes and oil production]. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin i nefte dobychi na sushe i na more* [Building of petroleum and gas mining holes on land and at the seaside]. 2003, Vol. 5, pp. 5. (in Russian).
7. Ryzhkov I.V. end Ponomaryeva E.A. *Opredeleniye uglov prostranstvennoy oriyentatsii kernootbornika i sloyev porody kerna v naklonnykh skvazhinakh* [Determination of corners of spatial orientation of selection stippler and layers of breed of stippler is in sloping mining holes]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinistroyeniye* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2012, no. 64, pp. 395 – 402. (in Ukrainian).
8. Ryzhkov I.V. end Ponomaryeva E.A. *Inklinometr oriyentirovannogo kernootbornika: matematicheskaya model, konstruktsiya, printsip deystviya* [Inclinometer of oriented selection of stippler: mathematical model, construction, principle of action]. *Theoretical foundations of civil engineering*. Warsaw, 2012, pp. 367 – 372. (in Poland).
9. Yushkov A.S. *Kernometriya* [Measuring core]. Moscow: Nedra Publ., 1989, 224 p. (in Russian).