

УДК 528.01/06

**К ВОПРОСУ ВЫБОРА ИСХОДНЫХ ДАТ ПОВТОРНЫХ
МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ
НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

¹Волков В.И., ²Волкова Т.Н., ¹Вершинина Ю.В.

¹*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: 9385228@gmail.com;*

²*Научно-производственное объединение «Энергогазизыскания», Санкт-Петербург*

Показано, что в настоящее время при постановке маркшейдерско-геодезических наблюдений за современными вертикальными движениями земной коры (СВДЗК) на территориях разрабатываемых нефтегазовых месторождений отсутствует научно-обоснованный подход к выбору начала координат (исходного геодезического знака), что исключает возможность получения достоверных, релевантных и репрезентативных сведений относительно количественных параметров техногенных сдвижений и деформаций земной коры и ее поверхности. Авторами разработана новая методика установления исходных дат для повторных наблюдений за природными и техногенными деформациями приповерхностных слоев земной коры, получившими развитие в результате эксплуатации месторождений углеводородного сырья. Предложен способ оценки устойчивости исходной геодезической основы, предусматривающий вычисление скоростей СДЗК и скоростей техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры с достаточной степенью надежности и достоверности.

Ключевые слова: современные вертикальные движения земной коры (СВДЗК), повторные маркшейдерско-геодезические наблюдения, «исходная» высотная геодезическая основа, тектонические движения, техногенные деформации земной поверхности, нефтегазовые месторождения

**THE SELECTION OF INITIAL DATES OF REPEATED
MINE SURVEYING AND GEODESIC OBSERVATIONS
ON GEODYNAMIC POLYGONS OF OIL AND GAS FIELDS**

¹Volkov V.I., ²Volkova T.N., ¹Vershinina Y.V.

¹*Saint-Petersburg State Architectural and Construction University,
St.-Petersburg, e-mail: 9385228@gmail.com;*

²*Science & Production Firm «Energogaziziskaniya» ltd., St.-Petersburg*

It is shown that there isn't the science-based approach of selection of origin of coordinates (an original geodesic sign) in mine surveying and geodesic observations of current vertical movements of the earth's crust (CMEC) in areas of developed oil and gas fields, that eliminates the possibility to obtain the reliable, relevant and representative information of the quantitative measurements of technogenic earth crust deformation and displacement. The new methodology of determination of the initial dates for repeated observations of natural and man-caused deformations of near-surface layers of the earth's crust which began to develop as a result of oil-and-gas-field operation is developed by the authors. The way of estimating stability of the original geodesic foundation is proposed. This method envisions the calculation of CMEC's velocity and the speed of man-caused deformations of near-surface layers of the earth's crust with a sufficient degree of reliability and validity.

Keywords: current vertical movements of the earth's crust (CMEC), repeated mine surveying and geodesic observations, the original geodesic foundation, tectonic movements, man-caused deformations of the earth surface, oil and gas fields

Одним из фундаментальных вопросов изучения современных движений земной коры (СДЗК) в региональном масштабе на техногенных геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений является выбор начала координат (исходного геодезического знака), относительно которого определяются кинематические характеристики эндогенных процессов и техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры. Классически [5, 6] исходный геодезический знак располагают за пределами горного отвода месторождения на расстоянии 2–3 км от его границ. Известно [1, 2], что основным требованием, предъявляемым к исходным геодезическим знакам, является сохранение ими стабильного положения в пространстве и во времени на

протяжении выполнения повторных маркшейдерско-геодезических наблюдений. Однако многочисленные исследования [7, 9] в области изучения современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) показывают, что земная поверхность практически повсеместно подвергается сложнотифференцированным в пространстве и во времени смещениям и деформациям, которые являются итогом совместного протекания в ее приповерхностных слоях эндогенных и экзогенных геомеханических процессов [2, 4, 10], что неизбежно приводит к дестабилизации геодезических знаков. Кроме этого, следует обратить внимание на то, что отбор углеводородов на разрабатываемых месторождениях приводит к перетоку подземных вод из приповерхностных

слоев земной коры, удаленных более чем на 2–3 км от границ горного отвода, которые вследствие изменения уровня подземных вод претерпевают деформации [10]. Следовательно, традиционный подход [5, 6] к выбору начала координат на техногенных геодинамических полигонах исключает возможность строгого решения задачи определения кинематических характеристик техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры и границ их проявления на земной поверхности.

Программно-целевой подход к изучению СДЗК и ее приповерхностных слоев на территориях нефтегазовых месторождений [3] предусматривает на контрольных кустах реперов наблюдательных систем геодинамических полигонов использование в качестве исходных геодезических знаков глубинные реперы (разведочные скважины, оборудованные под реперы), основания которых заложены в горные породы, расположенные ниже коллекторов, из которых производится отбор углеводородов. Таким образом, на месторождении имеется сеть исходных геодезических знаков, на устойчивость которых не влияют экзогенные природные и антропогенные факторы, однако их устойчивость нарушается под воздействием тектонических факторов. Поэтому нами предлагается на первом этапе обработки результатов повторных геодезических наблюдений оценить устойчивость глубинных (исходных) реперов по отношению к эндогенным факторам и определить скорости СВДЗК в пределах геодинамического полигона, которые в дальнейшем будут использоваться для вычисления кинематических характеристик техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры и ее поверхности с учетом тектонической составляющей дестабилизации опорного геодезического знака, выбранного в качестве исходного.

Для этого при обработке результатов повторных геодезических наблюдений, в частности, повторного нивелирования, принимая поочередно за исходный все опорные i -е реперы геодинамического полигона вычисляют отметки j -х остальных, после сопоставления которых в двух циклах повторных измерений получают n рядов расхождений отметок Δ_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1 \dots n$). Полученные расхождения сводят в квадратную матрицу:

$$Bn = \begin{pmatrix} 0 & \Delta_{12} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & 0 & \Delta_{23} & \dots & \Delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{n1} & \Delta_{n2} & \Delta_{n3} & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Сумму столбцов S_j матрицы Bn делят на n и получают средние смещения j -х реперов относительно всех остальных нивелирных знаков за период времени τ между циклами повторных наблюдений, обусловленных тектоническими факторами. Средняя «точечная» скорость вертикальных движений земной коры на участке между j и $j + 1$ знаками может быть получена из выражения

$$V = \frac{S_{j+1} - S_j}{\tau}. \quad (1)$$

Скорости СВДЗК для районов закладки опорных геодезических знаков также можно определить по картам СВДЗК [9], которые составлены для европейской территории России.

Для определения скоростей СВДЗК на заданный район по картам СВДЗК выполняется интерполирование скоростей, представленных на картах СВДЗК изолиниями, и оценка погрешности площадного интерполирования по точечным значениям скоростей.

При интерполировании скоростей СВДЗК по площади P задаются структурой СВДЗК и точностью получения скоростей СВДЗК, сведения о которой представлены на картах СВДЗК. Интерполяционные веса определяются на основании сведений о статистической структуре СВДЗК и точности получения скоростей СВДЗК таким образом, чтобы средняя квадратическая погрешность нивелирования была минимальной по сравнению с ее значениями при любом другом выборе весов.

Принимая гипотезу с нулевым значением скорости СВДЗК в $n = 1 \dots i$ точках (x_i, y_i) , считаем вычисленные по результатам повторного нивелирования скорости СВДЗК V_i отклонениями от истинных значений. Тогда справедливо следующее уравнение:

$$V_{cp} = \frac{1}{P} \iint_{(P)} V(x, y) dx dy \quad (2)$$

или в линейном виде

$$V_{cp} = \sum_{i=1}^n a_i v_i, \quad (3)$$

где a_i – веса, определяемые из условия, чтобы средний квадрат погрешности замены величины (2) величиной (3) с учетом ошибок нивелирования δ_i был минимальным:

$$M = \left[\sum_{i=1}^n a_i (v_i + \delta_i) \frac{1}{P} \iint_{(P)} V(x, y) dx dy \right]^2. \quad (4)$$

В формуле (4) черта сверху указывает на осреднение, осуществляемое, строго говоря, в вероятном смысле, но на некоторой ограниченной выборке.

Используя структурную функцию и принимая во внимание свойства случайных ошибок:

а) ошибки δ_v в различных точках не коррелированы ни с истинными значениями величин скоростей

$$\delta_v(x_1, y_1) v(x_2, y_2) = 0; \quad (5)$$

б) ни между собой

$$\delta_v(x_1, y_1) \delta_v(x_2, y_2) = \begin{cases} 0 \\ m_v^2(x_1, y_1) \quad \text{при } d_{12} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где m_v^2 – средняя квадратическая погрешность определения скорости СВДЗК; d_{12} – расстояние между точками 1 и 2.

Определяем случайную ошибку измерения скоростей СВДЗК методами повторных геодезических наблюдений. Такое обобщение допустимо, поскольку мы имеем уравненные значения скоростей СВДЗК, представленных на картах СВДЗК.

Представим значения скоростей в точках (x_1, y_1) для конкретного региона в виде

последовательного ряда измерений. Принимая наряду с однородностью и изотропией СВДЗК для платформенного района, что не противоречит природе тектонических движений земной коры, условие зависимости m_v от координат, можем определить значения m_v в каждой из точек (x_1, y_1) . Структурная функция скоростей v по двум последовательно расположенным точкам в ряде измерений представляют собой средний квадрат разности

$$Sv(x_1, y_1; x_1 + 1, y_1 + 1) = \left[v_i - \frac{[V]}{n} \left(v_i + 1 - \frac{[V]}{n} \right) \right]^2. \quad (7)$$

Структурная функция Sv завышена на сумму средних квадратов ошибок в точках.

Это верно для всех расстояний d , кроме $d = 0$, при котором функция $Sv = 0$.

$$Sv(x_1, y_1; x_1 + 1, y_1 + 1) = \begin{cases} Sv(x_1, y_1; x_1 + 1, y_1 + 1) + m_v^2(x_1, y_1) + m_v^2(x_1 + 1, y_1 + 1) \\ Sv(x_1, y_1; x_1 + 1, y_1 + 1) = 0 \quad \text{при } d_{i+1} = 0 \end{cases}$$

Принимая во внимание данное свойство структурной функции, экстраполируя функцию Sv к $d_i + 1$, получаем $2m_v^2$.

Определение ковариационной функции и свойства (5) и (6) позволяют записать

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j t_v(x_i, y_i, x_j, y_j) + \sum_{i=1}^n a_i m_v^2(x_i, y_i) - 2 \sum_{i=1}^n a_i t_v(x_i, y_i, x_o, y_o) + Dv(x_o, y_o) \quad (8)$$

Приняв обозначения:
Ковариационная функция

и дисперсия среднего значения скоростей СВДЗК по площади P через

$$t_v(x_i, y_i, x_j, y_j) = t_{ij} \\ m_v^2(x_i, y_i) = m^2$$

$$E = D_v(x_o, y_o) = \left[\frac{1}{P} \iint_{(P)} v(x, y) dx dy \right]^2$$

перепишем уравнение (8)

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j t_{ij} + \sum_{i=1}^n a_i^2 m^2 - 2 \sum_{i=1}^n a_i k_i + E, \quad (9)$$

где k_i – значение взаимной ковариационной функции, описывающей статистическую связь точечных значений с осредненной по площади величиной.

Веса a_i определяются из условий минимума M . Для этого приравниваются производные от M по весам a_i

к нулю. Получается система n линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} a_j + m_i^2 a_i = k_i, \quad (i = 1 \dots n), \quad (10)$$

где $k_i = v(x_i, y_i) \frac{1}{P} \iint_{(P)} v(x, y) dx dy. \quad (11)$

Согласно изложенному выше,

$$E = \frac{1}{P} \iint_{(P)} \iint_{(P)} t(x, y, x', y') dx dy dx' dy'; \quad (12)$$

$$k_i = \frac{1}{P} \iint_{(S)} t(x, y, x_i, y_i) dx dy. \quad (13)$$

Принимая однородность и изотропность для ковариационной функции и разбивая район на прямоугольники (квадраты) в формулах (2), (12) и (13) без труда вычисляется интеграл при определении величин V_{cp} , E и k_i с использованием линейных алгебраических уравнений (3), (9) и (10). При этом следует иметь в виду, что отношение $k/t = R$ представляет собой коэффициент корреляции, характеризующий связь между значениями V_{cp} скоростей СВДЗК. По коэффициентам корреляции R можно судить о региональном поднятии (опускании) групп реперов. Следовательно, данная методика обработки результатов повторного нивелирования также может успешно применяться для анализа устойчивости реперов исходной основы в условиях воздействия на них как эндогенных, так и экзогенных геомеханических процессов.

Список литературы

1. Буланже Ю.Д. К вопросу об исследованиях современных движений земной коры // Современные движения земной коры: морфоструктура, разломы, сейсмичность. – М.: Наука, 1987. – С. 6–9.
2. Волков В.И. Проблемы изучения СДЗК // Инженерно-геодезические работы в строительстве. – М.: АН СССР, 1991. – С. 3–9.
3. Волков В.И., Волкова Т.Н., Вершинина Ю.В. Программно-целевой подход к постановке наблюдений за современными движениями земной поверхности на нефтегазовых месторождениях // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 1. – С. 45–48.
4. Волков В.И., Вершинина Ю.В. К вопросу об исследованиях кинематики приповерхностных слоев земной коры // Инженерно-экологические системы: материалы междунар. научн.-практич. конф. (СПб, 10-12 октября 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 194–198.
5. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2004. – 244 с.
6. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 120 с.

7. Кафтан В.И., Серебрякова Л.И. Современные движения земной коры: Геодезия и аэросъемка, т.28 // Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. – М., 1990. – 151 с.

8. Научно-технический сборник по геодезии. Серебрякова Л.И. Геодинамические исследования. – М.: ФГУП «ЦНИИГАиК», 2011. – 150 с.

9. Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. – М.: Наука, 1980. – 200 с.

10. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве: учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1981. – 317 с.

References

1. Bulanzhe Ju.D. K voprosu ob issledovaniyah sovremennykh dvizhenij zemnoj kory // Sovremennye dvizhenija zemnoj kory: Morfostruktura, razlomy, sejsmichnost'. M.: Nauka, 1987. pp. 6–9.
2. Volkov V.I. Problemy izuchenija SDZK // Inzhenerno-geodezicheskie raboty v stroitel'stve. M.: AN SSSR, 1991. pp. 3–9.
3. Volkov V.I., Volkova T.N., Vershinina Ju.V. Programmo-celevoj podhod k postanovke nabljudenij za sovremennymi dvizhenijami zemnoj poverhnosti na neftegazovykh mestorozhdenijah // Markshejderskij vestnik. 2013. no. 1. pp. 45–48.
4. Volkov V.I., Vershinina Ju.V. K voprosu ob issledovaniyah kinematiki pripoverhnostnykh sloev zemnoj kory // Inzhenerno-jeologicheskie sistemy: materialy mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. (SPb, 10-12 oktjabrja 2012 g.). SPb., 2012. pp. 194–198.
5. Instrukcija po nivelirovaniju I, II, III i IV klassov. M.: Kartgeocentr-Geodezizdat, 2004. 244 p.
6. Instrukcija po proizvodstvu markshejderskih rabot (RD 07-603-03). M.: GUP «NTC «Promyshlennaja bezopasnost'», 2003. 120 p.
7. Kaftan V.I., Serebrjakova L.I. Sovremennye dvizhenija zemnoj kory: Geodezija i ajeros'emka, t.28 // Itogi nauki i tehniki. VINITI AN SSSR. M., 1990. 151 p.
8. Nauchno-tehnicheskij sbornik po geodezii. Serebrjakova L.I. Geodinamicheskie issledovanija. M.: FGUP «CNIIGAiK», 2011. 150 p.
9. Sovremennye dvizhenija zemnoj kory. Teorija, metody, prognoz. Rezul'taty issledovanij po mezhdunarodnym geofizicheskim proektam. M.: Nauka, 1980. 200 s.
10. Cytovich N.A., Ter-Martirosjan Z.G. Osnovy prikladnoj geomehaniki v stroitel'stve: ucheb. posobie. M.: Vyssh. shkola, 1981. 317 p.

Рецензенты:

Волков С.А., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург;

Елистратов В.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.