Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г В. Плеханова, т. LII, вып. 3, 1974 г.

К ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСИ БУРОВОЙ СКВАЖИНЫ

М. К. Морозов, В. Г Черничин

Вопросы расчета координат точек оси буровой скважины и точности определения ее пространственного положения изложены в работах А. М. Журавского и А. А. Кржижановской [1, 2].

Определение погрешностей, связанных с применением приближенных расчетных формул, основано на следующем. Для нахождения пространственного положения точек оси буровой скважины обычно выбирают прямоугольную систему координат с началом в устье скважины и осью OZ, направленной вертикалью вниз. В этом случае координаты произвольной точки $M(x, y, z)$ оси скважины

$$x = \int_0^s \cos\alpha\, ds, \quad y = \int_0^s \cos\beta\, ds, \quad z = \int_0^s \cos\gamma\, ds, \tag{1}$$

где s — длина дуги OM оси скважины; α, β и γ — углы, образуемые касательной к оси скважины в точке M с положительным направлением координатных осей. Если обозначить

$$u = \cos\alpha, \quad v = \cos\beta, \quad w = \cos\gamma,$$

то формулы (1) примут вид

$$x = \int_0^s u\, ds, \quad y = \int_0^s v\, ds, \quad z = \int_0^s w\, ds, \tag{2}$$

Так как измерения производятся в отдельных точках скважины, то пространственное положение оси скважины определяется последовательным вычислением координат точек $M_i(x_i, y_i, z_i)$ оси скважины

$$x_i = \int_0^{s_i} u\, ds, \quad y_i = \int_0^{s_i} v\, ds, \quad z_i = \int_0^{s_i} w\, ds. \tag{3}$$

---

[1] А. М. Журавский. Определение пространственного положения буровой скважины по данным измерений. Зап. ЛГИ, т. XLI, вып. 2, 1961.

[2] А. М. Журавский, А. А. Кржижановская. О точности определения оси буровой скважины по ее наклону и азимуту в отдельных точках. Зап. ЛГИ, т. L, вып. 2, 1966.

Применяя к интегралам методы численного интегрирования при $\Delta s_i = s_{i+1} - s_i = h$ $(i = 0, 1, 2, \ldots)$, найдем

$$\begin{aligned} x_i &= X(u_0, u_1, \ldots u_i)\, h + R_{x_i}; \\ y_i &= Y(v_0, v_1, \ldots v_i)\, h + R_{y_i}; \\ z_i &= Z(w_0, w_1, \ldots w_i)\, h + R_{z_i}. \end{aligned} \tag{4}$$

Отсюда приближенные формулы

$$\begin{aligned} x_i &\approx X(u_0, u_1, \ldots, u_i)\, h; \\ y_i &\approx Y(v_0, v_1, \ldots v_i)\, h; \\ z_i &\approx Z(w_0, w_1, \ldots w_i)\, h. \end{aligned} \tag{5}$$

Координаты точек $M_i(x_i, y_i, z_i)$, рассчитанные по формулам (5), будут содержать погрешности, вызываемые погрешностями измерений и погрешностями формул численного интегрирования. Если обозначить максимальные абсолютные величины ошибок координат точки $M_i(x_i, y_i, z_i)$ через Δ_{x_i}, Δ_{y_i} и Δ_{z_i}, а их составляющие соответственно через $\Delta_{x_i}^{(1)}$, $\Delta_{y_i}^{(1)}$, $\Delta_{z_i}^{(1)}$ и

$$\Delta_{x_i}^{(2)}, \quad \Delta_{y_i}^{(2)}, \quad \Delta_{z_i}^{(2)},$$

то

$$\Delta_{x_i} = \Delta_{x_i}^{(1)} + \Delta_{x_i}^{(2)}, \quad \Delta_{y_i} = \Delta_{y_i}^{(1)} + \Delta_{y_i}^{(2)}, \quad \Delta_{z_i} = \Delta_{z_i}^{(1)} + \Delta_{z_i}^{(2)}.$$

Ошибки $\Delta_{x_i}^{(2)}$, $\Delta_{y_i}^{(2)}$ и $\Delta_{z_i}^{(2)}$, вызываемые погрешностями формул численного интегрирования, получаются в результате отбрасывания остаточных членов в формулах (4), т. е.

$$\Delta_{x_i}^{(2)} = R_{x_i}, \quad \Delta_{y_i}^{(2)} = R_{y_i}, \quad \Delta_{z_i}^{(2)} = R_{z_i}. \tag{6}$$

Другими словами, приближенность формул (5) вызывается неполнотой информации о направлении оси скважины, так как произведенные измерения дают сведения о направлении оси скважин лишь в ряде отдельных точек, принимаемых в расчет при численном интегрировании. Исходя из случайного характера этих ошибок, для них получаются следующие оценки:

$$\begin{aligned} \Delta_{x_i}^{(2)} &= \left| M_{R x_i} \right| + 3\sigma_{R x_i}; \\ \Delta_{y_i}^{(2)} &= \left| M_{R y_i} \right| + 3\sigma_{R y_i}; \\ \Delta_{z_i}^{(2)} &= \left| M_{R z_i} \right| + 3\sigma_{R z_i}, \end{aligned}$$

где M_{Rx_i}, M_{Ry_i}, M_{Rz_i} — математические ожидания, а σ_{Rx_i}, σ_{Ry_i}, σ_{Rz_i} — стандартные отклонения остаточных членов формул (4).

Для оценки числовых характеристик распределения R_{x_i}, R_{y_i} и R_{z_i} используется сферическое изображение $m(u, v, w)$ точек $M(x, y, z)$ оси скважины на сферу единичного радиуса с центром в точке O, совпадающей с устьем скважины.

По выполненным измерениям можно получить лишь ряд отдельных точек сферического изображения оси скважины, а не всю кривую. Положение сферического изображения оси скважины между его двумя последовательными точками, соответствующими точкам оси, в которых были сделаны измерения, остается неопределенным. Конечно, не любая кривая, лежащая на поверхности сферы и соединяющая две указанные точки сферического изображения оси скважины, может служить

сферическим изображением последней. Принимается, что возможными сферическими изображениями дуги оси скважины могут быть дуги Г, располагающиеся на поверхности меньшего сегмента сферы, отсекаемого от нее плоскостью, проходящей через пару последовательных точек сферического изображения m_k и m_{k+1} и перпендикулярной к плоскости, проходящей через эти точки и центр сферы.

Тогда числовые характеристики распределения остаточных членов R_{x_i}, R_{y_i} и R_{z_i} можно оценить, рассматривая распределение точки $M(U, V, W)$

$$U = \int_{\Gamma} p(u, v, w)\, u\, d\sigma;$$

$$V = \int_{\Gamma} p(u, v, w)\, v\, d\sigma; \tag{7}$$

$$W = \int_{\Gamma} p(u, v, w)\, w\, d\sigma \tag{8}$$

по меньшему сегменту сферы единичного радиуса (область D).

Так как данные о законе распределения $p(u, v, w)$ точки $M(U, V, W)$ отсутствуют, то принимается равномерное распределение $M(U, V, W)$ в области D.

При этих допущениях и расчете координат, например, по формулам трапеций

$$\begin{aligned} x_i &\approx \frac{h}{2}(u_0 + 2u_1 + \quad + 2u_{i-1} + u_i); \\ y_i &\approx \frac{h}{2}(v_0 + 2v_1 + \quad + 2v_{i-1} + v_i); \\ z_i &\approx \frac{h}{2}(w_0 + 2w_1 + \quad + 2w_{i-1} + w_i) \end{aligned} \tag{9}$$

получаются следующие погрешности $\Delta^{(2)}_{x_i}$, $\Delta^{(2)}_{y_i}$, $\Delta^{(2)}_{z_i}$:

$$\begin{aligned} \Delta^{(2)}_{x_i} &= \frac{h}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\sum_{k=0}^{i-1}[(v_{k+1}w_k - v_k w_{k+1})^2 + (u_{k+1} - u_k)^2]}; \\ \Delta^{(2)}_{y_i} &= \frac{h}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\sum_{k=0}^{i-1}[(w_{k+1}u_k - w_k u_{k+1})^2 + (v_{k+1} - v_k)^2]}; \\ \Delta^{(2)}_{z_i} &= \frac{h}{2}\sqrt{\frac{3}{2}\sum_{k=0}^{i-1}[(u_{k+1}v_k - u_k v_{k+1})^2 + (w_{k+1} - w_k)^2]}. \end{aligned} \tag{10}$$

Искривление скважины в процессе ее бурения определяется обстановкой буровых работ: характером и геометрией проходимых пород, буровым инструментом и т. п. Поэтому приведенные допущения в отношении возможного сферического изображения оси скважины между двумя последовательными базовыми точками в виде дуги меньшего сегмента единичной сферы, а также в отношении равномерного распределения точек $M(U, V, W)$ в пределах того же сегмента могут существенно нарушаться. Геологическая и техническая обстановка бурения определяет большую или меньшую степень стабильности искривления скважины от одной точки замера к другой. В первом случае, очевидно, будут преобладать величины $|M_{R_{x_i}}|$, $|M_{R_{y_i}}|$ и $|M_{R_{z_i}}|$ над $\sigma_{R_{x_i}}$, $\sigma_{R_{y_i}}$ и $\sigma_{R_{z_i}}$. Во втором случае могут быть значительными характеристики разброса $\sigma_{R_{x_i}}$, $\sigma_{R_{y_i}}$ и $\sigma_{R_{z_i}}$. Так как выведенные оценки для $\Delta^{(2)}_{x_i}$, $\Delta^{(2)}_{y_i}$ и $\Delta^{(2)}_{z_i}$

зависят от данных замеров во всех точках скважины, то они косвенно учитывают степень стабильности ее искривления. Чтобы точнее учесть геологическую и техническую обстановку бурения, можно ввести некоторый поправочный коэффициент λ, значение которого желательно определить по опытным данным для конкретных условий бурения. Тогда формулы (10) примут вид

$$\Delta_{x_i}^{(2)} = \lambda \frac{h}{2} \sqrt{\frac{3}{2} \sum_{k=0}^{i-1} [(v_{k+1}w_k - v_k w_{k+1})^2 + (u_{k+1} - u_k)^2]};$$

$$\Delta_{y_i}^{(2)} = \lambda \frac{h}{2} \sqrt{\frac{3}{2} \sum_{k=0}^{i-1} [(w_{k+1}u_k - w_k u_{k+1})^2 + (v_{k+1} - v_k)^2]}; \qquad (11)$$

$$\Delta_{z_i}^{(2)} = \lambda \frac{h}{2} \sqrt{\frac{3}{2} \sum_{k=0}^{i-1} [(u_{k+1}v_k - u_k v_{k+1})^2 + (w_{k+1} - w_k)^2]}.$$