УДК 622.243.27

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСКРИВЛЕНИЕМ НАКЛОННОЙ СКВАЖИНЫ И РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ТРАССЫ СКВАЖИНЫ

OPERATIONAL CONTROL OF DEVIATED WELL AND DEVELOPMENT OF CRITERIA AFFECTING THE QUALITY OF THE WELL TRAJECTORY

Меджидова Афаг Нурага гызы
докторант,
НИИ Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия
elena_drill@mail.ru

Аннотация. Наклонно-направленное бурение является ключевой технологией разработки ресурсов нефти и газа в глубоких пластах.
В настоящее время все еще остро стоит вопрос оперативного управления искривлением наклонных скважин. Особенно это важно для наклонных скважин, бурящихся на морских месторождениях с ограниченной площади морских платформ.
Недостатком наклонно-направленного бурения является более высокая стоимость, но преимущество заключается в том, что затраты могут быть сведены к минимуму, при этом намеченные цели могут быть достигнуты. Важным фактором при бурении наклонных скважин является качество трассы скважины. Под этим подразумевается наиболее полное совпадение фактической траектории скважины с ее проектным профилем.
Целью настоящего исследования является представление расчетов траектории скважины и разработка критериев для минимальной длины бурения этих скважин.

Ключевые слова: наклонная скважина, трасса скважины, управление, качество трассы, критерии качества.

Majidova Afag Nuragha
Doctoral Student,
Research Institute Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry
elena_drill@mail.ru

Annotation. At present, the issue of operational control of deviated wells is still acute. This is especially important for inclined wells drilled in offshore fields from a limited area of offshore platforms.
The disadvantage of directional drilling is the higher cost, but the advantage is that the costs can be kept to a minimum while the intended targets can be achieved. An important factor in the drilling of deviated wells is the quality of the well trajectory. This means the most complete match between the actual well trajectory and its design profile.
The purpose of this study is to present well trajectory calculations and develop criteria for the minimum drilling length of these wells.

Keywords: deviated well, well route, control, route quality, quality criteria.

Известно, что по составленному проекту наклонная скважина должна проводиться по одной вертикальной плоскости (Z_0ND) с отклонением от забоя на расстоянии OD (рис. 1).

В процессе внедрения наклонно-направленных скважин под влиянием геологических, технико-технологических факторов азимут часто меняется и в результате ствол скважины превращается в пространственную кривую (OABM) и отклоняется от проектного профиля. Чтобы повернуть ствол скважины в проектный азимут и попасть в указанный забой (точка D) требуется дополнительное время, затраты и имущество, которые отрицательно влияют на экономику, что увеличивает дополнительные затраты на внедрение скважины.

Авторами [1–4] для улучшения качества искривления ствола наклонных скважин предлагается ($К_1$) критерий качества:

$$К = \frac{h_i \cos \psi_i}{S_i}, \quad (1)$$

где $S_i = \sum_{i=1}^{i} \Delta l_i \sin\alpha_i$; Δl_i – длина инклинометрических замеров; α_i – на интервале i – средний зенитный угол; ψ_i – угол в интервале i между линиями фактического и проектного отклонений.

Как видно из рисунка 1, для оценки качества искривления оси ствола используется вертикальная проекция скважины. Для уменьшения расчетной погрешности критерия качества необходимо использовать вертикальную и горизонтальную проекции скважины. В этом случае можно записать следующее выражение:

$$к = к_1 \cdot к_2 \cdot ...., \quad (2)$$

где $к_1$, $к_2$ – критерии качества, характеризующие соответственно горизонтальную и вертикальную проекции ствола скважины.

На основании этих проекций (рис. 1) можно записать следующее выражение:

$$k_1 = \frac{h_i \cos\psi_i}{\Delta S_i + S}, \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{L_{Li}}{L_i + L_{xi}}, \quad (4)$$

где $s = |x_i|$; x_i – удаленное расстояние от оси OY забоя скважины (точка M); L_i и L_{xi} – длина фактического и проектного профиля наклонной скважины по вертикальному направлению на глубине z_i, например в точке $M(x_i, y_i, z_i)$. На глубине $L_{xi} - z_i$, которой соответствует отклонение ($Y_{Li} = z_i h_0$) и равно расстоянию между точками $N(z_i h_0)$ и M.

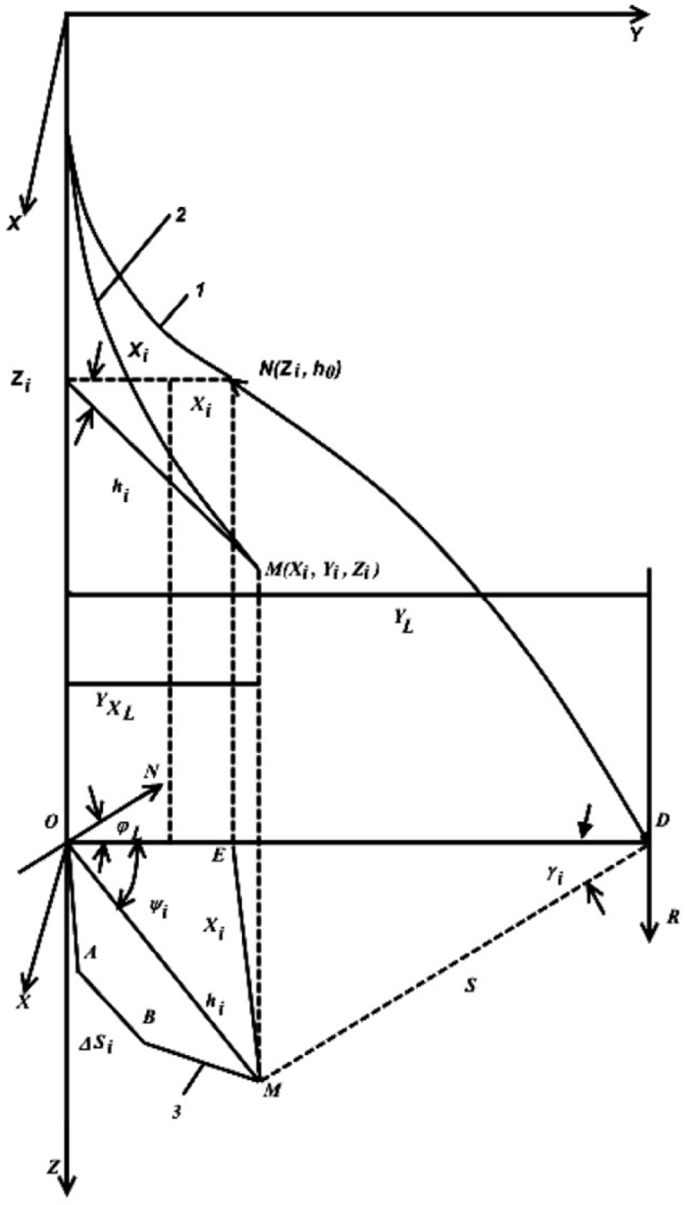

Рисунок 1 – Схема определения коэффициента качества и регулирования трассы скважины:
1, 2 – проектные и фактические трассы ствола скважины,
3 – горизонтальные проекции ствола

Из ΔMNz_i (рис. 1) по теореме косинусов можно написать:

$$L_{xi} = \sqrt{h_i^2 + y_{Li}^2 - 2h_i y_{Li}\cos\psi_i}.$$

С другой стороны, L_{xi} можно определить по более простой формуле:

$$L_{xi} = \sqrt{(y_{Li} - y_i)^2 + x_i^2}\,. \quad (5)$$

Подставив значения L_{xi} в формулу, получим:

$$k_2 = \frac{L_{Li}}{L_i + \sqrt{(y_{Li} - y_i)^2 + x_i^2}}. \quad (6)$$

Из треугольника ΔЕМО (рис. 1) параметры h_i, ψ_i, γ_i можно определить по следующим формулам:

$$h_i = \frac{y_L}{\cos\psi_i + \frac{\cos\psi_i}{tg\gamma_i}}, \quad (7)$$

$$\psi_i = arctg\frac{x_i}{y_i}, \quad (8)$$

$$\gamma_i = arctg\frac{x_i}{y_L - y_i}, \quad (9)$$

Совместно решая уравнения (2), (6) и (9), получим:

$$k_1 = \frac{y_L}{(S_i + S)(1 + \frac{tg\psi_i}{tg\gamma_i})}, \quad (10)$$

$$k = \frac{y_L - L_{Li}}{(S_i + S)\left(\frac{tg\psi_i}{tg\gamma_i}\right)L_i + \sqrt{x_i^2 + (y_{Li} - y_i)^2}}. \quad (11)$$

Координаты пространственного искривления ствола скважины x_i, y_i, z_i определяются по известным формулам работы [1]:

$$\left.\begin{aligned} x_i &= \sum_{i=1}^{n} \Delta L_i \sin\alpha_i \Delta\varphi_i \\ y_i &= \sum_{i=1}^{n} \Delta L_i \sin\alpha_i \Delta\varphi_i \\ z_i &= \sum_{n=1}^{n} z_0 \sum_{i=1}^{n} \Delta L_i \cos\alpha_i \end{aligned}\right\}, \quad (12)$$

где $\Delta\varphi_i = \varphi_L - \varphi_i$; φ_L – проектный азимут скважины;

φ_i и α_i – соответственно средние значения азимута и зенитного угла в интервале ΔL_i.

Из рисунке 1 видно, что при бурении с увеличением значения x_i забой скважины удаляется от проектного. Поэтому значения коэффициента k_s должны быть предельными и граничными. В процессе оперативного управления, принимая в формуле (11) $k = k_s$, получим:

$$s = |x_i| = R;\ L_{Li} = L_i;\ y_i = \frac{R}{tg\psi_i};\ s_i = \frac{R}{\sin\psi};\ \psi_i = \psi_g = 30^0 \div 45^0.$$

Здесь, ψ – угол входа в коридор; R – допустимый радиус удаления от фактического забоя скважины.

Если $k \le k_s$, тогда необходимо регулирование азимута и зенитного угла. Отметим, что y_i в направлении проектного азимута характеризует отклонение, а $y_L - y_i$ – характеризует изменение расстояния между проектом и фактическим забоем скважины. Эти параметры регулируются изменением зенитного угла ствола.

Проведенные расчеты с выражением (10) показывают, что при $s = 0$, $\psi_i = 0$, $s_i = y_i$, тогда $к = 1$.

Во всех случаях, если ствол скважины принимает форму пространственной кривой, тогда $к < 1$.

Если же азимут скважины поворачивается против проектного азимута ($\varphi_L = \varphi_L + 180^0$), тогда $к = -1$.

Таким образом, для любой буримой скважины коэффициент $к_1$ принимается как общий критерий, характеризующий искривление скважины.

Литература:

1. Григулецкий В.Г. Оптимальное управление при бурении скважин. – М. : Недра, 1988.
2. Махмудов Д.М. Исследование характера искривления скважин.
3. Поправка скважин, выходящих из проектного профиля // Нефть и газ. – 2003. – № 6.
4. Воевидко И.В. Влияние анизотропных свойств горных пород на тенденцию наклонно-направленной скважины к изменению азимута // СНГС на суше и на море. – М. : ВНИИОЭНГ, 2002. – № 11.

References:

1. Griguletsky V.G. Optimal control when drilling wells. – M. : Nedra, 1988.
2. Makhmudov D.M. Research of character of borehole curvature.
3. Correction of wells coming out of the project profile // Oil and Gas. – 2003. – № 6.
4. Voyevidko I.V. Influence of anisotropic properties of rocks on tendency of directional well to change azimuth // CISS onshore and offshore. – M. : VNIIOENG, 2002. – № 11.