

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические указания
по выполнению практических занятий по дисциплине
«Бурение скважин в заданном направлении»
для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело
Направленность (профиль) «Бурение нефтяных и газовых скважин»**

Ставрополь 2026

Практическая работа № 1

Основные термины и определения в проектировании профилей наклонно-направленных скважин

1.1 Наклонно направленная скважина - скважина, для которой проектом предусмотрено отклонение в заданном направлении от вертикали, проходящей через ее устье, а ствол проводится по заранее заданной кривой.

1.2 Наклонная скважина характеризуется длиной ствола L , глубиной по вертикали H , отклонением забоя от вертикали Δ , направлением (азимутом) отклонения забоя α и конфигурацией оси (рис. 1).

1.3 Пространственное положение скважины определяется тремя текущими параметрами: глубиной L , зенитным углом θ азимутальным углом α

1.4 Глубина скважины L - расстояние от устья O до забоя или любой точки измерения углов. Измеряется по бурильной колонне с учетом ее длины в скважине и при инклинометрических замерах кривизны.

1.5 Ось скважины - пространственная кривая, состоящая из сопряженных между собой отрезков прямых и кривых линий. Каждая точка оси скважины определяется ее текущими координатами относительно устья, зенитным и азимутальным углами и кривизной.

1.6 Глубина скважины по вертикали - расстояние OA от устья до горизонтальной плоскости, проходящей через забой скважины, либо до i -ой точки ствола.

1.7 Зенитный угол θ - угол между касательной к оси ствола в рассматриваемой точке и вертикалью, проходящей через данную точку.

1.8 Угол наклона α - угол между осью скважины или касательной к ней в рассматриваемой точке и горизонтальной проекцией оси на плоскость, проходящую через данную точку.

1.9 Азимутальный угол $\square$ - угол между апсидальной и меридиональной плоскостями. Апсидальной называется вертикальная плоскость, проходящая через касательную к оси ствола скважины.

Азимутальный угол исчисляется в горизонтальной плоскости от принятого начала отсчета до направления горизонтальной проекции к оси ствола скважины по ходу часовой стрелки.

В зависимости от принятого начала отсчета азимутальный угол может быть истинным (географический меридиан), магнитным (магнитный меридиан) или условным (реперным).

1.10 Профиль скважины - проекция оси скважины на вертикальную плоскость, проходящую через ее устье и забой.

1.11 План скважины - проекция оси ствола скважины на горизонтальную плоскость, проходящую через ее устье.

1.12 Отклонение забоя от вертикали - расстояние от забоя скважины до вертикали, проходящей через устье скважины.

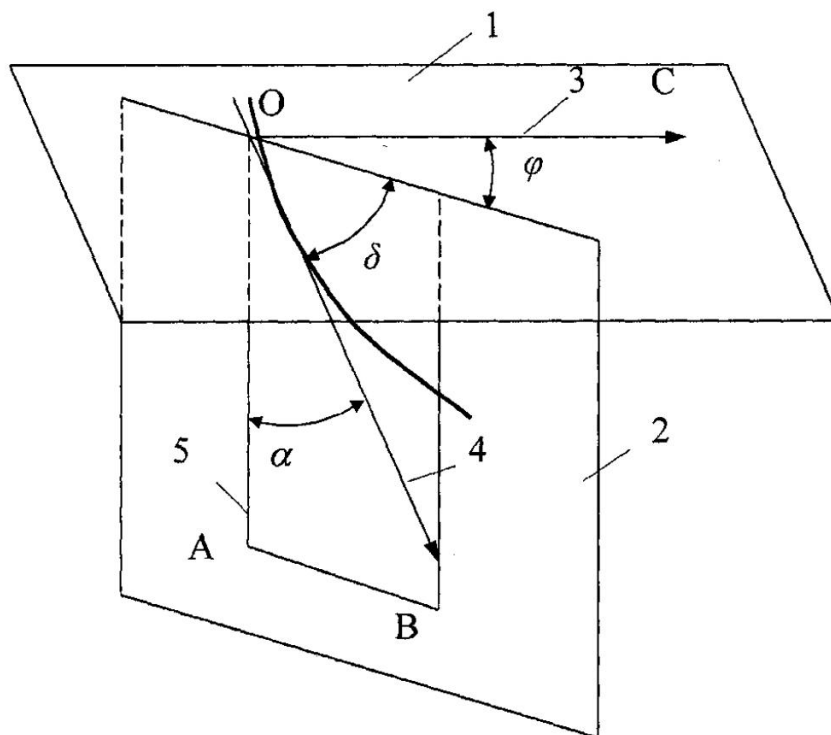


Рис. 1 Параметры, определяющие положение оси скважины в пространстве:

1 - горизонтальная плоскость; 2 - апсидальная плоскость; 3 - магнитный меридиан; 4 - касательная к точке ствола; 5 - вертикаль через точку замера углов

1.13 Зенитное искривление ствола скважины - изменение зенитного угла между двумя точками замера (рис. 2).

1.14 Азимутальное искривление - изменение азимута скважины между двумя точками замера.

1.15 Интенсивность искривления i - степень одновременного изменения зенитного угла и азимута за интервал. Величина, характеризующая степень искривления ствола и равная отношению приращения угла искривления к расстоянию между точками замеров.

1.16 Радиус искривления ствола R - величина обратная интенсивности искривления:

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta L} = \frac{360}{2\pi R} = \frac{57,3}{R}; \quad (1)$$

$$\Delta\alpha_{10} = \frac{573}{R}, \text{ град/10 м.} \quad (2)$$

Если ствол скважины искривляется с постоянной интенсивностью, то ее ось представляет собой дугу окружности радиусом R ,

$$R = \frac{573}{\Delta\alpha_{10}}, \text{ м.} \quad (3)$$

1.17 Плоскость искривления - плоскость, в которой располагается дуга окружности с радиусом кривизны в данной точке.

1.18 Отрезок оси скважины между двумя точками измерений, расположенными на расстоянии l друг от друга, характеризуется следующими параметрами:

средний зенитный угол, град,

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}; \quad (4)$$

изменение зенитного угла, град,

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1; \quad (5)$$

горизонтальная проекция ствола, град,

$$\Delta a = \Delta l \cdot \sin \alpha_{cp}; \quad (6)$$

вертикальная проекция ствола, град,

$$\Delta h = \Delta l \cdot \cos \alpha_{cp}; \quad (7)$$

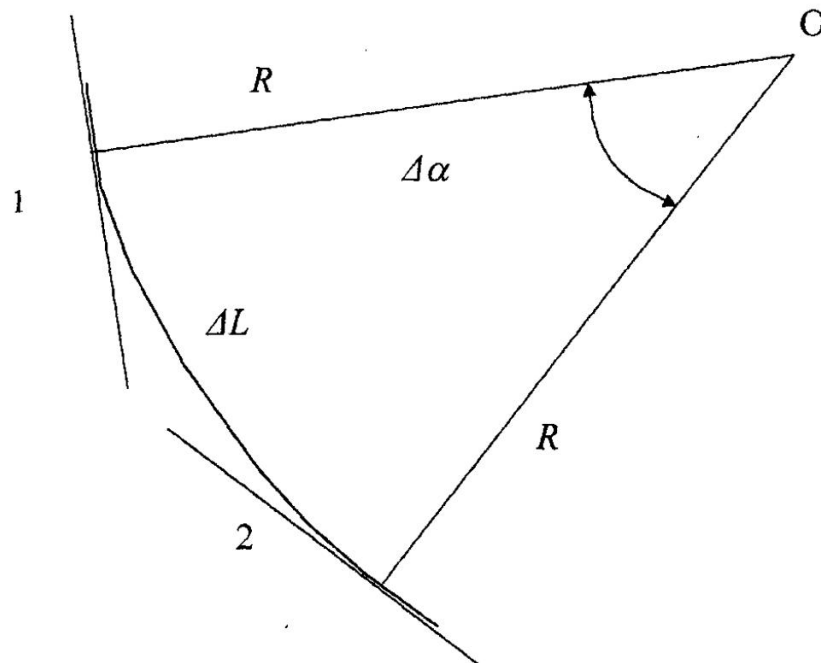


Рис. 2 Схема к измерению зенитного угла:

1,2- касательные к дуге в точках измерения углов

изменение азимутального угла, град,

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1; \quad (8)$$

средний азимут, град,

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}; \quad (9)$$

пространственный угол искривления (в плоскости искривления) угол между двумя касательными, проведенными к оси ствола в точках замеров, лежащих

в плоскости искривления при допущении, что искривление - это бесконечно малое количество плоских кривых, повернутых относительно друг друга на некоторый угол:

$$\Delta\beta = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2 \cdot \sin^2 \alpha_{cp}}. \quad (10)$$

Радиус искривления при этом, определяется по формуле:

$$R = \frac{\Delta l}{\Delta\beta}; \quad (11)$$

пространственная интенсивность искривления на участке длиной 10м определяется как:

$$i = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2 \cdot \sin^2 \left(\alpha_1 - \frac{\Delta\alpha}{2} \right)}. \quad (12)$$

1.19 Угол установки отклонителя - угол между плоскостью действия отклонителя и апсидальной плоскостью в месте его установки.

1.20 Коэффициент фрезерующей способности долота **f** - отношение скорости фрезерования стенки скважины к скорости разрушения забоя долотом при действии одинаковых нагрузок.

1.21 Кривизна ствола **k**- приращение угла искривления на определенном криволинейном участке,

$$\kappa = \frac{1}{R}, \text{ рад/м}. \quad (13)$$

Радиян - угол, под которым видна из центра окружности ее дуга, равная радиусу:

$$1 \text{ рад} = \frac{180}{\pi} = 57^\circ 17' 45'',$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0,001745 \text{ рад}.$$

1.22 Под КНБК принято понимать: типоразмер долота, забойный двигатель (ЗД), УБТ, диаметр бурильных труб и материал, из которого они изготовлены, тип и диаметр опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ),

элементы оснастки (амортизаторы, калибраторы и др.). В действительности это низ бурильного инструмента.

Направляющий участок КНБК - участок от долота до первой точки касания УБТ или ЗД со стенкой скважины под нагрузкой.

Для КНБК с ОЦЭ направляющим участком является участок от долота до первого центризатора, для КНБК с отклонителем - участок от долота до вершины угла перекоса отклонителя, для КНБК без центрирующих приспособлений - участок от долота до первой точки касания забойным двигателем или трубами стенки скважины.

1.23 Угол несоосности КНБК в стволе скважины $\square$ угол между хордами, стягивающими ось скважины и ось КНБК на направляющем участке.

1.24 Угол поворота плоскости изгиба КНБК под действием реактивного момента ЗД - угол между плоскостью изгиба КНБК и апсидальной.

1.25 Индекс анизотропии пород по буримости η есть число, дополняющее до 1 отношение буримости пород вдоль напластования и буримости ее в перпендикулярном напластованию направлении.

1.26 НДС - направление (азимут) движения бурового станка на кустовой площадке.

1.27 Направление (азимут) оснований под буровую установку выбирается в соответствии с первоначальным движением буровой установки и должно определяться с учетом проектных траекторий стволов скважин, согласно принципу исключения вероятности пересечения стволов и природных возможностей размещения оснований в данном направлении.

1.28 Куст скважины - группа из трех и более скважин, расположенных на специальных площадках и отстоящих одна от другой или от отдельных скважин на расстоянии не менее 50м.

1.29 Под площадкой куста понимается определенный проектом участок территории, на котором расположены скважины, технологическое

оборудование и установки, а так же бытовые и другие помещения, необходимые для производства работ.

Расстояние между скважинами должно обеспечивать механизированную добычу нефти с применением станков- качалок и составляет 5 м.

Групповое расположение скважин - ряд скважин с числом от трех до восьми; для групп из четырех скважин расстояние между ними составляет 15 м, из восьми скважин - 50 м.

Суммарное количество газовых скважин в кусте, как правило, не превышает 24.

Минимальное расстояние между устьями соседних скважин в кустах на газоконденсатных месторождениях, имеющих в разрезе ММП, должно в 1,2 раза превышать диаметр ореола протаивания, но быть не менее 20 м по нормам противопожарной безопасности.

При размещении устьев скважин в кустах с «шагом» от 20 до 30 м скважины размещаются прямо на одной прямой линии, побатарейно не более четырех в том числе и нагнетательных газовых скважин, с расстоянием между батареями не менее 60 м. Суммарный рабочий дебит одной батареи нефтяных скважин должен быть не более 800 т/сут (8000 кН/сут).

Суммарный рабочий дебит одной батареи газоконденсатных скважин или одной батареи газовых скважин не должен превышать 4000 тыс. м³/сут.

Нефтяные скважины со свободным фонтанным дебитом более 400 т/сут (или с газовым фактором более 200 м³ /м³), а также все газовые и газоконденсатные скважины должны быть оборудованы забойными клапанами-отсекателями с проверкой их на срабатывание в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При размещении устьев скважин в кустах с «шагом» 40 м скважины следует размещать на одной прямой линии, побатарейно с числом эксплуатационных скважин в батарее не более восьми, с расстоянием между батареями не менее 60 м.

Суммарный рабочий дебит одной батареи нефтяных скважин не должен быть более 1600 т/сут.

Суммарный рабочий дебит одной батареи газоконденсатных скважин или одной батареи газовых скважин не должен превышать 6000 тыс. м³/сут.

В отдельных случаях, обусловленных сложным ландшафтными, гидрологическими и геокриологическими условиями, разрешается размещать устья скважин на одной кустовой площадке в два ряда. При этом расстояние между рядами скважин должно быть не менее 70 м, суммарное количество скважин в двух рядах не более 24 скважин.

Кустование скважин должно проводиться с обеспечением попадания их забоев в зону допуска с координатами, регламентированными проектом разработки месторождения.

Практическая работа №2

Расчет и построение тангенциального профиля

Рассчитать и построить профиль типа А (трехинтервальный) для бурения наклонной скважины глубиной (по вертикали) _____ м и со смещением забоя _____ м. Интенсивность набора кривизны на 100 м проходки составляет _____°, максимальный угол наклона скважины _____°. Длина первого вертикального участка не ограничивается. Методика расчета упрощена.

Решение

Определяем длину участка набора угла наклона ствола по формуле

$$l_2 = \frac{\alpha_n - \alpha_{n-1}}{\Delta\alpha_{100}} 100,$$

где α_n — угол наклона ствола в конце участка, градусы; α_{n-1} — угол наклона ствола в начале участка, градусы; $\Delta\alpha_{100}$ — интенсивность набора кривизны на 100 м проходки, градусы.

Рассчитываем вертикальную проекцию участка набора кривизны

$$h = \frac{l_2 \sin \alpha}{\frac{\pi 180}{\alpha}}$$

Находим отклонение ствола скважины на участке набора кривизны (горизонтальную проекцию)

$$a = h \operatorname{tg} \alpha/2$$

Определяем радиус искривления скважины

$$R = h / \sin \alpha$$

Вычисляем горизонтальную проекцию прямолинейного наклонного участка

$$A' = 300 - a$$

Определяем длину наклонного прямолинейного участка

$$l_a = A' / \sin \alpha$$

Рассчитываем вертикальную проекцию прямолинейного наклонного участка

$$H' = A' / \operatorname{tg} \alpha$$

Длина первого вертикального участка

$$l_1 = H_0 - (h + H')$$

Тогда длина ствола скважины по профилю

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

По данным расчета строим профиль ствола скважины.

На вертикальной линии откладываем отрезки $AB = H_0$, $AC = l_1$, $CD = h$. Через точки C, D, B проводим горизонтальные линии. Отложим на линии, проходящей через точку C, отрезок CR; на линии, проходящей через точку D, отрезок DE = a и на линии, проходящей через точку B, отрезок BF = A.

Из точки O радиусом R описываем дугу. Точки E и F соединяем прямой EF до касания с дугой в точке E. Ломанная линия ACEF представляет собой проектный профиль ствола скважины.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Глубина скважины $H, \text{м}$	2100	2400	2000	2400	2500	2300	2100	2400	2000	2400	2500	2300	2100	2000
Смещение забоя $A, \text{м}$	300	260	200	230	265	230	250	260	200	230	265	230	250	200
Интенсивность набора кривизны $\Delta\alpha_n, ^\circ \text{ на } 100 \text{ м}$	12	10	8	10	12	9	9	9	7	8	9	8	8	7
Максимальный угол наклона скважины, α	25	24	20	23	24	23	24	23	20	22	24	22	25	20

Практическая работа №3

Расчет и построение S – образного профиля.

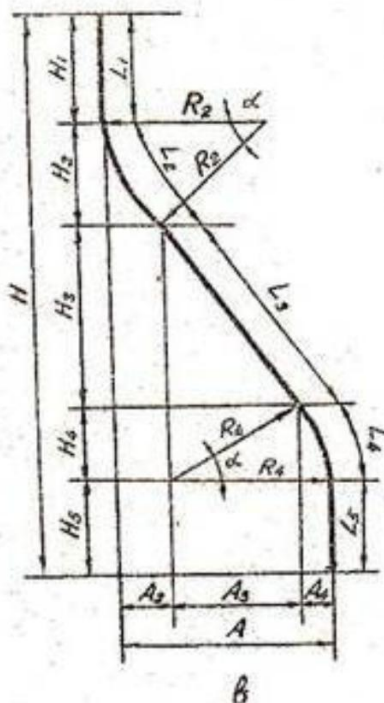


Рисунок 1 - Схема построения профиля типа Б

Рассчитать и построить профиль типа Б для бурения наклонной скважины глубиной 2400 м по вертикали, если смещение забоя составляет ____ м, интенсивность набора кривизны ____ на 100 м проходки, интенсивность снижения кривизны ____ на 100 м проходки, угол искривления ствола скважины на забое _____. Длина первого вертикального участка должна быть более 500 м.

Решение:

Определяем максимальный угол искривления скважины по формуле

$$\cos \alpha = \frac{\Delta\alpha_c + \Delta\alpha_n \cos \delta - A\Delta\alpha_n\Delta\alpha_c 0,01745 \cdot 1/100}{\Delta\alpha_n + \Delta\alpha_c}$$

где $\Delta\alpha_n$ – интенсивность набора кривизны на 100 м проходки, градусы; $\Delta\alpha_c$ – интенсивность снижения кривизны на 100 м проходки, градусы; A – отклонение забоя скважины от вертикали.м; δ – угол искривления ствола скважины у забоя, градусы.

Определяем вертикальную проекцию наклонной части ствола скважины

$$H_0 = \frac{5730}{\Delta\alpha_n + \Delta\alpha_c} [(\Delta\alpha_n + \Delta\alpha_c) \sin \alpha - \Delta\alpha_n \sin \alpha/2]$$

Определяем длину вертикальной части скважины

$$l_1 = H - H_0$$

Определяем длину ствола скважины по профилю

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

$$l_2 = \left(\frac{\alpha}{\Delta\alpha_n} \right) 100$$

$$l_3 = \frac{(\alpha - \delta) 100}{\Delta\alpha_c}$$

Определяем вертикальную проекцию участка набора кривизны

$$h = \frac{100 \sin \alpha}{\Delta\alpha_n 0,01745}$$

Вычисляем величину смещения забоя на участке набора кривизны

$$a = h \tan \alpha / 2$$

Определяем горизонтальную проекцию участка снижения кривизны

$$a_1 = A - a$$

Рассчитываем радиус дуги участка набора кривизны

$$R_1 = \frac{100}{\Delta\alpha_n \cdot 0,01745}$$

Определяем радиус дуги участка снижения кривизны

$$R_2 = \frac{100}{\Delta\alpha_c \cdot 0,01745}$$

Строим профиль. Откладываем на вертикальной линии отрезки: $AB=H$, $AC=l_1$, $CD=h$. Из точки С проводим горизонтальную линию и на ней откладываем отрезок R_1 . Из точки D проводим горизонтальную линию и на ней откладываем отрезок $DE=a$, а из точки В – горизонтальную линию $BF=A$. Из точки O_1 радиусом R_1 проводим дугу, соединяющую точки С и Е, а из точки O_2 радиусом R_2 проводим дугу, соединяющую точки Е и F. Точка O_2 находится на пересечении двух дуг окружностей, проведенных из точек Е и F радиусом R_2 . Ломанная линия ACEF представляет собой проектный профиль скважины.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Глубина скважины $H, \text{м}$	2100	2400	2000	2400	2500	2300	2100	2400	2000	2400	2500	2300	2100	2000
Смещение забоя $A, \text{м}$	250	260	200	230	265	230	250	260	200	230	265	230	250	200
Интенсивность набора кривизны $\Delta\alpha_n, ^\circ \text{ на } 100 \text{ м}$	6	7	5	7	6	6	6	7	5	7	6	6	6	5
Интенсивность снижения кривизны $\Delta\alpha_c, ^\circ \text{ на } 100 \text{ м}$	1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1
Угол искривления ствола скважины на забое, δ	5	6	5	6	6	6	5	6	5	6	6	6	5	5

Практическая работа №4

Расчет и построение профиля типа В

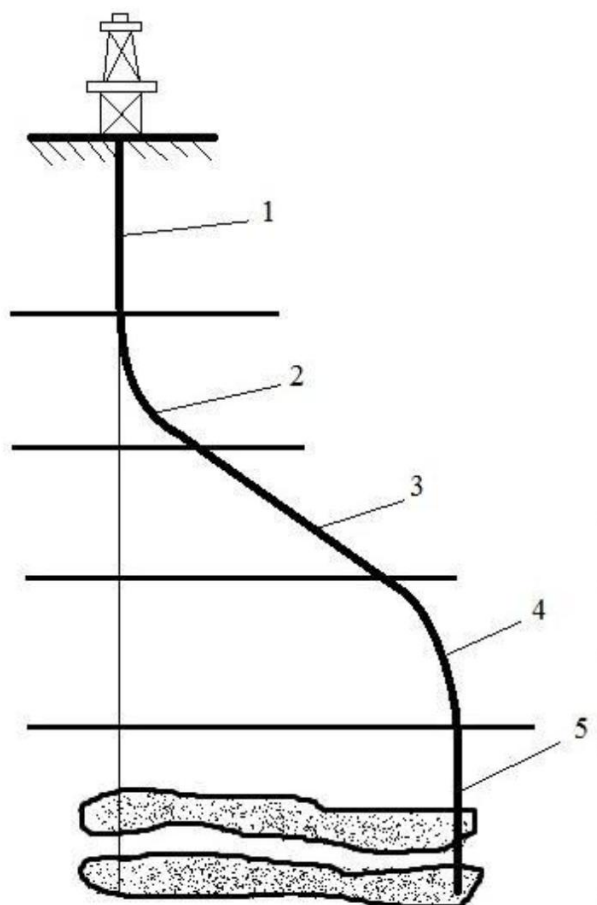


Рисунок 4.1 – Профиль наклонно-направленной скважины типа В

Профиль типа В (Рис. 4.1) состоит из пяти участков: вертикального 1, участка набора угла наклона ствола 2, прямолинейного наклонного участка 3, участка снижения угла наклона 4 и вертикального 5. Его рекомендуется применять при проходке глубоких скважин, требующих пересечения стволом нескольких продуктивных горизонтов. Это наиболее сложный профиль.

Задание

Рассчитать и построить профиль типа В по упрощенной методике, если глубина скважины по вертикали _____ м, величина отклонения забоя от вертикали _____ м, длина первого вертикального участка _____ м, интенсивность набора кривизны ____° на 100 м вертикальной проекции, интенсивность снижения кривизны ____° на 100 м вертикальной проекции,

максимальный угол искривления скважины ____°. Нижний участок на протяжении 100 м должен быть вертикальным.

Решение:

Определяем длину вертикальной проекции интервала набора угла искривления ствола скважины от нуля до максимального угла искривления скважины

$$l_n = \frac{\alpha_n - \alpha_{n-1}}{\Delta l_{100}}$$

где α_n – кривизна ствола в конце участка, градусы; α_{n-1} – интенсивность искривления ствола скважина на 100 м длины, градусы. Δl_{100} – максимальный угол искривления скважины.

Рассчитываем длину вертикальной проекции интервала снижения угла искривления ствола скважины.

$$l_c = \frac{\alpha_n - \alpha_{n-1}}{\Delta l_{100}}$$

Тогда вертикальная проекция прямолинейного наклонного участка составит

$$l_{\Pi} = H - (H_B + l_n + l_c + 100)$$

где H – глубина скважины по вертикали, м; H_B – длина первого вертикального участка, м;

Определяем отклонение забоя ствола наклонной скважины по интервалам глубин по формуле

$$a = a_{n-1} + 100 \tan \frac{\alpha_n + \alpha_{n-1}}{2}$$

где a_{n-1} – отклонение забоя от вертикали предыдущего участка, м.

Если полученное суммарное смещение забоя больше требуемого, то изменится начало искривления ствола скважины.

$$h_0 = H_B + \frac{\Delta A}{\tan \alpha}$$

где ΔA – разность величин смещения забоя (полученного и исходного), м; α – максимальный угол искривления скважины, °.

Следовательно, величина прямолинейного наклонного участка изменится.

Проводим пересчет и результаты сводим в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Интервал глубины,м	Длина интервала,м	Угол искривления, градус		Отклонение забоя	
		в конце интервала	средний за интервал	По тангенсу средней кривизны	суммарное

Для построения профиля скважины на вертикальной линии откладываем конечные величины интервалов из таблицы 4.1. Из каждой точки по горизонтали откладываем соответствующие им суммарные смещения. Полученные точки соединяем плавной кривой, а точки находящиеся на границах прямолинейного наклонного участка и вертикального участка прямой, сопряженной с верхней и нижней кривыми.

Варианты									9
Глубина скважины по вертикали, м	2600	2800	2400	2300	2500	2900	2600	2750	2600
Величина отклонения забоя от вертикали	280	300	250	240	280	320	270	280	280
Длина первого вертикального участка, м	1000	1000	900	900	1000	1000	1000	1000	1000
Интенсивность набора кривизны на 100 м									
Интенсивность снижения кривизны на 100 м									
Максимальный угол искривления скважины	5	6	4	3	5	8	5	5	5