© С.А. Заурбеков, 2014

УДК 622.24

С.А. Заурбеков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН ГИДРОУДАРНЫМИ И ПНЕВМОУДАРНЫМИ МАШИНАМИ

Рассмотрены вопросы проектирования траектории ствола скважины с применением детерминированной технологии направленного бурения гидроударными и пневмоударными машинами.

Ключевые слова: гидроударник, осевая нагрузка, наклонная скважина, бурильная колонна.

Детерминированная технология направленного бурения — технология, основанная на объективных и причинно — обусловленных закономерностях естественного искривления скважин с запрограммированными параметрами компоновок и строго регламентированным технологическим режимом бурения с учётом геологических условий и обеспечивающими заданное направление скважины без применения отклонителей [1].

На рис. 1 схематически изображен снаряд, состоящий из гидроударника (пневмоударника) *1*, колонкового набора *2*, а также бурильной колонны *3*. Причем гидроударник (пневмоударник) соединен с колонковой трубой шарниром *4*.

Рассмотрим эту компоновку в прямолинейной, но не вертикальной скважине. В непосредственной близости от машины бурильная колонна не соприкасается со стенками скважины. Она соприкасается с ними на некотором расстоянии L_T от верхнего переходника машины в «точке касания» *T*. Выше точки касания колонна находится на лежачей стенке скважины.

Благодаря наличию в забойной компоновке шарнирного шлицевого разъёма, машина своим нижним переходником касается или стремится коснуться висячей стенки, и колонковая труба ориентируется с перекосом в сторону выкручивания скважины. В действительности эта тенденция имеет место в строго определенных условиях и зависит от соотношения сил, действующих на компоновку в целом: — нормальных*) составляющих веса колонковой трубы $Q_k^{'}$, керна $Q_{k.м}^{'}$, и машины $Q_м^{'}$.

При отсутствии осевой нагрузки единственной внешней силой, действующей на компоновку, является нормальная составляющая $Q_T^{'}$ собственного веса отрезка колонны между машиной и точкой касания *T*, так называемой «длины полуволны» L_T [2—5], колонны между машиной и точкой касания *T*.

Если создать осевую нагрузку, на компоновку будет действовать и другая сила — сила давления *F* колонны на стенку скважины в точке *T* [6]. Теперь на компоновку действует одновременно несколько сил: *F* — сила

*) относительно оси скважины.

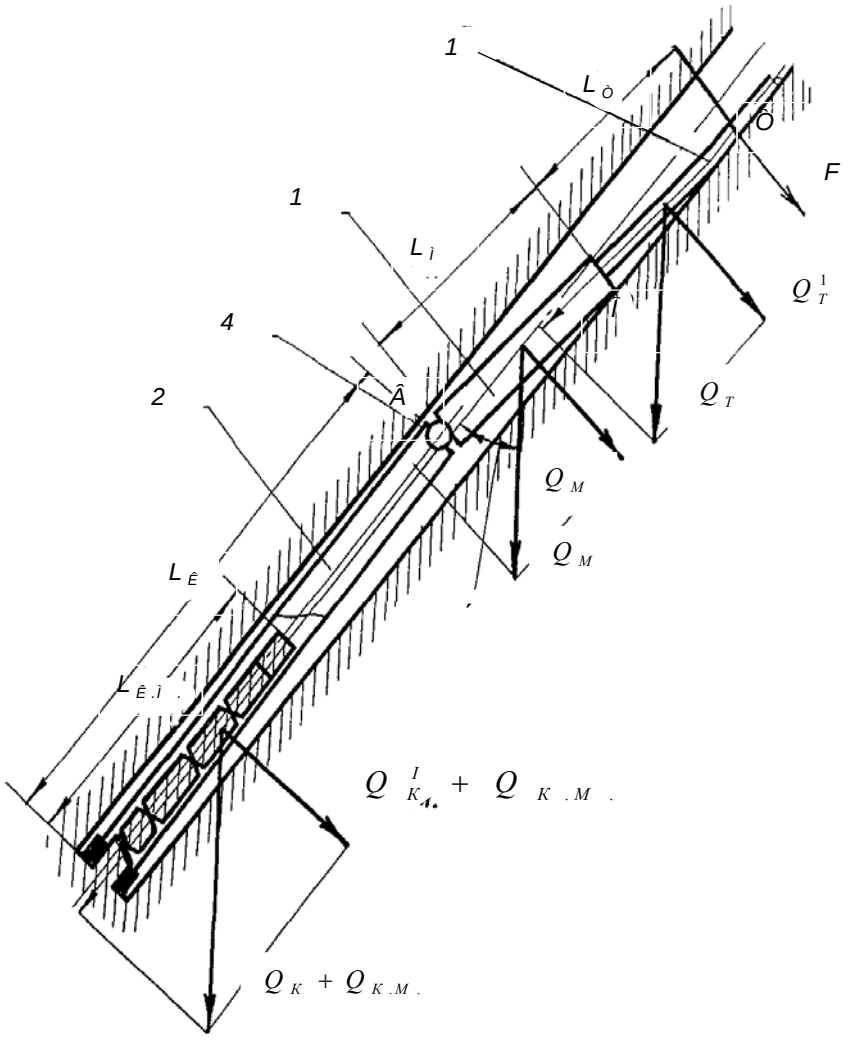

Рис. 1. Силы, обусловливающие ориентацию забойной компоновки в наклонной скважине

давления колонны на стенку скважины, Q_T' — нормальная составляющая веса полуволны — с одной стороны (относительно точки *O*); Q_k', $Q_{k.м}'$, $Q_м'$ — с другой. Причем силы Q_k' и $Q_{k.м}'$, благодаря эффекту отвеса, создают перелом компоновки в точке *B* — в шарнирном шлицевом соединении машины с колонковой трубой.

В зависимости от соотношения указанных сил *F*, Q_T', $Q_м'$, Q_k', $Q_{k.м}'$ возможны три принципиально различных положения компоновки:

1) точки *T* и *O* находятся на лежачей стенке скважины. При этом точка *B* занимает в апсидальной плоскости промежуточное положение выше оси сква-

жины, ориентируя ось колонковой трубы в направлении уменьшения зенитного угла;

2) в результате накатывания машины и бурильной колонны на стенку скважины в направлении, противоположном вращению, точки T и O смещаются относительно апсидальной плоскости, занимают промежуточное положение между висячей и лежачей стенками. Точка B при этом занимает тоже промежуточное положение — ниже оси скважины (в апсидальной плоскости), ориентируя ось колонковой трубы в направлении увеличения зенитного угла скважины;

3) независимо от положения точек T и O точка B занимает такое положение, при котором ось колонковой трубы в апсидальной плоскости совпадает с осью скважины. Такая ориентация компоновки соответствует стабилизирующей длине L_{CT} колонковой трубы, определяющей такое равновесие забойной компоновки, при котором, благодаря соосности колонковой трубы и скважины, обеспечиваются условия для стабилизации зенитного угла и сохранения прямолинейности ствола скважины.

Для каждой совокупности факторов, влияющих на механизм искривления, зенитного угла, осевой нагрузки, диаметров скважины и бурильной колонны, типа проходимых пород и т.п. существует строго определенная по своей длине колонковая труба, при бурении которой обеспечивается прямолинейность ствола скважины, т.е. стабилизация зенитного угла скважины.

Рассмотрим связь между указанными параметрами и величиной стабилизирующей длины колонковой трубы с учетом следующих допущений:

1) бурильная колонна при вращении находится на лежачей стенке скважины. Справедливость такого предположения в реальных условиях доказана теоретически и экспериментальным путем Lubinski A.,Woods H.B. и др.[2—5];

2) вращение колонны бурильных труб и забойной компоновки происходит вокруг собственной оси. Правомерность этого предположения обосновывается в работах ряда зарубежных и отечественных исследователей.

Для определения математической зависимости равновесия забойной компоновки рассмотрим последнюю как составную балку AT, лежащую на двух опорах A и O и состоящую из двух балок AB и BT шарнирно соединенных в точке B (рис. 2). К балке AB в точке K приложена сила

$$Q_o^{'} = Q_k^{'} + Q_{k.м}^{'} = \left(Q_k + Q_{k.м}\right)\sin\theta.$$

К балке BT в точка M, C и T приложены соответственно силы $Q_м^{'}$, $Q_T^{'}$ и F.

Плечи $BM = MO = 0{,}5 \cdot L_M$;

$OC = CT = 0{,}5 \cdot L_T$,

где Q_0 — суммарный вес колонковой трубы и керна, кН; Q_k — вес колонковой трубы, $Q_k = p_k \cdot L_k$, кН; $Q_{k.м}$ — вес кернового материала, кН, $Q_{k.м} = p_{k.м.} \cdot L_{k.м}$; L_o — расстояние, определяющее положение приведенного центра масс колонковой трубы и керна, м.

$$L_o = L_k \cdot \frac{p_k + k^2 \cdot p_{k.м.}}{2\left(p_k + k \cdot L_{k.м.}\right)}, \qquad (1)$$

Таблица 1

Длина полуволны L_T (м)

Осевая нагрузка, кН	Зенитный угол скважины, градусы								
	1	5	10	15	20	25	30	35	40
СБТН – 50 Скважина Ø76 мм									
1.20	9,7	6,6	5,5	4,9	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1
2.50	7,9	6,3	5,4	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,9
5.00	7,8	5,8	5,2	4,7	4,4	4,3	4.2	3.9	3.8
7.00	7,5	5,7	5,0	4,6	4,3	4,1	4,0	3,8	3,7
10.0	7,0	5,5	4,8	4,4	4,2	4,0	3,9	3,7	3,6
12.0	6,8	5,3	4,7	4,3	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5
15.0	6,5	5,1	4,5	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,3
17.0	6,3	5,0	4,4	4,0	3,8	3,6	3,5	3,4	3,2
21.0	5,8	4,6	4,1	3,8	3,6	3,4	3,3	3,1	3,0
УБТ – 57 Скважина Ø76 мм									
12.5	10	6,4	5,3	4,5	4,3	4,1	3,9	3,8	3,8
15.0	9,8	6,2	5,2	4,4	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7
17.5	9,6	6,0	5,1	4,3	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6
20.0	9,4	5,8	5,0	4,2	4,0	3,8	3,7	3,6	3,6
25.0	9,2	5,6	4,9	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5	3,5

где $k = \dfrac{L_{k.м.}}{L_k}$ — коэффициент наполнения колонковой трубы керновым материалом, k = 0…1; $L_T, L_{k.м.}$ — длина полуволны (табл. 1) и длина керна, м; Q_T — вес полуволны L_T, кН; $p_k, p_{k.м.}, L_м, \theta, F$ известные величины.

Для составления уравнения равновесия системы, изображенной на рис. 3, принимаем распространенный в теоретической механике принцип возможных перемещений [6].

Дадим возможное перемещение δ_{r_T} точке T, тогда точка B получит возможное перемещение $\delta_{r_в}$ (ориентация компоновки в сторону выкручивания скважины). Реакцию стенки скважины в точке B обозначим через $R_в$. Заметим, что силы F и $R_в$. относительно точки O имеют всегда противоположные знаки.

Обозначим через $\delta_{r_o}, \delta_{r_м}, \delta_{r_c}$ возможные перемещения точек приложения K, M и C сил $Q_o', Q_м'$ и Q_T'. Выразим, воспользовавшись подобием треугольников ABB' и AKK', BOB' и MOM', TOT' и COC', BOB' и TOT', зависимость между возможными линейными перемещениями

$$\delta_{r_в} = \frac{L_k}{L_o} \cdot \delta_{r_o} = 2 \cdot \delta_{r_м} = 2 \cdot \frac{L_м}{L_T} \delta_{r_c} = \frac{L_м}{L_T} \cdot \delta_{r_m}. \qquad (2)$$

Применив принцип возможных перемещений, приравняем сумму работ всех задаваемых сил и силы реакции $R_в$ на соответствующих возможных перемещениях нулю:

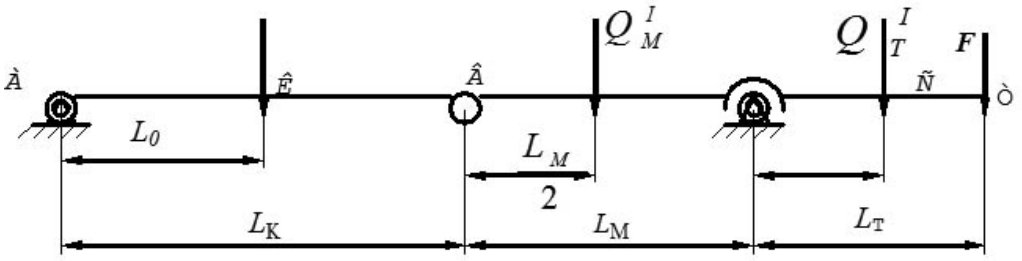

Рис. 2. Схема равновесия компоновки низа бурильной колоны при ударно-вращательном бурении

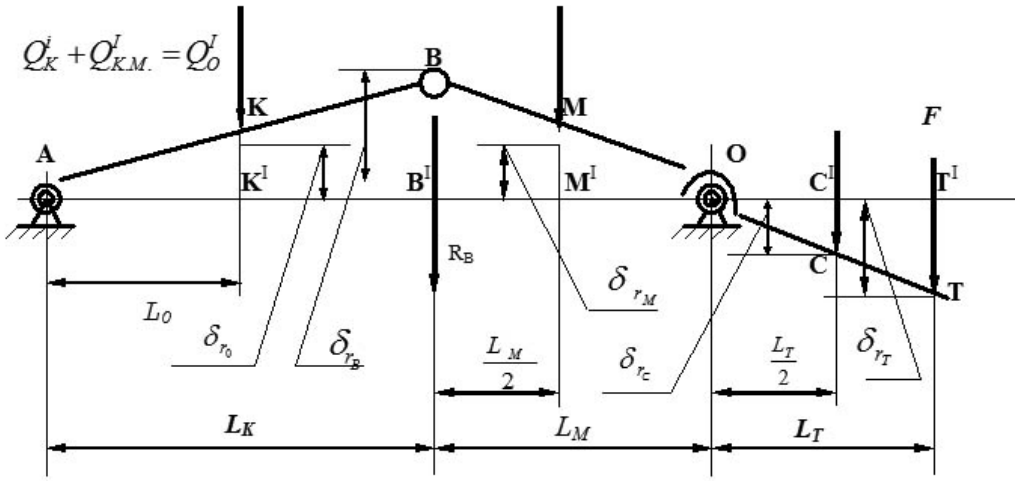

Рис. 3. Схема расчёта L_{CT} – стабилизирующей длины колонкового набора ударно-вращательного бурения

$$-R_2 \cdot \delta_{r_2} - Q_o' \cdot \delta_{r_o} - Q_<' \cdot \delta_{r_<} + Q_{''}' \cdot \delta_{r_c} + F \cdot \delta_{r_{''}} = 0. \qquad (3)$$

Воспользовавшись формулой (6), после почленного сокращения уравнения (3) на $\delta_{r_в}$ находим

$$-R_2 - \frac{L_o}{L_k}(Q_k + Q_{k.<}) \cdot \sin\theta - 0{,}5 Q_< \sin\theta + 0{,}5 \cdot \frac{L_{''}}{L_<} \cdot Q_{''} \cdot \sin\theta + \frac{L_{''}}{L_<} \cdot F = 0 \qquad (4)$$

Выразив силы $Q_k, Q_{k.м}$ и Q_T через соответствующие линейные размеры, получим:

$$-R_в - 0{,}5 \cdot L_k \cdot \left(p_k + k^2 \cdot p_{k.м.}\right) \cdot \sin\theta - 0{,}5 \cdot Q_м \cdot \sin\theta + 0{,}5 \frac{L_T^2}{L_м} \cdot p_T \cdot \sin\theta + \frac{L_T}{L_м} \cdot F = 0. \qquad (5)$$

Таблица 2

Основные параметры в математических моделях зенитного искривления скважины P_T — вес 1 м нижней свечи бурильной колонны, кН

УБТ		СБТ				ЛБТ	Отражатель	
73	57	63.5	54	50	42	54	ПО-76	ПО-59
0.24	0.14	0.08	0.07	0.07	0.05	0.04	0.135	0.081

P_K — вес 1 м колонкового набора, кН

112	93	76	59	46	РП-130	РП-111	РП-94	Г-7 (Г-76)
0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.19	0.13	0.08	0.09

$P_{K.M.}$ — вес 1 м кернового материала, кН (плотность пород 27 кН/м^3)

112	93	76	59	РП-130	РП-111	РП-94	Г-7 (Г-76)
0.18	0.11	0.074	0.03	0.23	0.16	0.09	0.09

L_M — длина машины, м

ГВ-5	Г-7	Г-76	Г-59	РП-130	РП-111	РП-94
1,4	2,0	1,85	1,82	1,125	1,08	1,125

Q_M — вес машины, кН

ГВ-5	Г-7	Г-76	Г-59	РП-130	РП-111	РП-94
0.30	0.50	0.39	0.23	0.62	0.48	0.38

Из (5) следует, что величина и направление реакции $R_в$ зависят от значений четырех переменных — зенитного угла скважины θ, длины колонковой трубы $L_к$, керна $L_{к.м}$ и силы давления на стенку скважины F в точке T. Решая уравнение (5) при $R_в = 0$, найдем стабилизирующие значения L_{CT} — длины колонковой трубы для различных значений θ, L_T и F, при которых точка B шарнирного соединения машины и колонковой трубы находится на оси скважины, и компоновка ориентируется в направлении стабилизации зенитного угла скважины.

Значения $R_в$ могут быть как положительными, так и отрицательными. Как уже указывалось, сила F и реакция $R_в$ имеют всегда противоположные знаки, — это является основным признаком определения направления ориентации колонковой трубы: — при $R_в < 0$ и $F > 0$ колонковая труба ориентируется в сторону выкручивания скважины; — при $R_в > 0$ и $F < 0$ колонковая труба занимает положение, соответствующее выполаживанию скважины.

Сила давления F колонны на стенки скважины при осевой нагрузке 2…2.5 кН составляет 0,0019 кН, поэтому в дальнейших расчетах величиной F можно пренебречь. С учетом вышесказанного стабилизирующая длина колонкового набора для ударно-вращательного бурения находится из выражения (5)

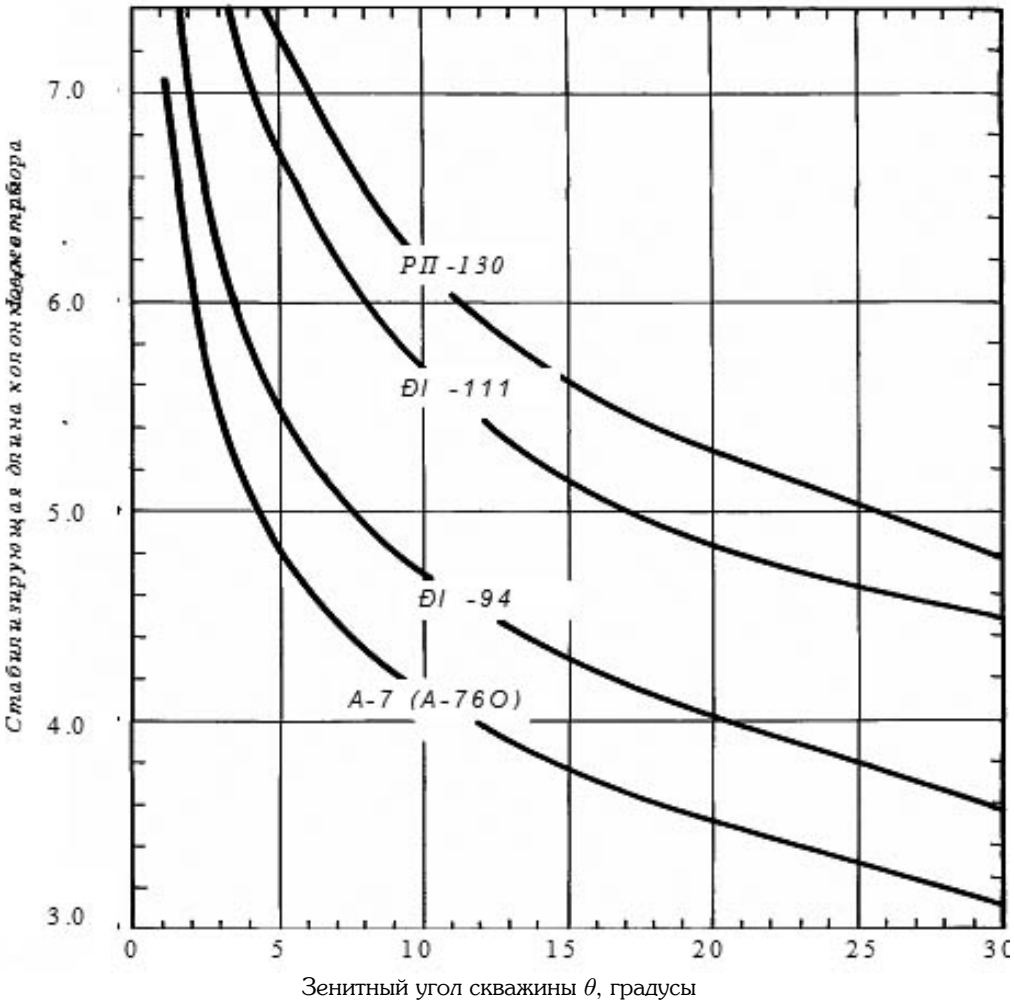

Рис. 4. Номограмма стабилизирующей длины колонкового набора для гидроударников Г-7, Г-76У и пневмоударников РП-94, РП-111 и РП-130

$$L_{CT} = \frac{p_T \frac{L_T^2}{L_м} - Q_м}{p_к + к^2 \cdot p_{к.м.}}. \qquad (6)$$

На рис. 4 представлена номограмма стабилизирующей длины колонкового набора для гидроударников Г-7 (Г-76У) и разведочных пневмоударников РП-94, РП-111 и РП-130, составленная по формуле (6) с учётом данных табл. 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Muzaparov M.* Wedge-free technology: The simplest and most effective directional well drilling method. Mineral Resources of Kazakhstan, 51-54, 1997.

2. *Lubinski A.* A study of the buckling of rotary drilling strings. Drilling and Production Practice, 178 - 214 , 1950.

3. *Mac Donald G.C.* and *Lubinski A.* Straight-hole drilling in crooked-hole country. Drilling and Production Practice, 80-90, 1951.

4. *Lubinski A.* and *Woods H.B.* Factors affecting the angle of inclination and dog-legging in rotary bore holes. Drilling and Production Practice, 222-253, 1953.

5. *Вудс Г., Лубинский А.* Искривление скважин при бурении. - М.: Гостоптехиздат, 1960 с. 162.

6. *Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С.* Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 2. - М.: Наука, 1972. с. 624.

ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Заурбеков С.А. – кандидат технических наук, доцент, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, e-mail: allnt@ntu.kz

UDC 622.24

DETERMINISTIC PROCESS DESIGN FOR DIRECTIONAL HYDROPERCUSSION AND AIR PERCUSSION BOREHOLE DRILLING

Zaurbekov S.A., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,
K.I. Satpaev Kazakh National Technical University, e-mail: allnt@ntu.kz

The article focuses on designing borehole paths using deterministic process of directional hydropercussion and air percussion drilling.

The forces to govern the bottom-hole assembly orientation are discussed.

The article describes the scheme of the drill stem bottom assembly balance in percussion-rotary drilling and the pattern of calculation of stabilizing length for rotatable drill pipe.

Key words: *hydropercussion machine, axial load, inclined borehole, drill stem.*

REFERENCES

1. Muzaparov M. Wedge-free technology: The simplest and most effective directional well drilling method. Mineral Resources of Kazakhstan, p. 51-54, 1997.

2. Lubinski A. A study of the buckling of rotary drilling strings. Drilling and Production Practice, pp.178 - 214, 1950.

3. Mac Donald G.C. and Lubinski A. Straight-hole drilling in crooked-hole country. Drilling and Production Practice, pp. 80-90, 1951.

4. Lubinski A. and Woods H.B. Factors affecting the angle of inclination and dog-legging in rotary bore holes. Drilling and Production Practice, pp. 222-253, 1953.

5. Vuds G., Lubinskii A. *Iskrivlenie skvazhin pri burenii,* (Hole deflection during drilling), Moscow: Gostoptekhizdat,1960, p. 162.

6. Bat' M.I., Dzhanelidze G.Yu., Kel'zon A.S. *Teoreticheskaya mekhanika v primerakh i zadachakh. T. 2.* (Theoretical mechanics in problems and examples), Vol. 2. Moscow: Nauka, 1972. 624 p.