

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ  
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՈԱՖԻԿ ԶԻՆԱԿՈՐԻ ՀԱԿՈՐՅԱՆ

ՀՈՐԱՏԱՆՑՔԵՐԻ ԲՆԱԿԱՆ ԹԵՔՄԱՆ ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ՕԳՏՆԳՈՐԾՈՒՄԸ ՈՒՂՈՐԴԿԱԾ ՀՈՐԱՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Ի 7.00.06 «Օգտակար հանածոների հանքավայրերի երկրաբանություն,  
որոնում և հետախուզում, մետաղագոյացում» մասնագիտությամբ  
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման  
ատենախոսության

ԵՐԵՎԱՆ - 2004

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

АКОПЯН РАФИК ЗИНАВОРОВИЧ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО  
ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 24.00.06. "Геология, поиски и разведка месторождений  
полезных ископаемых, металлогения"

ЕРЕВАН — 2004

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի Պետական  
Ճարտարագիտական Համալսարանի գիտական խորհրդում

Գիտական ղեկավար տ. գ. դ, պրոֆեսոր Ա. Գ. Կալինին  
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ տ. գ. դ, պրոֆեսոր Յ. Ա. Աղաբալյան  
տ. գ. թ, դոցենտ Հ. Հ. Սկրտչյան  
Առաջատար կազմակերպություն "Լեռնամետալուրգիա ինստիտուտ"  
ՓԲԸ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է "27" փետրվարի 2004թ.  
ժամը 14-ին Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի 031  
մասնագիտական խորհրդի նիստում:

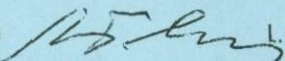
Հասցեն՝ 375009, Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՊՃՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է "26" հունվարի 2004թ

Մասնագիտական խորհրդի

գիտական քարտուղար տ.գ.թ., դոցենտ

 Լ. Գ. Գալստյան

---

Тема диссертации утверждена ученым советом  
Государственного Инженерного Университета Армении

Научный руководитель: д. т. н., профессор А. Г. Калинин

Официальные оппоненты: д. т. н., профессор Ю. А. Агабян

к. т. н., доцент Г. А. Мкртчян

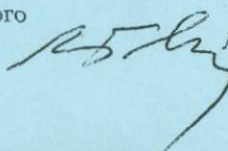
Ведущая организация: "Горнометалургический институт" ЗАО

Защита диссертации состоится "27" февраля 2004г. в 14 ч. на заседании  
специализированного совета 031 Государственного инженерного  
университета Армении по адресу: 375009, Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГИУА.

Автореферат разослан "26" января 2004г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, к.т.н., доцент

 Լ. Գ. Գալստյան

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Общеизвестно, что эффективность геолого-разведочных работ зависит от качества пробуренных скважин, заданных с целью:

- пересечения толщи пород и залежей полезных ископаемых в заданных проектом точках по определенной системе при возможно меньшем объеме буровых работ,
- бурения скважин по наиболее рациональной траектории,
- обеспечения в геологических структурах привязки кернов пород или проб полезных ископаемых и их пространственного ориентирования.

При этом разведка месторождений на все больших глубинах предъявляет жесткие требования к бурению скважин по проектным трассам, в то же время снижает вероятность их проведения в заданные пункты разведочной сети в пределах интервалов допустимых отклонений. Поэтому на современном уровне развития технологии и техники разведочного бурения предъявляются повышенные требования к соблюдению проектной траектории ствола скважины, что имеет важное теоретическое и практическое значение. Следует отметить, что сведения, имеющиеся в литературе, основанные на последовательном изучении парных связей, не дают достаточно четких количественных и качественных данных о степени влияния факторов на параметры искривления, не позволяют учитывать совместное влияние нескольких из них и их взаимовлияние. В силу изложенного возникает необходимость разработки методики исследования влияния каждого отдельного фактора, всех факторов и их различных взаимодействий на интенсивность искривления  $[I_{\theta, \alpha} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)]$  с целью выбора основных из них и оптимизации параметров процесса направленного бурения скважин.

**Цель работы.** Целью диссертационной работы является:

- Дальнейшее развитие научных основ процесса искривления ствола скважин под воздействием геологических, технических и технологических факторов.
- Изучение влияния анизотропности пород на характер искривления скважин.
- Выявление основных факторов (причин), предопределяющих направление и темп искривления скважин.
- Исследование и оценка влияния каждого отдельного фактора, всех факторов и их различных взаимодействий на интенсивность искривления.
- Выявление новых возможностей управления пространственным положением ствола скважины в процессе ее проводки.



- Установление оптимальных режимных параметров процесса бурения направленных скважин исходя из конкретных геолого – технических условий.

#### Научная новизна работы.

- На примере месторождений Восточный Джимидон и Кти Теберда разработана методика и составлена программа много – факторного анализа (определения степени влияния различных факторов на интенсивность искривления и их взаимосвязь), существенно расширяющая представление о механизме искривления скважин при одновременном воздействии геоло – гических, технических и технологических факторов. Последние отличаются по своей природе и характеру взаимовлияния на направление и интенсивность искривления скважин.
- Впервые смоделирована анизотропность "массива" горных пород, имитирующая разные геолого – структурные условия и ультразвуковым методом определены показатели анизотропии в разных сечениях. Выявлены и определены закономерности изменения показателя анизотропии ( $E_{xy}$  и  $E_{yz}$ ) горных пород от давления ( $P=0 \div 100$ МПа) и угла плоскости напластования ( $\varphi=0^0 \div 90^0$ ), а также оси симметрии модуля упругости.
- Сконструированная и изготовленная экспериментальная установка позволяет пробурить скважины минимальных поперечных размеров (диаметром  $8 \div 12$ мм) в модельных геолого – структурных условиях, приближенных к натуре. Исходя из критериев подобия устойчивости доказывается, что трубы из нержавеющей стали ( $D_{нар} = 4$ мм и  $d_{внут} = 3$ мм) в большей степени удовлетворяют (соответствуют) применяемым на практике бурильным трубам по длине сжатой части (по направляющему участку).
- Впервые оценена относительная жесткость компоновок нижней части бурильных колонн и для бурения в заданном направлении в конкретных геолого – структурных условиях предложены компоновки, удовлетворяющие условию вписываемости.

Основные защищаемые положения. В работе на основе теоретического обобщения, математического и физического моделирования и проведенных исследований впервые дана оценка основных факторов, влияющих на процесс искривления стволов буровых скважин. На защиту выносятся следующие положения:

- интенсивность и характер искривления стволов скважин зависят от геологических (нерегулируемых) и технико – технологических (регулируемых) факторов. По этим критериям все факторы, влияющие на интенсивность искривления, ранжируются по величине их частных коэффициентов корреляции, так как они являются *относительными* характеристиками силы влияния

каждого фактора при постоянстве остальных, участвующих в анализе;

- ультразвуковым методом на смоделированном "массиве" горных пород, имитирующем разные геолого – структурные условия, определены и оценены показатели анизотропии ( $K_A = 0.48 \pm 0.97$ );
- показатели анизотропии горных пород, слагающих месторождение, закономерно изменяются в зависимости от всестороннего давления и угла плоскости напластования;
- составленная программа многофакторного корреляционно – регрессионного анализа модели естественного искривления скважин позволяет выбирать оптимальные параметры режима бурения и компоновок нижней части бурильной колонны (КНБК) с целью управления процессом искривления стволов скважин;
- сконструированная экспериментальная установка позволяет исследовать процесс формирования направления ствола скважины и параметры его искривления в зависимости от воздействия различных факторов. Принципы конструкции и действия установки основаны на критериях подобия природы и модели.

#### Прикладное значение и практическая ценность результатов диссертации.

Изученные процессы и полученные результаты на модельной экспериментальной установке позволяют существенно расширить представления о механизме искривления скважин в различных геолого – структурных условиях.

Предложена методика многофакторного корреляционно – регрессионного анализа исследования закономерности искривления скважин для прогнозирования характера искривления проектируемых скважин и в соответствии с этим выбор оптимальных технико – технологических параметров.

Методом физического моделирования получены модельные геологические структуры "массива" и определены их анизотропные свойства в различных плоскостях. Предложенную методику можно использовать при аналогичных геологических разрезах с целью прогнозирования искривления скважин до начала бурения.

Реализация работы. Сконструирована и изготовлена специальная экспериментальная установка для изучения процессов, возникающих при бурении скважин. Основные положения работы внедрены в геолого – разведочных экспедициях ПГО "Севкавгеология".

Апробация работы и публикация результатов. Основные материалы и результаты работ докладывались и обсуждались в ряде научных конференций и семинаров.

1. Ежегодной конференции профессорско – преподавательского состава ГИУА, Ереван, 1981 – 1990, 2000 – 2002г.г.

2. Научно – технической конференции "Проблемы научно – технического прогресса в бурении геолого – разведочных скважин". Томск 1979г..
3. Ежегодной межвузовской научно – тематической конференции, Томск, 1985г..
4. XXI Научно – технической конференции профессорско – преподавательского состава ВТУЗ – ов Закавказья, Ереван, 1982г..
5. VII Всесоюзном совещании по физическим свойствам горных пород при высоких давлениях и температурах. Ереван, 1985г..
6. На научно – техническом Совете ПГО "Севкавгеология", Ессентуки 1981г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных результатов исследований (выводы) и списка использованной литературы, включающего 132 наименования. Работа изложена на 152 страницах, содержит 23 рисунка и 15 таблиц.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е Д И С С Е Р Т А Ц И И

**Во введении** приведено обоснование актуальности научных задач темы диссертационной работы. Сформулированы цели, научная новизна и значимость исследования, а также практическая ценность полученных результатов.

**Первая глава** (теоретическое обоснование работы, литературный обзор) состоит из преамбулы, двух параграфов, описания объектов исследования. В этой главе дано теоретическое обоснование разрабатываемых методов исследования закономерностей изменения параметров естественного искривления скважин (критериев подобия) в зависимости от воздействия геологических, технических и технологических факторов (выходных параметров) и их характер связи между ними с помощью многофакторного анализа. Изложен литературный обзор, где приводятся и обсуждаются результаты исследования процесса естественного искривления скважин, технические средства для предотвращения и искусственного искривления скважин, которые демонстрируют необходимость дальнейших исследований процесса методами физического и математического моделирования, а также путем экспериментирования.

**Вторая глава** (геологические условия – основной фактор, определяющий необходимость направленного бурения в юрском и меловом комплексах Северного Кавказа) состоит из преамбулы, 3 – х параграфов. В главе приводятся краткие геологические характеристики месторождений Восточный Джимидон и Кти Теберда.

Показаны характерные особенности свит и их многоэтажный метаморфизм. Анализ геологических материалов по пробуренным скважинам на месторождении Восточный Джимидон позволяет выделить нижеследующие структурно – геологические факторы, влияющие на процесс искривления скважин: трещиноватость (в артиллитах, сланцах и

амфиболитах); переслаивание глинистых сланцев с мелкозернистыми слабо окварцованными песчаниками; плейчатость; зоны окварцевания, карбонатизации и пиритизации в сланцах, аргиллитах, песчаниках, альбитофирах и амфиболитах; зоны дробления и брекчирования; кварцевые прожилки в аргиллитах, сланцах, песчаниках и амфиболитах. К структурно-геологическим факторам, оказывающим влияние на искривление скважин в месторождении Кти Теберда можно отнести: плейчатость; плейчатость, секущие прожилки кварца и жилы, переслаивание гранит-мусковит-биотитовых сланцев и гнейсов; контакты амфиболитов с вмещающими породами; тектонические зоны, зоны разлома, дробления, брекчирования каолинизации и сжатия в мусковит-биотитовых сланцах и малослюдистых гнейсах; системы трещин в сланцах, гнейсах и амфиболитах; рудовмещающие трещины. Изучение большого объема фактического материала и причин, вызывающих искривление скважин, позволили обосновать необходимость изучения закономерностей естественного искривления скважин для управления траекторией ствола скважин и вопросы методики разведки на месторождениях Кти Теберда и Восточный Джимидон.

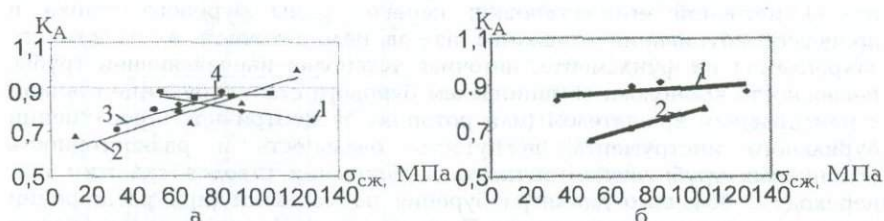


Рис.1. Зависимости коэффициента анизотропии ( $K_A$ ) от прочности горных пород на сжатие ( $\sigma_{сж}$ ): а) месторождения Восточный Джимидон. 1 – кристаллические сланцы; 2 – амфиболиты; 3 – плотные амфиболиты; 4 – граниты; б) месторождения Кти Теберда. 1 – гранат-мусковит-биотитовые сланцы; 2 – малослюдистые мусковит-биотитовые гнейсы.

**Третья глава** (методика исследований и технические средства экспериментирования) состоит из преамбулы, пяти параграфов и одного подпараграфа. В главе приводятся методика анализа статистических данных (методика исследования закономерностей естественного искривления скважин и факторов, влияющих на параметры искривления), методика оценки степени влияния различных факторов на процесс естественного искривления скважин (количественный анализ многофакторной природы рассматриваемого процесса), методика количественной оценки жесткости компоновок низа бурильной колонны (как основной элемент, формирующий направление ствола скважины), методика определения степени анизотропности и прочностных свойств горных пород, описана экспериментальная установка (для исследования

процесса формирования направления ствола скважины и параметров его искривления в зависимости от воздействия различных факторов в условиях разбуривания анизотропных и изотропных горных пород при вращающейся бурильной колонне) и ее электрическая схема. Построена многофакторная регрессионная модель естественного искривления скважин. Весь комплекс факторов, влияющих на процесс естественного искривления, на основе логического анализа, классифицирован следующим образом: геологические (анизотропность, слоистость, сланцеватость, трещиноватость и пористость горных пород; перемежаемость пород различной твердости; зоны окварцования; пустоты и каверны; степень метаморфизма пород; зоны мягких и несцементированных пород; крупные дизъюнктивные нарушения); технологические (величина осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент; частота вращения бурового снаряда; количество промывочной жидкости; наружный диаметр колонковой трубы или УБТ, толщина их стенок; длина колонковой трубы или УБТ и формы их сечения; способ разрушения породы; вид и конструкция породоразрушающего инструмента; диаметр бурильной колонны; направление вращения бурового снаряда; характер вращения нижней части бурового снаряда, угол наклона скважины) и технические (перекос рамы бурового станка из-за неточной его установки; перекос рамы бурового станка в процессе забуривания скважины из-за недостаточной жесткости его закрепления на фундаменте, неточная установка направляющей трубы; несоосность кронблока со шпинделем бурового станка; бурение станком с неисправным вращателем (или ротором) эксцентричность соединения бурильного инструмента; погнутость, овальность и разностенность колонковых труб; эксцентричность забуривания стволов скважин при переходе с большого диаметра бурения на меньший (при расширении меньшего диаметра на больший). Перечисленные факторы разнообразны как по своей природе, так и по той роли, которую они играют в формировании направления ствола скважины. Возможность учета или отсева того или иного фактора в каждом конкретном случае должна быть логически проверена. Среди множества геологических факторов основным является анизотропия механических свойств, приводящая к неодинаковой скорости бурения в различных направлениях. Технологические факторы оказывают влияние в породах любого состава и твердости на всем интервале от устья до забоя. Изложенный ход логического анализа позволяет оставить для дальнейшего рассмотрения наиболее существенные факторы, влияющие на уровень моделируемого показателя. На последующем этапе формулируется следующая задача: найти аналитическое выражение, показывающее, как связаны между собой изучаемый показатель  $y(I_\theta, I_\alpha)$  и определяющие его факторы, т.е. необходимо найти функцию:  $y = f(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_K)$ . Отобранный первичный фактический материал по 30 пробуренным скважинам систематизировался по технико-экономическим признакам и геолого-структурным особенностям разрезов. Исходя из того, что относительная



жесткость обратно пропорциональна длине компоновки, количественно оценивался показатель относительной жесткости компоновки  $C_1$  (в системе — колонковая труба — УБТ — бурильные трубы) следующей зависимости  $C_1 = C'l' = \frac{C_K}{C_\delta} \cdot \frac{l_K}{10}$ , где  $C' = \frac{C_K}{C_\delta}$  — безразмерный коэффициент относительной жесткости;  $C_K$  — относительная жесткость конструкции компоновки длиной  $l_K$  (колонковой трубы, УБТ, или колонковой трубы с УБТ);  $C_\delta$  — относительная жесткость бурильной колонны длиной  $l$ ;  $l' = \frac{l_K}{10}$  — безразмерный коэффициент относительной длины.

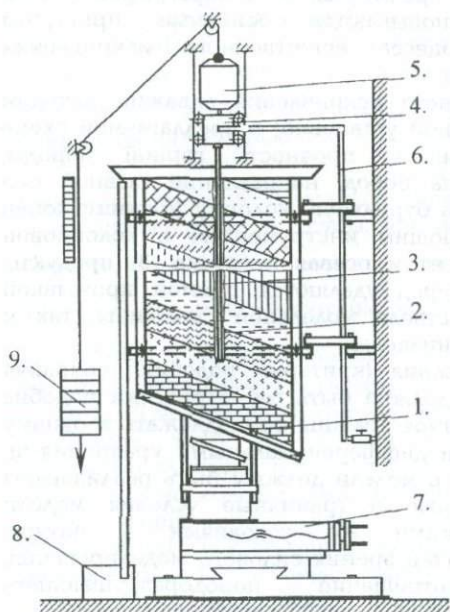


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 — блок породы; 2 — скважина; 3 — бурильная колонна; 4 — сальник — вертлюг; 5 — электродвигатель; 6 — нагнетательный шланг; 7 — суппорт; 8 — отстойник; 9 — противовес (груз).

С целью обеспечения заданного направления скважины реком — ендованы различные компоновки бурового снаряда. Для выяснения природы геологических факторов, вызывающих искривление сква — жин, из кернового материала различных горных пород было подготовлено 227 образцов (147 образцов по месторождению Восточный Джимидон и 80 — по месторождению Кти Теберда) и исследовано для определения их анизотропных и прочностных свойств. Анизотропные свойства пород исследовались при помощи ультразвукового прибора УКБ — 1М, а прочностные свойства — гидравлическим прессом типа ПСУ — 125.

На основе предварительно полу — ченных параметров моделиро — вания сконструирована специ — альная экспериментальная уста — новка (рис.2) для исследования процесса формирования ствола скважины и параметров его искривления от воздействия различных факторов в условиях разбуривания анизотропных и изотропных горных пород при

вращающейся бурильной колонне. В отличие от существующих экспериментальных установок и стенов, данная конструкция наиболее близко имитирует условия работы бурильных колонн и разрушения горных пород в реальной скважине: в процессе разбуривания модели геологического разреза (высотой 2,3 или 6,0м) формируется ствол скважины. Установка позволяет создавать осевую нагрузку до 300Н при частоте вращения от 0 до 720 об/мин. и осуществлять удаление продуктов разрушения циркулирующим потоком промывочной жидкости, отношение диаметра модельного породоразрушающего инструмента к длине бурильной колонны:  $(1,6 - 8) \cdot 10^{-3}$ .

Модели алмазных коронок армированы искусственными алмазами сорта "шлифзерно" АС15 160/125, для связки которых использован материал М1 (75% — содержание алмазных зерен в объеме), состоящий из 80% меди и 20% олова.

**Четвертая глава** (физическое моделирование процесса естественного искривления скважин) состоит из преамбулы, 3-х параграфов и 4-х подпараграфов. В главе обосновываются основные принципы физического моделирования процесса естественного искривления скважин, сохраняя природу явления.

Для изучения процесса естественного искривления скважин методом моделирования (на экспериментальной установке) в предлагаемой схеме учитывались следующие условия: 1) прочность горной породы, анизотропия свойств, угол наклона пород, направление главной оси анизотропии к оси скважины. 2) на бурильную колонну (нижний конец которого снабжен породоразрушающим инструментом и колонковой трубой) действует крутящий момент и осевая нагрузка. 3) продукты разрушения модельных горных пород удаляются прямой промывкой забоя. 4) условия трения как в стволе модельной скважины, так и реальной скважины по существу одинаковы.

Определены параметры моделирования (критерии подобия), сохраняя следующие требования: 1) модель должна быть геометрически подобна натуре; 2) процессы в модели и натуре должны принадлежать к одному классу и описываться одинаковыми дифференциальными уравнениями, 3) начальные и граничные условия в модели должны быть реализованы так, чтобы безразмерные начальные и граничные условия модели тождественно совпадали с такими же условиями в натуре. Экспериментальная установка, с точки зрения силового моделирования, обеспечивает следующее соотношение породоразрушающего

инструмента (алмазной коронки):  $\sigma_M = \sigma_N$ , или  $\frac{P_N}{F_N} = \frac{P_M}{F_M}$ , где  $\sigma$  — контактное напряжение,  $P$  — нагрузка на породоразрушающий инструмент,  $F$  — площадь контакта; в выражении и в дальнейшем все величины, отнесенные к натуре, обозначаются индексом "н", а величины, отнесенные к модели — с индексом "м". Критерии подобия режимов бурения осуществлялись при соблюдении следующих равенств:

$$\left( \frac{P}{S_K \cdot \sigma_{сж}} \right)_H = \left( \frac{P}{S_K \cdot \sigma_{сж}} \right)_M \text{ и } \varpi_H \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_H \cdot q_H}} = \varpi_M \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_M \cdot q_M}}, \text{ где } P -$$

осевая нагрузка на алмазную коронку,  $S_K$  — опорная поверхность коронки,  $\sigma_{сж}$  — прочность породы на сжатие,  $\varpi$  — угловая скорость вращения колонны,  $\varepsilon$  — эластичность стержня (бурильной колонны),

$\varepsilon = \frac{1}{EI}$ ,  $E$  — модуль упругости материала трубы,  $I$  — экваториальный

момент поперечного сечения трубы,  $q$  — масса единицы трубы: При моделировании работы бурильной колонны основывались на: 1) геометрическом подобии натуры и модели

$$\frac{d_H}{d_M} \approx \frac{d_{1H}}{d_{1M}} \approx \frac{L_H}{L_M} \approx \sqrt{\frac{F_H}{F_{M1}}} \approx \sqrt[4]{\frac{J_H}{J_M}} \approx \frac{D_H}{D_M} \approx K_1, \text{ где } d \text{ и } d_1 - \text{соот-}$$

ветственно наружный и внутренний диаметры трубы,  $L$  — длина сжатой части колонны,  $F$  — площадь поперечного сечения трубы,  $D$  — диаметр скважины,  $K_1$  — масштаб размеров поперечного сечения труб; 2) кри-

терии подобия устойчивости:

$$\frac{\lambda_\omega^2 \cdot \lambda_q \cdot \lambda_L^4}{\lambda_E \cdot \lambda_f} = 1.$$

Анализ результатов основных параметров модели позволяет сделать следующие выводы: 1) трубы, вне зависимости от их материала и при приведенных в таблице размерах при  $L_M = 5\text{м}$ , моделируют  $L_H \leq 81,75\text{м}$  бурильной колонны диаметром 63,5мм;  $L_H \leq 63,4\text{м}$  —  $\varnothing 50\text{мм}$  колонны,

$L_H \leq 52,6\text{м}$  —  $\varnothing 42\text{мм}$  колонны;  $L_H \leq 66,55\text{м}$  — ЛБТН54мм, практически эти длины полностью соответствуют направляющему участку бурильной колонны, 2) исходя из критериев подобия устойчивости, из приведенных в таблице труб в большей степени удовлетворяют трубы из нержавеющей стали  $D=4\text{мм}$  и  $d=3\text{мм}$ , 3) искусственно увеличивая  $q$  модели, можно моделировать различные длины бурильной колонны. При подборе типов горных пород для исследования на модели процесса естественного искривления скважин основывались на следующих требованиях: 1) количественном подобии физико-механических характеристик материалов горных пород модели и натуры; 2) качественном соответствии характера деформирования и разрушения материалов модели и натуры; 3) структурными и деформационными характеристиками типов горных пород. В качестве исходных материалов для модели использовались туфы различных составов, базальты, мел, травертин, каменная соль и гипс. Поперечные размеры образцов 250x250мм вполне удовлетворяют бурение 4–5 скважин на одном модельном геологическом размере. В частности пластинки горных пород

с толщиной 12–20мм можно устанавливать под разными углами к горизонту и к азимуту.

**Пятая глава** относится к результатам исследования влияния направления вращения бурильной колонны, перемежаемости пород различной твердости и степени наклона пластов, анизотропности механических свойств горных пород (при нормальных условиях и под высоким давлением) на характер искривления. Она состоит из 4–х параграфов. В настоящей главе приведены результаты впервые проведенного эксперимента:

- проверялось существующее положение о том, что при вращательном бурении геологоразведочных скважин последние в большинстве случаев отклоняются вправо при правом вращении;
- а в начальный период бурения, когда зенитный угол имеет еще небольшое значение, скважина отклоняется влево при вращении в правую сторону.

В процессе экспериментальных исследований получены следующие результаты:

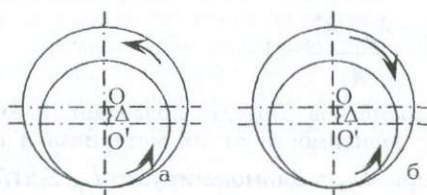


Рис.4 Форма вращения нижней части бурильной колонны: а) вокруг собственной оси и вокруг оси скважины по направлению вращения снаряда; б) вокруг собственной оси и вокруг оси скважины против направления вращения снаряда.

- все вертикальные скважины, пробуренные на модельных геологических разрезах (углы встречи скважины с элементами слоистости составляли от  $30^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ ), с вращением вправо при оптимальных режимных параметрах отклонялись вправо (дополнительным доказательством этому является и то, что на всех кернах были четко видны спиралеобразные надрезы со значительным шагом). Сле-

довательно, характерной формой вращения нижней части бурильной колонны является вращение ее вокруг собственной оси и вокруг оси скважины (рис 4) при острых углах встречи ( $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ ) и при переходе из твердых пород в мягкие было установлено отклонение азимута влево, что связано с действием центробежных сил и разницей скоростей бурения забоя и разработки стенок скважины;

- при бурении скважин на "винтовом" разрезе (углы падения пластинок горных пород модели составили  $5^{\circ}$ – $17^{\circ}$ , а азимут

изменился от  $47^{\circ}$  до  $330^{\circ}$ ), отклонение "правых" скважин составило от 2 до 3 см, а скважины, пробуренные с левым вращением, сохраняли свое вертикальное направление с незначительным отклонением (3мм) влево на глубине 1,5м.

- ствол скважины скользит по плоскости контакта мягкой породы с более твердой при углах встречи  $8-10^{\circ}$ , если прочность мягкой породы 9,9 МПа, а твердой породы – 20,8МПа;
- при прочности контактных пород соответственно 5,1 и 20,8МПа, критический угол встречи составляет  $10-13^{\circ}$ . В тех случаях когда углы встречи превосходили критические углы встречи, наблюдалось внедрение породоразрушающего инструмента в твердую породу.
- при углах встречи  $35-45^{\circ}$  набор зенитного угла более интенсивный ( $I_0=0,2$  град/м) и плавный (при мощности слоев пород 0,02м и длине колонковой трубы 0,1м) (рис.5). А при мощности слоев 0,45–0,5м (длина колонковой трубы 0,1м) траектория скважины представляла собой ломаную линию (с интенсивностью зенитного искривления  $I_0=0,02$  град/м), как показано на рис.6, при этом интенсивность искривления ограничивается вписываемостью колонкового снаряда и его жесткостью (EI).

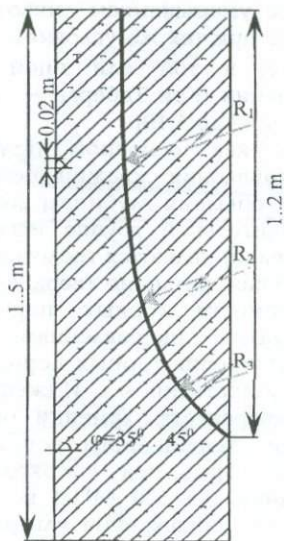


Рис.5. Частое перемеживание пород модельного разреза.

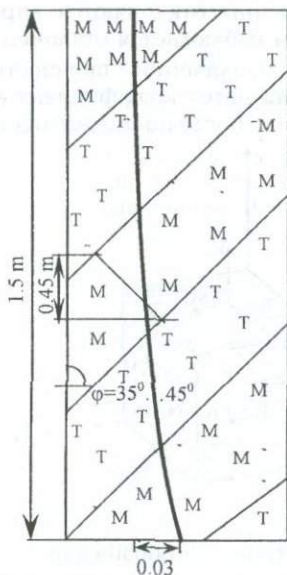


Рис.6. Перемеживание пород модельного разреза, когда длина колонковой трубы намного меньше мощности слоев.

Исходя из того, что определение анизотропии на керновых образцах не полностью характеризует анизотропность массива, то целесообразно ее определение на модельных геолого – структурных разрезах, используя упругие свойства горных пород.

С этой целью были созданы модельные геолого – структурные условия из натуральных горных пород и ультразвуковым прибором УКБ – 1 определены скорости распространения ультразвука в различных сечениях по нескольким взаимно – перпендикулярным направлениям. После обработки экспериментальных данных выявлены корреляционные зависимости между зенитными и азимутальными углами стволов скважин и квазианизотропностью горных пород модели:  $\theta = 12,32 - 10,5 \cdot k_K$ ,  $\alpha = 8,51 - 11 \cdot k_K$ , где  $\theta$  и  $\alpha$  – соответственно зенитные и азимутальные углы,  $k_K$  – квазианизотропность горных пород. Анализ экспериментальных данных и результатов определения анизотропных свойств горных пород месторождений Восточный Джимидон и Кти Теберда, позволяет сделать следующие выводы:

- при углах встречи оси скважины с напластованием пород  $60^\circ$  (увеличивается анизотропия механических свойств горных пород) интенсивность зенитного искривления увеличивается и скважины отклоняются вправо, а с уменьшением анизотропности наблюдается отклонение влево при тех же условиях;
- при увеличении прочности пород в той или иной мере уменьшается коэффициент анизотропии (Кти Теберда – от 1,55 до 1,15; Восточный Джимидон – от 1,42 до 1,19).

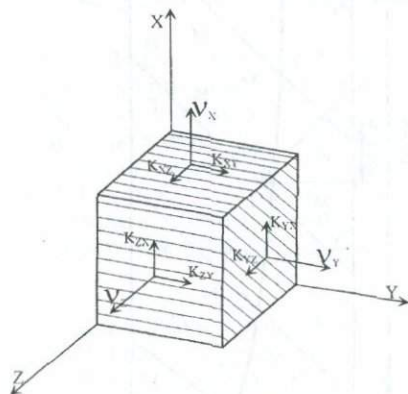


Рис. 7. Схематическое обозначение направления ультразвуковых волн ( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ ) и показателей анизотропии ( $K_{xy}$ ,  $K_{xz}$ ,  $K_{yx}$ ,  $K_{yz}$ ,  $K_{zx}$ ,  $K_{zy}$ )

Так как основной причиной искривления скважин (особенно при больших глубинах, согласно значительной группе исследователей) являются геологические условия: различие твердости или буримости горных пород по разным направлениям, т.е. анизотропия горных пород, то в Государственном Инженерном Университете Армении определяли степень анизотропии горных пород под высоким давлением (до 100 МПа) по скорости прохождения ультразвука по специально разработанной методике и средствам.

Ультразвуковой прибор "Искра – 226", ДВК – 3, который генерирует ультразвуковые колебания в диапазоне 100 –

2000 кГц, позволяет определить параметры анизотропии у пород со скрытой, визуально невидимой внутренней слоистости, а также у магматических пород, где индикатором анизотропии выступает направление кристаллизации. Измерение проводилось в трехосных взаимно перпендикулярных направлениях образцов, которые находились в сжатом состоянии со всех сторон (под давлением от 0 до 10 килобар). Из рисунков 8а и 8б видно, что для этого образца породы характерны две оси симметрии кривой, отражающей изменение показателя анизотропии по модулю упругости. Аналогичную, но несколько видоизмененную форму, имеют кривые показателя анизотропии по радиальным ( $E_{xy}$ ) и тангенциальным ( $E_{xz}$ ) направлениям.

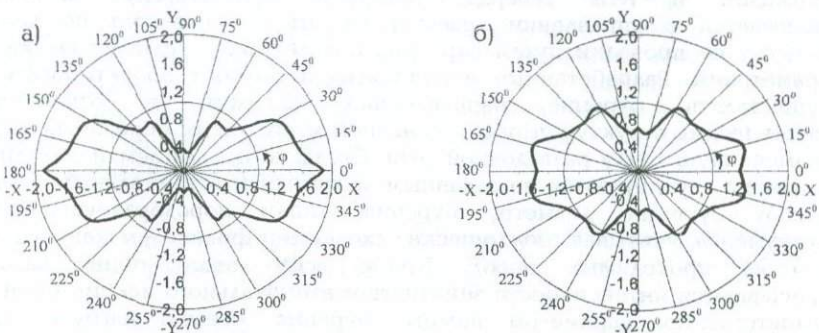


Рис.8. Полярные диаграммы показателя анизотропии амфиболита по модулю упругости  $E$  под высоким давлением  $P$  при: а)  $P=0$  МПа, б)  $P=40$  МПа.

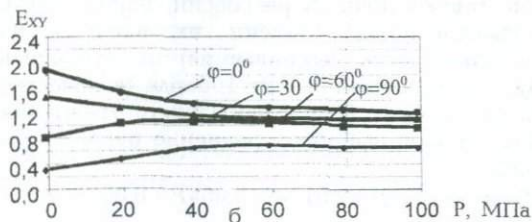
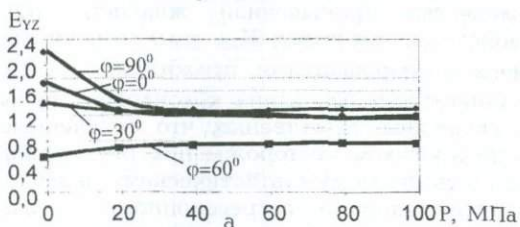


Рис.9. Зависимости показателя анизотропии а)  $E_{yz}$  и б)  $E_{xy}$  от всестороннего давления ( $P$ ) и угла плоскости напластования ( $\varphi$ ).

Результаты экспериментального определения показателей анизотропии амфиболитов по акустическим свойствам ( $K_{xy}, K_{xz}, K_{yz}$ ) и расчетный показатель анизотропии по упругости ( $E_{xy}, E_{xz}, E_{yz}$ ) под разными углами сланцеватости и давления резко уменьшаются модули упругости, соответственно и показатели анизотропии в зависимости от направления

напластования в 1,5–2 ра–за, а под давлением от 40 до 100 МПа существенного изменения не происходит. Это объясняется тем, что в условиях равномерного всестороннего сжатия, в зависимости от текстуры пород, происходит либо упругая, либо остаточная деформация. Так как процесс искривления скважин формируется на забое скважины при сильном взаимодействии породоразрушающего инструмента и горной породой, и, если она анизотропна, то интенсивность искривления может возрастать многократно. Эти зависимости можно использовать при проектировании и управлении траекторией скважин.

**Шестая глава** посвящена управлению траекторией скважин технико–технологическими приемами на примере месторождений Восточный Джимидон и Кти Теберда. Сущность предлагаемой методики заключается в управлении траекторией стволов скважин по всему процессу ее проведения путем варьирования технико–технологическими параметрами. Разработанные мероприятия позволяют проектировать и осуществлять бурение направленных скважин в отношении геологических структур, чтобы в конечном итоге таким образом попасть в намеченную точку разведочной сети. Согласно предлагаемой методике скважины группируются по заданным зенитным и азимутальным углам, способу бурения, диаметру бурения, типам породоразрушающего инструмента, учитывая геологические сходства и физико–механические свойства проходимых пород. Кроме всего этого поинтервально записываются интенсивности зенитного и азимутального искривлений и, соответственно, параметры режима бурения: осевую нагрузку ( $P$ ), частоту вращения ( $n$ ), количество промывочной жидкости ( $Q$ ), анизотропию механических свойств горных пород ( $K_A$ ), углы встречи оси колонковой трубы с тектоническими нарушениями, прожилками ( $\beta$ ) и с плоскостями слоистости и сланцеватости ( $\psi$ ), длина колонковой трубы ( $l_{кт}$ ), средний зенитный угол скважины. Естественно, что отмеченные параметры могут участвовать не в каждом месторождении. Все группы со своими подгруппами подверглись строгому статистическому анализу. Программа многофакторного корреляционно–регрессионного анализа позволила получить уравнение множественной регрессии, ранжировать независимые переменные (факторы) по степени их влияния на результативный признак (интенсивность искривления) и отбросить несущественные факторы. Для месторождения Кти Теберда (в качестве примера) рассмотрим работы программы "Поиск наилучшего уравнения регрессии". Для первой группы, первой выборки уравнение регрессии в первом приближении имеет вид:

$$I_{\theta} = 0,313K_A + 0,008\varphi - 0,005\psi + 0,003\beta + 0,017V + 0,004P + 0,001n + \\ + 0,002Q - 0,206l_{кт} + 0,037\theta_{cp} - 5,107.$$

В первом приближении доверительные интервалы коэффициентов регрессии всех независимых переменных проходят через нуль. После второго приближения, сбрасывая независимую переменную  $\varphi$  – угол сланцеватости, частный  $F$ –критерий которого самый минимальный



(0,052), R — коэффициент множественной корреляции уменьшается от 0,922 до 0,921, а остаточное стандартное отклонение уменьшается от 0,228 до 0,214, увеличивается также надежность коэффициентов регрессии. Это объясняется тем, что при отбрасывании несущественных факторов уменьшается возможное влияние между независимыми факторами воздействующих случайным образом на результирующий признак (интенсивность искривления). Аналогичным образом отбрасываются все несущественные независимые переменные, пока не получится наилучшее уравнение в смысле метода исключения. В шестом приближении (для данной выборки) получаем наилучшее уравнение регрессии:

$$I_{\theta} = -0,008\psi + 0,019V + 0,002n + 0,003Q - 0,222l_{\text{КТ}} - 1,453.$$

Для этого уравнения коэффициент корреляции  $R=0,891$ , а остаточное стандартное отклонение — 0,204. Из уравнения видно, что на интенсивность зенитного искривления самое существенное влияние имеет длина колонковой трубы, а частота вращения снаряда и количество промывочной жидкости (регулируемые параметры) имеют почти одинаковое воздействие.

Таблица 1

Зависимость интенсивности зенитного искривления ( $I_{\theta}$ ) от независимых факторов. Месторождение Кти Теберда, группа 1, интервал бурения 0 — 180 м.

$I_{\theta}$ , град/м	$l_{\text{КТ}}$ , м	$n$ , об/мин	$I_{\theta} = -0,008\psi + 0,019V + 0,002n + 0,003Q - 0,222l_{\text{КТ}} - 1,453$
0,5	—	880	Среднее значение независимых переменных в данном интервале бурения: регулируемых параметров $n = 231$ об/мин $l_{\text{КТ}} = 4,82$ м $Q = 31,6$ л/мин. нерегулируемых параметров $\psi = 42^{\circ}$ $V = 79,1\%$ Среднее значение остальных параметров: $K_{\Delta} = 1,41$ ; $\varphi = 71^{\circ}20'$ ; $\beta = 28^{\circ}10'$ ; $P = 654$ кгс; $\theta_{\text{ср}} = 16^{\circ}45'$ .
0,4	—	830	
0,3	—	780	
0,2	0,32	730	
0,1	0,76	680	
0,0	1,22	630	
-0,1	1,67	580	
-0,2	2,12	530	
-0,3	2,57	480	
-0,4	3,02	430	

Аналогично получено уравнение регрессии для каждой выборки, при помощи которых найдены определенные значения регулируемых параметров, что дает возможность изменить направление и темп искривления скважин. В таблице 1 приведена зависимость интенсивности зенитного искривления ( $I_{\theta}$ ) от независимых факторов для месторождения Кти Теберда (группа 1, интервал бурения 0 — 180 м), а на рисунке 10 показана зависимость интенсивности зенитного искривления от числа оборотов и длины колонковой трубы.

Обнаруженные закономерности, вызывающие естественное искривление скважин, имеют большое практическое значение, так как позволяют решить ряд важных задач при выполнении геологоразведочных работ: 1) осуществлять направленное бурение скважин с минимальными затратами средств и времени; 2) проектировать реальные (типовые) технических условиях; 3) определять реальные нормы допустимого ис –

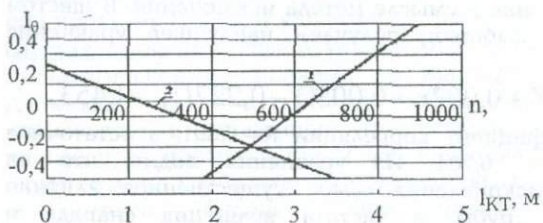


Рис.10. Зависимости интенсивности зенитного искривления ( $I_0$ ) от: 1 – числа оборотов  $I_0 = 0,002n - 1,26$ ; 2 – длины колонковой трубы  $I_0 = -0,22 l_{КТ} + 0,27$ .

кривления скважин и значений начальных углов их заложения; 4) уточнять геологические структуры, руководствуясь направлением искривления скважин.

В заключении (выводы) сформулированы и обобщены основные результаты диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНО- СИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Исследованы процессы естественного искривления скважин, проведенные на месторождениях Восточный Джимидон и Кти Теберда методом множественного корреляционно – регрессионного анализа, оценена степень влияния различных факторов на характер искривления скважин. Показано, что:

- факторы, влияющие на интенсивность искривления, ранжируются по величине их частных коэффициентов корреляции, так как они являются относительными характеристиками силы влияния каждого фактора при постоянстве остальных, участвующих в анализе;
- незначительное изменение того или иного весомого регулируемого (техничко – технологического) параметра приводит к существенному изменению интенсивности искривления.

2. На модельных "массивах" путем экспериментирования выявлены характер влияния геологических (нерегулируемых) и технико – технологических (регулируемых) факторов на направление и интенсивность искривления скважин.

3. Установлены закономерности изменения степени анизотропности модуля упругости горных пород "массива" модели в зависимости от параметров структурных элементов.
4. Установлены закономерности изменения показателя анизотропии модуля упругости горных пород от всестороннего давления ( $P=0 \div 100$  МПа) и угла плоскости напластования ( $\varphi=0 \div 90^\circ$ ), а также оси симметрии.
5. Методом приближенного моделирования, основываясь на критерии подобия природы и модели, определены параметры экспериментальной установки, удовлетворяющей критерию разрушения горной породы, режимов бурения, упругое состояние бурильной колонны.
6. Разработана и оценена относительная жесткость компоновок нижней части бурильной колонны для бурения в заданном направлении в месторождениях Кти Теберда и Кизил Дере, удовлетворяющие условиям вписываемости.
7. На основе разработанной методики и составленной программы определены оптимальные технико-технологические параметры бурения геологоразведочных скважин для регулирования траектории их стволов на месторождениях Восточный Джимидон и Кти Теберда.

**Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:**

- [1] **Акопян Р.З.** //Пути повышения эффективности направленных скважин на месторождениях Северного Кавказа. Доклад на конференции "Проблемы научно-технического прогресса в бурении геологоразведочных скважин". Томск, 1979.
- [2] **Ганджумян Р.А., Акопян Р.З.** //Исследование процесса естественного искривления скважин на экспериментальной установке в условиях, приближенных к реальным. Доклад на XX научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ВГУЗ-ов Закавказья, Ереван, 1982.
- [3] **Ганджумян Р.А., Акопян Р.З.** //Использование закономерностей естественного искривления скважин при направленном бурении. Инф. листок АрмНИИТИ Госплана Арм.ССР, сер.38.59.15 "Горное дело" №7, 1982.
- [4] **Ганджумян Р.А., Акопян Р.З., Кочарян Г.Б., Мартиросян О.М. Авакян А.Х.** //Результаты исследований анизотропности горных пород ультразвуковым методом на примере месторождений Северного Кавказа. "Физические свойства при различных термодинамических условиях и горногеологические характеристики горных пород Армении", межвузовский тематический сборник научных трудов по геологии, горному делу, минералогии и металлургии. Ереван, 1983.
- [5] **Ганджумян Р.А., Акопян Р.З.** //Методика количественной оценки жесткости компоновок низа бурильной колонны. Известия ВУЗ-ов. Геология и разведка. 1983, №2, с.135-136.

[6] Գանդումյան Ռ. Ա., Հակոբյան Ռ. Չ., Հանքավայրերի հետախուզումը ուղղորդված և բազմափողային հորատանցքերով: «Գիտություն և տեխնիկա», №4, Երևան, 1984, էջ 24-27

[7] Акоюн Р.З., Мелентьев Н.Я., Андреев Ю.П. //Прогнозирование трассы направленной скважины с применением ЭВМ на примере Кти Тебердинского месторождения. Экспресс – информация ВИЭМС. Мин – во геол. СССР в.3, серия "Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства", Москва, 1984, с.7 – 10.

[8] Ганджумян Р.А., Акоюн Р.З. //Методика оценки степени влияния различных факторов на процесс естественного искривления скважин на примере месторождения Кти Теберда. Депонирован во ВНИИТИ №8АР – Д84 от 17.05.84г., Москва, 1984.

[9] Ганджумян Р.А., Акоюн Р.З. //Стенд, моделирующий искривление скважин. Межвузовский научно – тематический сборник Минвуза РСФСР, СГИ, Свердловск, 1985, с 17 – 19.

[10] Ганджумян Р.А., Акоюн Р.З. //Поиск критериев оптимизации направленного бурения скважин методом физического моделирования. Межвузовский тематический сборник научных трудов по геологии, горному делу, минералогии и металлургии, Ереван, 1986, с 22 – 25.

[11] Акоюн Р.З. //Методика проектирования и управления трасс естественного искривляющихся скважин. Годичная научная конференция ГИУА – Сборник материалов – том 2, Ереван, ГИУА 2001, с 467 – 468.

[12] Акоюн Р.З. //Исследование показателя анизотропии горных пород под высоким давлением по скорости прохождения ультразвука. Информационные технологии и управление. Ереван, 2002, с.147 – 154.

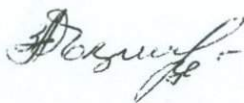
[13] Акоюн Р.З. //О механизме естественного искривления скважин. Годичная научная конференция ГИУА. – Сборник материалов т.2, Ереван, ГИУА 2002, с.416 – 417.

## ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ատենախոսության աշխատանքը նվիրված է օգտակար հանածոների հանքավայրերի որոնման և հետախուզման ժամանակ երկրաբանահետախուզական հորատանցքերի բնական թեքման օրինաչափությունների օգտագործմանը՝ նպատակ ունենալով ուղղորդված հորատանցքերը հորատել առավել օպտիմալ հետազոտելով, ապահովելով օգտակար հանածոների հանքակուտակների հատումը նախագծով նախատեսված կետերում, իրականացնելով հնարավորին փոքր ծավալի հորատման աշխատանքներ:

Մոդելավորման (ֆիզիկական և մաթեմատիկական) և փորձարարական հետազոտություններով ի հայտ են բերված հորատանցքերի թեքման բնույթի և ինտենսիվության վրա ազդող երկրաբանական (ոչ ղեկավարվող), տեխնիկական և տեխնոլոգիական (ղեկավարվող) գործոնների ազդեցությունները ու նրանց օրինաչափությունները կախված երկրաբանատեխնիկական պայմաններից: Ի հայտ է բերված ապարների մոդելային «զանգվածի» անիզոտրոպության աստիճանի փոփոխության ազդեցությունը հորատանցքի փողի թեքման բնույթի ու չափի վրա: Փորձարարության արդյունքներում գնահատվել են ապարների անիզոտրոպության ցուցանիշները և նրա կախվածությունը համակողմանի բարձր ճնշումներից (մինչև 100 ՄՊա), շերտավորվածության ու թերթայնվածության հարթությունների անկյուններից: Փորձարարական կայանքով և ֆիզիկական մոդելավորման ճանապարհով ընտրվել են հորատման խողովակայան ստորին մասի (ուղղորդ տեղամասի) կազմի հնարավոր թույլատրելի չափերը:

Բազմագործոնային կոռելյացիոն-ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդով բացահայտվել և գնահատվել են հորատանցքերի բնական թեքման ինտենսիվության վրա միաժամանակյա ազդող գործոնները, իսկ ռեգրեսիայի լավագույն հավասարման միջոցով ընտրվել են տեխնիկա-տեխնոլոգիական առավել կշռային գործոնները, որոնցով հնարավոր է ղեկավարել հորատանցքի դիրքը տարածության մեջ ու օպտիմալացնել հորատման գործընթացը:



1948