

МШС-202

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ**

На правах рукописи

УДК 622.242-622,245

БОБРОВСКАЯ ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДВОЙНОЙ БУРОВОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ
СКВАЖИН В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ.**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Институте Горного Дела и Горных Технологий при КГТУ и Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Научный руководитель: кандидат технических наук, старший научный сотрудник Анохин А.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Пахомов П.И.
кандидат технических наук, доцент Кондратьев В.П.

Ведущее предприятие: Государственное агентство по геологии и минеральным ресурсам при правительстве К.Р.

Защита состоится " 23 " июня 2006 г. в " 14⁰⁰ " часов на заседании диссертационного совета Д 05.05.297 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики, по адресу: г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в архиве Института машиноведения НАН КР и библиотеке ИГД и ГТ

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23. Институт машиноведения НАН КР, Диссертационный совет Д 05.05.297, факс: (0312) 422785, (0312) 541140.

Автореферат разослан " 16 " мая 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 05.05.297, канд. техн. наук



Анохин А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Одной из задач при бурении скважин является установление характера связи и соотношения величин между режимными параметрами, действующими на забое скважины и непосредственно на буровом станке. Выявление закономерности изменения режимных параметров бурения по мере углубления забоя скважины позволяет не только более точно оценивать эти данные, но и влиять на них в нужном направлении.

Современные буровые машины с использованием двойной буровой колонны позволяют осуществлять регулирование режимных параметров установленных как непосредственно на буровом станке, так и на забое скважины и с минимальными потерями. Применение подобных снарядов позволяет существенно изменить технологию проходки глубоких скважин, повышает качественные показатели режимных параметров на забое и улучшает характеристики самой скважины.

Двойная колонна независимо от конструкции и технологических особенностей ее составных частей обладает более большей жесткостью и устойчивостью на продольное сжатие, и поперечный изгиб. Вследствие этого мощность, передаваемая на забой может быть увеличена.

Двухприводные буровые колонны позволяют разделить энергию, передаваемую на забой, на два потока. Как правило, по наружной колонне передается энергия достаточная лишь для оконтуривания стенок скважины, а в большей мере она служит для защиты внутренней колонны труб от взаимодействия со стенками скважины. Кроме того, она обеспечивает сохранность стенок скважины от обрушения. Это позволяет значительно снизить потери механической энергии в скважине при бурении в осложненных условиях.

Отмечено, что применение подобных средств позволяет существенно изменить технологию проходки глубоких скважин в осадочных породах с включением обломочного материала, повысить качественные показатели режимных параметров на забое и улучшить характеристики самой скважины по таким важным показателям как искривленность скважины и устойчивость ее стенок от обрушения.

Цель работы: Разработка новых технологических методов бурения и технических средств контроля пространственного положения бурового снаряда, обеспечивающих высокоэффективную проходку глубоких скважин в осложненных условиях.

Задачи исследования:

1. Исследование факторов, влияющих на искривление скважин в сложных горно-геологических условиях и анализ используемых средств контроля пространственного положения снаряда в скважине.
2. Выбор и обоснование наиболее эффективной технологии бурения наклонных и горизонтальных скважин в осложненных условиях с уменьшением диссипативных потерь.

3. Разработка методов и технических средств, снижающих искривление скважин в перемежающихся горных породах.

4. Разработка математической модели бурового комплекса с многопролетной буровой колонной и анализ статических и динамических характеристик в зависимости от ее протяженности, нагрузок и геометрических параметров.

Научная новизна работы: выполнен обзор и проведен анализ тенденции развития контрольно-измерительной аппаратуры пространственного положения ствола скважины в заданной точке, а также предложена новая методика и устройство для измерения интенсивности искривления различных участков скважины;

разработанная математическая модель бурового комплекса с многопролетной буровой колонной, позволяет рассчитывать на ЭВМ динамические характеристики составляющих его элементов, в зависимости от длины колонны, геометрических размеров, материала, длины пролета между опорами и действующих на колонну нагрузок.

Практическая ценность работы. Результаты исследований могут быть рекомендованы проектным организациям, разрабатывающим и создающим буровую технику различного технологического назначения, а также вузам для использования в учебном процессе.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- способ и устройство для оперативного контроля кривизны скважины на ее различных участках с высокой точностью измерений по азимуту и углу наклона;

- математическая модель бурового комплекса с многопролетной двойной буровой колонной большой протяженности;

- результаты компьютерного моделирования и исследования устойчивости буровой системы с многопролетной буровой колонной, имеющей различные параметрические характеристики;

- впервые установлено, что динамическая устойчивость буровой колонны диаметром в пределах 45 мм, при заданных жесткостных параметрах, обеспечивается при длине пролета между центрирующими опорами не превышающей 3,6 метра.

Личный вклад соискателя заключается в следующем:

- построена физическая модель буровой машины с двойной колонной с раздельным приводом;

- исследованы факторы, влияющих на искривление скважин при бурении в осложненных условиях и проведен анализ используемых средств контроля пространственного положения снаряда в скважине;

- разработано устройство для измерения параметров кривизны скважины при горизонтальном и наклонном бурении;

- выбрана и обоснована наиболее эффективная технология бурения наклонных и горизонтальных скважин в осложненных условиях минимальными диссипативными потерями;

- разработаны технические средства и методы, снижающие искривление скважин в перемежающихся горных породах;

- разработана математическая модель бурового комплекса с многопролетной буровой колонной и проведен анализ статических и динамических характеристик в зависимости от протяженности буровой колонны, действующих на нее нагрузок, а также ее геометрических параметров.

Апробация работы: Основные результаты и отдельные положения диссертационной работы докладывались и были одобрены на научных конференциях: КГ-МИ (1999, 2000, 2003, 2005) г.г., КТУ (1999.) г., в институте Машиноведения НАН КР (1999, 2000, 2004) г.г.

Публикации результатов исследований: По результатам выполненных исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе патент КР №849 от 30.12. 2005 г.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 140 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 2 таблицы, список использованных источников из 73 наименований.

Автор признателен и выражает огромную благодарность д.т.н., академику МИА, профессору **Абдраимову С.А.** за научную и методическую консультацию при выполнении данной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, отражена научная новизна и практическая ценность, цель и задачи исследований.

В первой главе проведен анализ бурения направленных скважин в осложненных условиях. В последнее время появились разработки буровых снарядов применяющие двойную колонну труб. На рис. 1 показана физическая модель буровой машины с двойной двух приводной колонной.

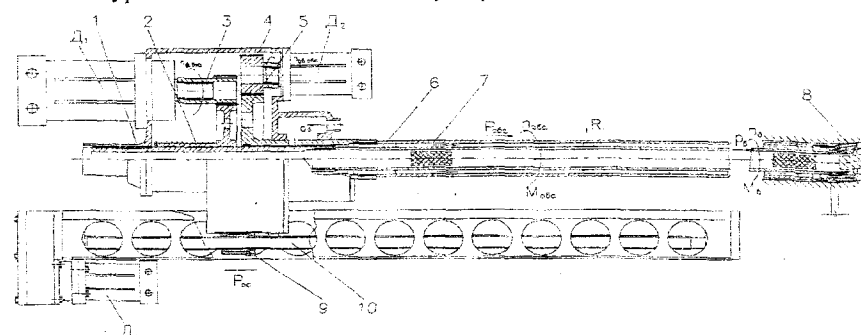


Рис 1. Физическая модель буровой машины с двойной двух приводной колонной.

D_1 - двигатель буровой колонны; D_2 - двигатель обсадной колонны; D_3 - двигатель подачи; 1 - шпиндель; 2 - зубчатое колесо; 3 - приводная шестерня главного привода; 4 - приводная шестерня обсадной колонны; 5 - приводное колесо обсадной колонны; 6 - внутренняя колонна; 7 - наружная колонна; 8 - буровая коронка; 9 - гайка подачи; 10 - ходовой винт.

Данная буровая машина позволяет осуществлять проходку скважин в осложненных условиях с минимальными энергозатратами. Современные

буровые машины с использованием двойной буровой колонной позволяют осуществлять бурение скважин в осложненных условиях с высокой точностью проходки. Двойные двухприводные колонны имеют множество вариантов их конструктивного и технологических исполнений. Некоторые из них представлены на рис.2.

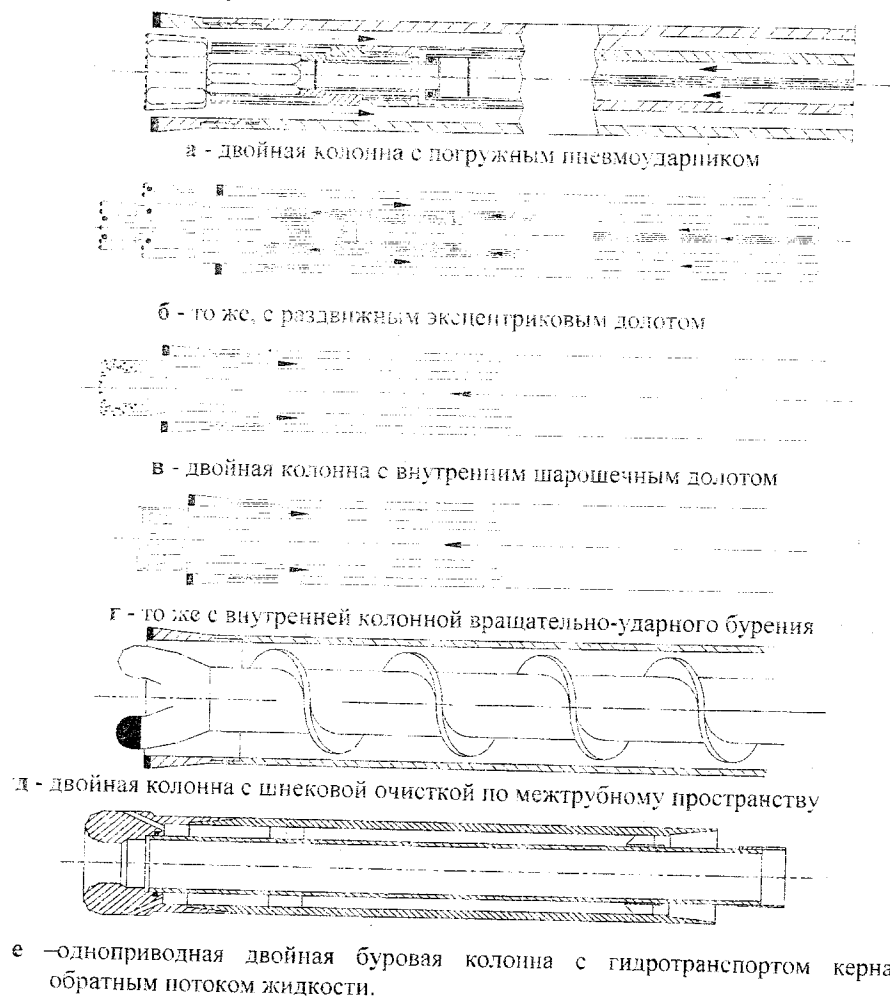


Рис.2. Схема вариантов двойной буровой колонны.

В данных конструкциях двойных буровых колонн энергия от бурильного механизма передается одновременно на две различные коронки. Причем очистной агент поступает по внутренней колонне, а шлам удаляется по межтрубному каналу, что может привести к застыбровке.

Учитывая недостатки, которые имеются в данных разработках, нами предлагается двойная двухприводная буровая колонна с центрирующими опорами, представленная на рис.3.

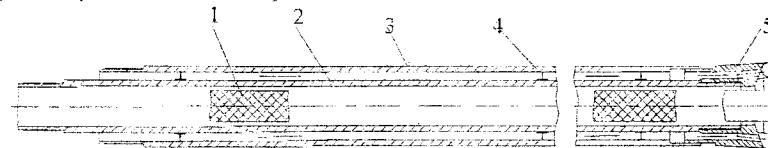
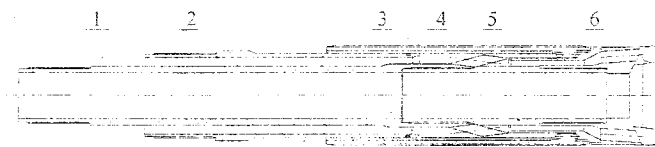


Рис.3. -Двойная колонна с центрирующими опорами.

1- керн, 2- внутренняя буровая колонна, 3- наружная колонна, 4- центратор, 5- коронка.

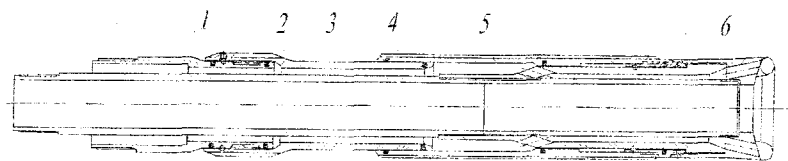
Одной из главных отличительных особенностей предлагаемой конструкции является то, что в ней удается реализовать возможность передачи практически всей энергии от бурильного механизма до забоя. Это достигается тем, что осевая нагрузка и крутящий момент передается по внутренней буровой колонне, установленной относительно наружной на подшипниковых опорах. Конструкция подшипниковых опор выполнена таким образом, чтобы обеспечить свободное прохождение очистного агента по межтрубному пространству двойной буровой колонны от станка до забоя скважины. Транспортировка буровой мелочи осуществляется по центральному каналу внутренней буровой колонны, что практически не влияет на сопротивление ее вращению.

Для эффективной работы данной конструкции буровой колонны необходим специальный головной снаряд. На рис.4. представлены различные варианты снарядов - забурников для двойной колонны труб с указанной технологией бурения.



а. Забурник с не вращающимся центратором
1- переходник, 2- хвостовик обсадной колонны, 3- не вращающийся центратор, 4- втулка уплотнительная, 5- кернаприемник, 6- коронка.

б. Забурник с пружинным компенсатором
1- хвостовик буровой колонны, 2- хвостовик обсадной колонны, 3- центратор, 4- пружина, 5- втулка упорная, 6- коронка.



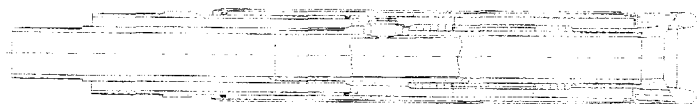
в. Забурник с не вращающимся центратором и хвостовиком

- 1- переходник обсадной колонны, 2- не вращающийся хвостовик,
3- хвостовик буровой колонны, 4- центратор, 5- переходник, 6- коронка.



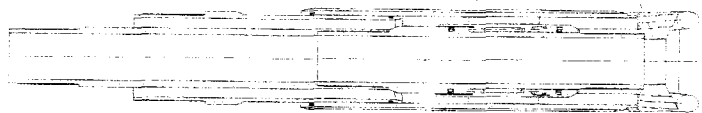
г. Забурник с вращающимся центратором

- 1- хвостовик обсадной колонны, 2- хвостовик буровой колонны,
3- вращающийся центратор, 4- переходник, 5- коронка



д. Забурник с керноломом

- 1- центратор обсадной колонны, 2- наружный центратор, 3- хвостовик буровой колонны, 4- кернолом, 5- опорный центратор, 6- коронка.



е. Забурник с подшипниковой опорой

- 1- хвостовик буровой колонны, 2- центратор обсадной колонны, 3- наружный центратор, 4- переходная втулка, 5- опорный центратор, 6 - коронка.

Рис. 4. Снаряды-забурники для двойной двухприводной колонны с центрирующими опорами.

Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, а также различную область применения. Разработанная нами конструкция и технология бурения двойной колонной труб является на сегодняшний день единственной, обеспечивающей наряду с высокими технологическими показателями минимальные энергетические потери при передаче мощности от бурового станка к породоразрушающему инструменту.

Во второй главе приведены способы и устройства для оперативного контроля кривизны наклонных скважин.

Систематический контроль искривления скважины в процессе бурения дает возможность получить полное представление о характере изменения направления бурения. Наиболее точное расположение ствола в скважине в пространстве дают измерительные приборы - инклинометры. Основные типы серийных инклинометров представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1 серийные инклинометры, используемые в практике, не обладают достаточной точностью.

Для измерения кривизны наклонных и горизонтальных скважин нами предлагается лазерный инклинометр с переменной измерительной базой, представленный на рис. 5. На данный инклинометр получен патент КР №849 от 30.12.05 года. Устройство включает два автономных блока, на одном из которых установлен источник света, а на другом - фиксатор отклонения светового луча, выполненный в виде набора фотоэлементов, расположенных по периметру ориентированного диска, и имеющего возможность перемещения относительно источника света. Новым в устройстве является снабжение каждого блока индивидуальным приводом перемещения. При этом блок фиксатора светового луча снабжен автоматически выключателем с возможностью действия от сигналов с фотоэлементов. Снабжение каждого блока устройства индивидуальным приводом перемещения обеспечивает возможность неограниченного увеличения измерительной базы устройства на участках с малой кривизной. Это позволяет сократить количество замеров при измерении скважины определенной длины, что снижает величину суммарной погрешности измерений и, тем самым, повышает точность измерения. Устройство позволяет производить пошаговые замеры искривления участков наклонных и горизонтальных скважины любой кривизны.

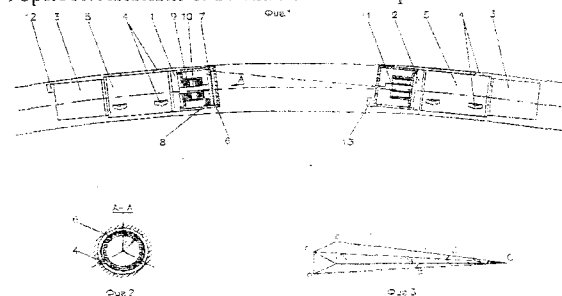


Рис. 5 Лазерный инклинометр с переменной измерительной базой.

В третьей главе проведен анализ устойчивости буровой колонны с использованием промежуточных опор при различных нагрузках. Установлено, что применение промежуточных опор обеспечивает высокую продольную устойчивость буровой колонны при бурении протяженных скважин. При этом возникает вопрос о необходимом количестве промежуточных опор и оптимальном расстоянии между опорами. Буровая колонна рассматривалась как многоопорный, упругий стержень постоянного сечения. Задача решалась с использованием формулы Эйлера.

Технические характеристики используемых серийных инклинометров

Таблица 1

Наименование	Известный инклинометр	Фотоинклинометр	Гирескопические инклинометры		Малые инклинометры			Мелкие инклинометры				
			ИНС-2, ИН-70, ИН-50	Малыш-1	ОК-40	БУ-10-3	ИМТ-5М	ИНС-1	ИНС-100	ИНС-2	ИНС-4	ИНС-48
Параметры	ИНС-2	АИНС-1	ИНС-2, ИН-70, ИН-50	Малыш-1	ОК-40	БУ-10-3	ИМТ-5М	ИНС-1	ИНС-100	ИНС-2	ИНС-4	ИНС-48
Длина оси инклинометра, град	1-90	±30°	3-60°	±0-180°	2-180	±90°	30°	0-15°	5°-110°	0-80°	0-50	0-50
Поперечный размер инклинометра	±30°	±30°	±60°	±0-20°	±1°	±1,0°	±0,33°	±0,25°	±0,100°	±30°	±15°	±15°
Пределы измерения угла	±30°	±30°	±60°	±0-20°	±1°	±1,0°	±0,33°	±0,25°	±0,100°	±30°	±15°	±15°
Поперечность диаметра угла	±4°	±4°	±2-4°	±2-4°	±5°	±0,50°	±0,360°	±0,360°	±0,360°	±40	±30	±30
Поперечность диаметра угла	±4°	±4°	±2-4°	±2-4°	±5°	±0,50°	±0,360°	±0,360°	±0,360°	±40	±30	±30
Количество измерений за один стук	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Исполнение исполнения, град	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Поперечность исполнения	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Температура работы инклинометра, С	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Длина инклинометра, мм	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаметр корпуса, мм	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Вес, кг	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Время измерения, сек	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1
Напряжение питания инклинометра, В	100	100	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1

Известно, что критическая сила $P_{кр}$ определяется следующей зависимостью:

$$P_{кр} = \frac{EJ\pi^2}{l^2}; \tag{1}$$

где E - модуль упругости стержня (H/m^2);
 J - осевой момент инерции (m^4);
 l - длина колонны (м).

Учитывая то, что в промежуточных опорах смежные участки имеют общие касательные, то для многопролетной буровой колонны $P_{кр}$ будет определяться по следующей формуле:

$$P_{кр} = \frac{9EJ\pi^2}{l^2} = \frac{EJ\pi^2}{l_1^2}; \tag{2}$$

$$P_{кр} = \frac{EJ\pi^2}{l_1^2} = \frac{4EJ\pi^2}{l^2}; \tag{3}$$

Анализ выражений (1), (2) и (3) показывает, что значение критической силы для рассматриваемой схемы закрепления става описывается идентичной зависимостью, в связи с этим значение критической силы для многопролетной буровой колонны можно представить в виде функции:

$$P_{кр} = \frac{EJ\pi^2(n-1)^2}{l^2} \tag{4}$$

где n - число опор колонны.
 Выражение (4) справедливо для любого количества n .

Для принятой конструкции буровой колонны с учетом ее реальных геометрических размеров, при заданных нагрузках, расстояния между опорами, согласно расчетам, определены: для стальной буровой колонны - 3,7 метра, а для легкосплавной - 2,1 метра.

Принятая меньшая длина позволяет исключить неучтенные факторы, влияющие на устойчивость става.

Динамические характеристики многопролетной буровой колонны.

Нагрузки, передаваемые по буровому ставу к инструменту, вызывают значительные колебания и вибрации буровых штанг, приводящие к интенсивному их износу и разрушению.

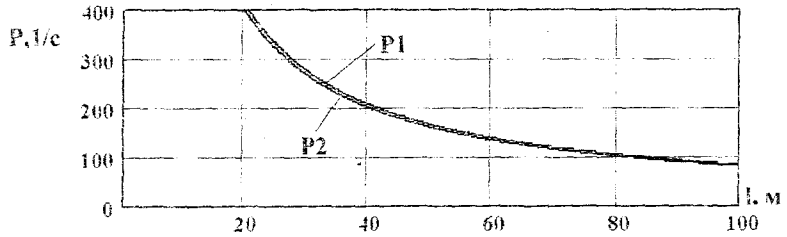


Рис.6. Зависимость частот собственных продольных колебаний от длины става.

В общем случае колебания бурового става могут быть продольными, крутильными и поперечными. Как видно из графика (см. рис.6.), в интервале рабочих частот вращения бурового става $n = 50 \dots 700$ об/мин. и длине скважины более 100м, частота собственных продольных колебаний существенно снижается, что увеличивает вероятность возникновения резонансных колебаний буровой колонны на этом участке. Резонанса продольных колебаний при бурении на глубине более 150 метров можно избежать, если снизить частоту вращения штанги до $n = 250 \dots 300$ об/мин., или использовать штанги с большей акустической жесткостью. По известной формуле можно рассчитать частоты собственных продольных колебаний стального и алюминиевого бурового става (P1, P2).

Крутильные колебания возникают в результате воздействия на буровой став переменного момента сопротивления вращению, появляющегося в процессе разрушения инструментом неоднородной горной породы. Крутильные колебания, возникающие в буровом ставе, описываются дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных.

$$a_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}; \quad (5.)$$

где a_1 - скорость распространения крутильных колебаний;

φ - угол поворота сечения става с координатой X в момент времени t

Решая уравнение (5.) для колонны с принятыми граничными условиями получим

$$P_{кр} = \frac{(2k-1)\pi a_1}{2l} = \frac{(2k-1)\pi}{2l} \sqrt{\frac{G}{\rho}}; \quad (6.)$$

где $P_{кр}$ - собственная частота крутильных колебаний 1/сек;

l - длина колонны, м.

G - модуль сдвига, к/м

ρ - плотность материала става, кг/м³

$k = 1, 2, \dots, n$ - номер формы колебаний.

Как видно из графика, наиболее опасные нагрузки появляются в скважинах с глубиной, превышающей 100 метров. При такой длине става возникновение резонансных крутильных колебаний наиболее вероятно.

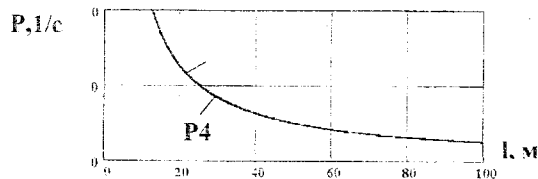


Рис.8. Зависимость собственных частот крутильных колебаний от длины става.

Уравнение собственных поперечных колебаний многопролетного бурового става с равномерно распределенной массой аналогично уравнению колебаний однопролетного стержня. Для става с постоянным в каждом пролете поперечным сечением уравнение колебаний имеет вид:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho F \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (7)$$

где E - модуль упругости, Н/м²,

J - момент инерции, м⁴,

ρ - плотность материала, кг/м³,

F - площадь поперечного сечения става, м²,

x - расстояние вдоль оси става от начала координат (от левого конца),

$y(x,t)$ - поперечное смещение центра тяжести, сечения става от положения его статического равновесия,

t - время.

Решением уравнения (7) для каждого пролета става является функция

$$X(x) = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x + C \operatorname{sh} \lambda x + D \operatorname{ch} \lambda x \quad (8.)$$

Однако необходимо учитывать, что произвольные постоянные A, B, C, D функций (8.) для каждого пролета различны, следовательно, для n - пролетного става в общем случае будет n произвольных постоянных.

Произвольные постоянные $A_1, B_1, \dots, C_n, D_n$ определяются из решения системы линейных алгебраических уравнений. Система уравнений составляется из условия удовлетворения решения уравнения колебаний (8.) каждого пролета граничным условиям на крайних опорах бурового става и условиям сопряжения на промежуточных опорах. Схема закрепления става в крайних и промежуточных опорах и граничные условия представлены на рис.9.

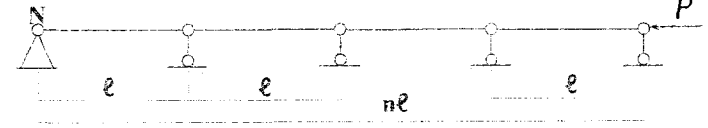


Рис. 9. Схема нагружения буровой колонны продольной сжимающей силой.

В общем случае решением уравнения (9) будет являться частота собственных поперечных колебаний става постоянного сечения с жесткими (или упругими) опорами, определяемая по формуле:

$$P_0 = \frac{\lambda_{Si}^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}} \quad (9)$$

где $\lambda_{Si} = 3.142$ - корни характеристического уравнения, зависящие от числа пролетов става, номера формы колебаний и характера опорных закреплений,

E - модуль упругости, Н/м²,

$J = 1.276 \cdot 10^{-7}$ м⁴, момент инерции,

ρ - плотность материала става, кг/м³,

$F = 6.28 \cdot 10^{-4}$ м² - площадь поперечного сечения колонны,

l - длина пролета колонны, м.

В зависимости от изменения осевой нагрузки при бурении будет изменяться и собственная частота поперечных колебаний бурового става. При $N = P_{кр}$ частота колебаний первой (основной) гармоники обращается в нуль. График

зависимости $P_{кр}$ от N представлен на рис.10. Зависимость частоты поперечных колебаний P5 става от осевой нагрузки N .

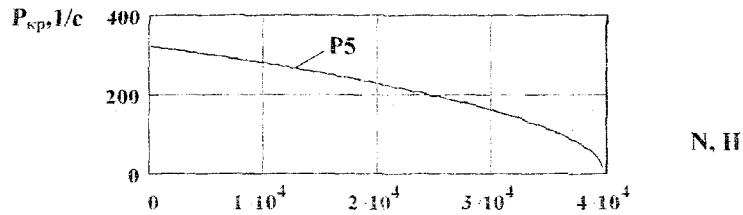


Рис.10. Изменение круговой частоты поперечных колебаний става в зависимости от осевой нагрузки

Необходимо отметить, что на поперечные колебания бурового става большое влияние оказывает разбалансировка секций штанг, которая может проявиться в несоосном резьбовом соединении ниппелей и труб, наличии разнотолщинности, овальности и кривизны труб.

В четвертой главе построена математическая модель. Структурная схема механизма показана на рис.11. Вращательное движение от электродвигателя 1 через гидравлическую систему, включающей насос и гидродвигатель 2, передается на цилиндрическую зубчатую передачу 3, и далее через подвижное шлицевое соединение 4 передается на шпindel механизма вращения. Продолжением шпинделя является штанга 5 с породоразрушающим инструментом.

Составление обобщенной модели осуществляется после разработки модели отдельных элементов системы (электродвигатель, гидросистема, зубчатая передача, буровая колонна, возмущающая нагрузка) и принятия необходимых допущений.

Силовая трансмиссия бурового механизма испытывает существенные колебательные нагрузки не только при бурении, но и в процессе холостого хода, возбуждающего свободные колебания.

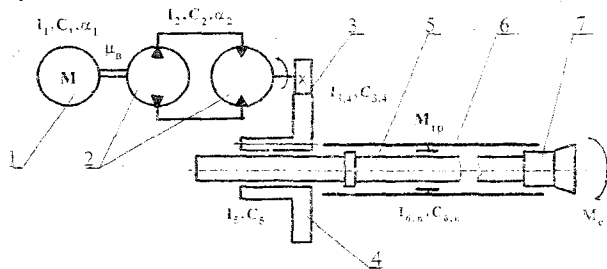


Рис. 11. Расчетная схема бурового станка.

На рис. 12 представлена расчетная схема двойной буровой колонны с промежуточными опорами. Причем необходимо отметить, что для расчетов крутильных колебаний принимается только внутренняя буровая колонна, которая находится на подшипниковых опорах относительно наружной

колонны. Для обеспечения герметичности межтрубного пространства и исключения передачи нагрузок от наружной колонны к инструменту предусматривается компенсационный зазор Δ . Момент трения $M_{тр}$ в подшипниковых опорах определяется из справочных данных. Реакция в подшипниковых опорах обозначается R , и определяется расчетным методом.

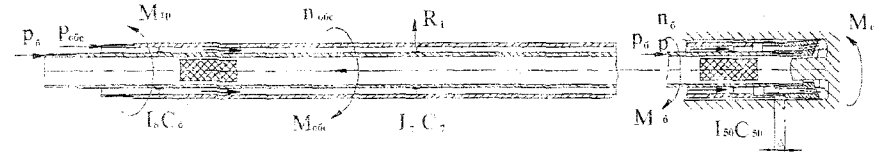


Рис. 12 Расчетная схема буровой колонны

В этом случае крутильные колебания подчиняются определенным закономерностям. В результате подобных рассуждений схема силовой трансмиссии механизма вращения (см. рис. 11) может быть представлена в виде динамической модели (рис. 13), где продольные отрезки условно изображают упругие звенья, а сплошные поперечные линии - моменты инерции. Буровая колонна представлена в виде сорокапятимассовой системы. Полученная динамическая модель может быть описана следующей системой уравнений, составляющей матрицу, представленной в уравнениях (4.3).

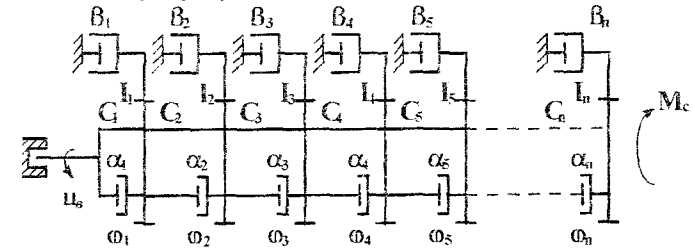


Рис. 13. Динамическая модель вращателя бурового станка.

Система уравнений (4.3) решалась численным методом Рунге-Кутты на компьютере Pentium 4 с использованием пакета программ Mathcad 11. Ниже приведены результаты решения системы в виде графиков $\omega_{1-n} = f(t)$ (рис. 14). Широкий диапазон основных несущих частот затрудняет их чтение на общем графике в принятом масштабе.

Поэтому графическое изображение угловых скоростей и перемещений каждого из элементов системы предлагается в виде отдельных фрагментов по собственной несущей частоте (см. рис. 14). Следующим этапом наших исследований является описание поведения системы с длиной колонны 162 м. с учетом наложения на нее, возмущающей нагрузки.

$$\begin{aligned}
 & I_1 \ddot{\varphi}_1 + \alpha_1 \dot{\varphi}_1 + c_1 \varphi_1 + \frac{C_2}{T_d} \int (\varphi_1 - \varphi_2) dt + \frac{\alpha_2}{T_d} \int (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) dt + \\
 & + \alpha_2 (\varphi_1 - \varphi_2) + C_2 (\varphi_1 - \varphi_2) = M_B; \\
 & I_2 \ddot{\varphi}_2 - \alpha_2 (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - C_2 (\varphi_1 - \varphi_2) + C_3 (\varphi_2 - \varphi_3) + \\
 & + \frac{C_3}{T_r} \int (\varphi_2 - \varphi_3) dt = 0; \\
 & I_3 \ddot{\varphi}_3 - C_3 (\varphi_2 - \varphi_3) + C_4 (\varphi_3 - \varphi_4) = 0; \\
 & I_4 \ddot{\varphi}_4 - C_4 (\varphi_3 - \varphi_4) + C_5 (\varphi_4 - \varphi_5) = 0; \\
 & I_5 \ddot{\varphi}_5 - C_5 (\varphi_4 - \varphi_5) + C_6 (\varphi_5 - \varphi_6) = 0; \\
 & \dots \\
 & I_n \ddot{\varphi}_n - C_n (\varphi_{n-1} - \varphi_n) - M_{тр} = 0;
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

где I_1, C_1 и α_1 - момент инерции, жесткость и демпфирующие свойства асинхронного электродвигателя;

I_2, C_2 и α_2 - момент инерции, жесткость и демпфирующие свойства гидродвигателя;

$I_3 \div I_4; C_3 \div C_4$ - моменты инерции и жесткости цилиндрической и шлицевой передачи;

I_5, C_5 - моменты инерции и жесткости элементов шпинделя;

$I_6 \div I_n; C_6 \div C_n$ - моменты инерции и жесткости элементов буровой колонны;

M_B - вращающий момент двигателя;

T_r - гидравлическая постоянная времени, учитывающая влияние утечек и сжимаемости жидкости;

T_d - электромагнитная постоянная времени двигателя;

$\varphi_1, \dot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_1, \dots, \varphi_n, \dot{\varphi}_n, \ddot{\varphi}_n$ - угловые перемещения, скорости и ускорения элементов системы;

$M_{тр}$ - момент сил трения буровой колонны в подшипниковых опорах;

n - число элементов системы;

β - коэффициент демпфирования;

M_c - возмущающая нагрузка, действующая на буровую колонну при вынужденных колебаниях.

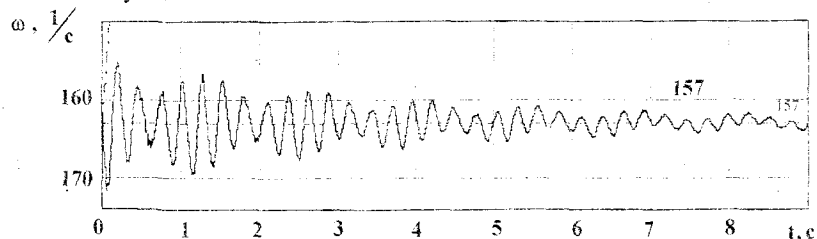


Рис. 14 Зависимость угловой скорости ω_1 и перемещения φ_1 ротора электродвигателя от времени.

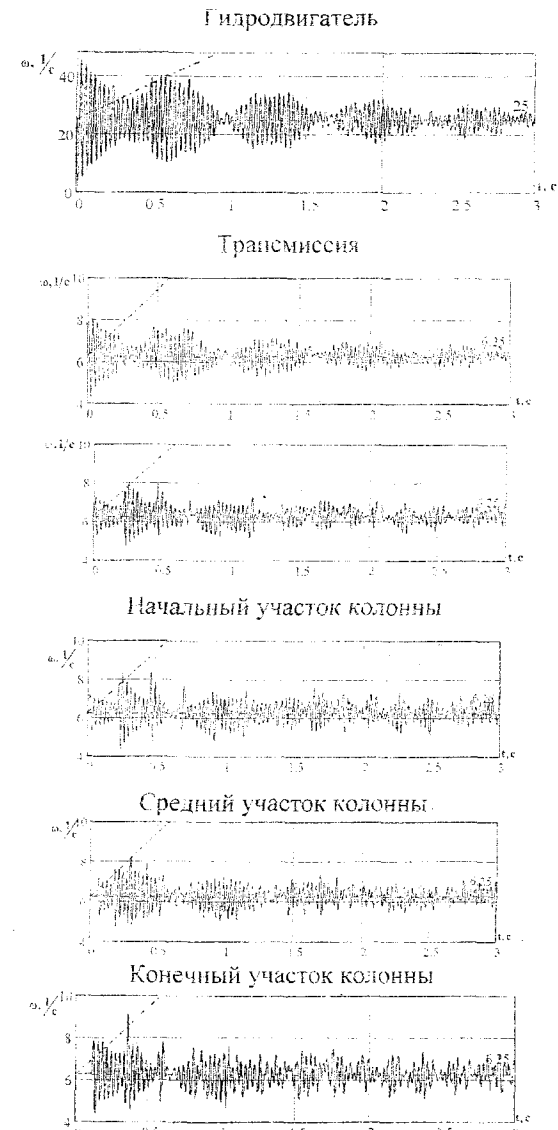


Рис. 14 Зависимости угловых скоростей ω_i и перемещений φ_i элементов трансмиссии от времени.

Для рассматриваемой системы можно условно принять момент сопротивления возмущающей нагрузки по времени как изменяющийся по тангенциальному или экспоненциальному закону. В пределе это может быть номинальная или максимальная нагрузка, развиваемая приводом вращателя.

Поскольку тангенциальная зависимость более проста для вычислений в Mathcad 11 и сама кривая может легко преобразовываться, в любую по крутизне характеристику мы ее используем в качестве нагрузочной. Подставляя в последнее уравнение системы (4.3) M_c с различными по величине предельными моментами нагружения мы можем проследить изменения в поведении как всей системы в целом, так и в ее отдельных элементах.

Для описания поведения системы с вынужденными колебаниями необходимо в правую часть последнего уравнения системы (4.3.)

$$I_n \ddot{\varphi}_n - C_n (\dot{\varphi}_{n-1} - \dot{\varphi}_n) - M_{тр} = M_c.$$

Решая полученную систему уравнений с буровой колонной в виде 45-массового участка, с учётом моментов сил трения - $M_{тр}$ в подшипниковых опорах и момента сил сопротивления на инструменте - M_c , получаем результат в виде графиков $\varphi_{1-n}, \dot{\varphi}_{1-n} = f(t)$, приведённых на рис. 15а-15в. С целью более лёгкого чтения графиков этих зависимостей они приведены в той же последовательности и в том же масштабе времени и амплитуды, что и для свободных колебаний системы.

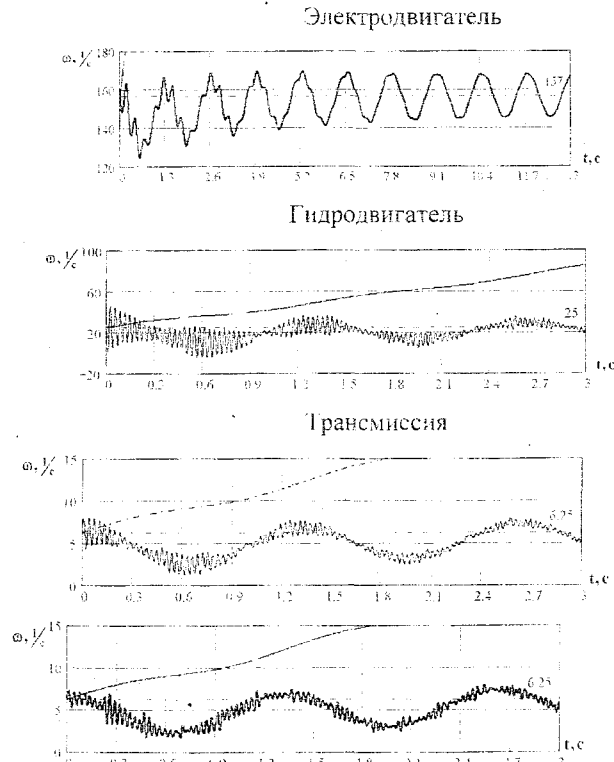


Рис. 15а. Зависимости угловых скоростей и перемещений элементов трансмиссии с 45-массовой буровой колонной с возмущающей нагрузкой M_c .

Приведённые на рис. 15а-15в графики показывают, что после приложения к системе момента нагружения M_c в ней возникают низкочастотные возмущающие колебания. Причём частота этих колебаний на порядок ниже собственных частот любого из элементов этой системы. Амплитуда колебаний возмущающей нагрузки для каждого элемента системы своя. Так, например, для ротора электродвигателя размах колебаний от возмущающей нагрузки относительно базовой частоты достигает 38 рад/сек, причём большая её часть, имеющая значения 32 рад/сек, в начальный момент времени находится ниже порога базовой частоты.

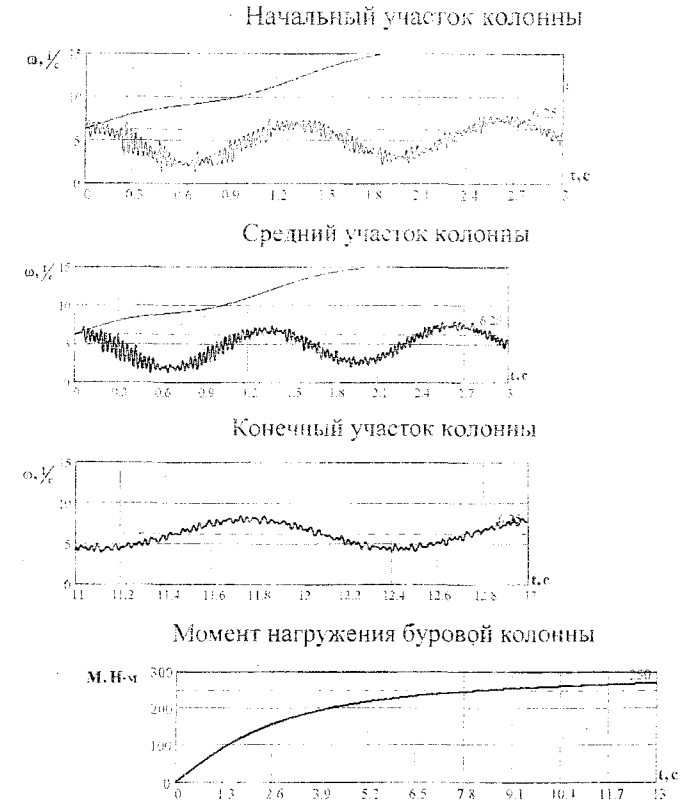


Рис. 15б Зависимости угловых скоростей и перемещений элементов буровой колонны и характеристика нагрузки.

Лишь на восьмой секунде размах колебаний становится симметричным относительно базовой частоты, при общем снижении амплитуды на 20%. Частота колебаний возмущающей нагрузки составляет 1,1 Гц. Такая же картина наблюдается и на других элементах системы, так у гидродвигателя $\omega_{п,2}$ размах колебаний в начальный период составляет 48 рад/сек, при базовой частоте $\omega_2=25$ рад/сек. В целом необходимо отметить, что при заданной

характеристике момента нагружения и ее величине, система работает устойчиво.

На основании этого можно сделать предварительный вывод, что буровую колонну большой протяженности необходимо разбить на участки с длиной не более 4 метров. В противном случае возможно неустойчивое поведение системы при наложении на нее, возмущающей нагрузки. Возникающие при этом колебательные процессы, происходящие в модулируемой системе бурового комплекса, будут неадекватно отражать поведение системы относительно реальной модели. Для более полного и точного представления о характере и величине динамических нагрузок, возникающих в буровой системе при наложении возмущающего воздействия на буровую колонну, необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования на стенде, что позволит провести уточнение математической модели системы с реальными нагрузками.

ВЫВОДЫ

1. Применение двойных буровых колонн существенно повышает эффективность проходки глубоких направленных скважин в осложненных условиях. Улучшаются показатели режимных параметров на забое а также снижаются диссипативные потери механической энергии в скважине.

2. Разработанный способ и устройство для оперативного контроля кривизны скважины позволяет с более высокой точностью проводить измерения отклонения скважины по азимуту и углу наклона

3. Разработанная математическая модель бурового комплекса с многопролетной двойной буровой колонной позволяет рассчитывать на ЭВМ динамические характеристики составляющих его элементов в зависимости от длины колонны, ее геометрических размеров и материала, длины пролета между опорами, а также действующими нагрузками.

4. Результаты компьютерного моделирования и исследования устойчивости буровой системы с многопролетным буровым ставом показали, что динамическая устойчивость системы обеспечивается при длине пролета между опорами не более 3,6 метра.

5. Исследования вынужденных колебаний системы с различными по длине участками показали, что после приложения к системе момента нагружения M_c в ней возникают низкочастотные возмущающие колебания. Причём частота этих колебаний на порядок ниже собственных частот колебаний любого из элементов этой системы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Патент КР №849 Е 21 В 47/022 Устройство для измерения искривлений горизонтальных и наклонных скважин. Заявка №20050032.1. Бюллетень № 1 2006 г. (авт. Анохин А.В., Бобровская Е.А.)

2. Анохин А.В., Бобровская Е.А. и др. Исследование динамической модели вращателя бурового комплекса КБ-76. //Вестник КТУ им. И. Раззакова, Бишкек Кыргызстан, 1999, №2(2), 115-123с.

3. Бобровская Е.А., Анохин А.В. Определение собственных частот и собственных форм колебаний для буровой колонны с промежуточными опорами. Материалы тех. конф. «Геология и горно-технические процессы» Бишкек Кыргызстан. 1999, №2, 189-201с.

4. Бобровская Е.А., Анохин А.В. Устойчивость буровой колонны с промежуточными опорами. Материалы тех. конф. «Геология и горно-технические процессы». Бишкек Кыргызстан, 1999, №2, 189-201с.

5. Анохин А.В., Бобровская Е.А. и др. Уменьшение диссипативных потерь в скважине – способ повышения качества буровых машин. Сборник научных трудов Института машиноведения, Бишкек Кыргызстан, 2000, № 2, 44-53с.

6. Анохин А.В., Бобровская Е.А. Испытания бурового комплекса КБ-76 на шахте им. Ленина, г. Шахтинск. Сборник научных трудов Кыргызского института минерального сырья, Бишкек Кыргызстан, 2000, 200-2006с.

7. Бобровская Е.А. Управление отклонения скважин посредством применения различных компоновок бурильного инструмента. Журнал «Известия вузов» Бишкек, 2004, №2, 10-17с.

8. Абдраимов С.А., Анохин А.В., Бобровская Е.А. Бурение в осложненных условиях. Журнал «Поиск». Научное приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана», Министерства образования и наук РК2005, №3, 148-154с.

9. Анохин А.В., Бобровская Е.А. и др. Определение граничных режимов работы многопролетного бурового става. Материалы международной научно – технической конференции «Механизмы переменной структуры и виброударные машины», Бишкек, Кыргызстан 1999, с. 184-187

10. Анохин А.В., Бобровская Е.А. и др. Динамическая модель механизма вращения бурового комплекса КБ-76. Материалы международной научно – технической конференции «Механизмы переменной структуры и виброударные машины», Бишкек, Кыргызстан 1999, с. 187-194

РЕЗЮМЕ

Бобровская Елена Алексеевна

"Исследование динамических и прочностных характеристик двойной буровой колонны для бурения скважин в осложненных условиях"

Шифр 05.05.06 – Горные машины

Ключевые слова: двойная двух приводная буровая колонна, головной снаряд, искривление скважин, инклинометр, статическая и динамическая устойчивость буровой колонны, физическая модель буровой машины, математическая модель, динамическая модель.

Построена физическая модель буровой машины с двойной двух приводной колонной. Исследованы факторы, влияющие на искривление скважин в

осложненных условиях. Проведен анализ используемых средств контроля определения пространственного положения снаряда в скважине. Разработано устройство для измерения параметров кривизны скважин при горизонтальном и наклонном бурении: "Лазерный инклинометр с переменной измерительной базой". Разработаны технические средства и методы, снижающие искривление скважин в перемежающихся горных породах. Разработана математическая модель бурового комплекса с двойной буровой колонной с промежуточными опорами и проведен анализ статических и динамических характеристик в зависимости от протяженности буровой колонны, действующих на нее нагрузок, а также ее геометрических параметров. Разработана динамическая модель вращателя бурового станка и установлена зависимость угловой скорости перемещения элементов трансмиссии и буровой колонны при свободных и вынужденных колебаниях.

RESUME

Bobrovskiyar Elena Alekseevna

"Investigation of dynamic and bending strength characters of double drilling column, to drill bore-holes in complicated situation."

Code 05.05.06 – Mountainous machine

Key words: From machine, distortion of bore-hole, inclinometer static and dynamic stability of drilling column, physical model of the drilling machine, mathematical model, dynamic model.

A physical model of drilling machine with double two-gear column is built. The factors, which influence to the distortion of borehole in complicated situations, are investigated. The analyze of control used means is conducted to determine spatial position of the machine in the borehole. Equipments are worked out for measuring parameters of boreholes distortion in horizontal and inclined drilling: "laser inclinometer with variable measured base." Technical means and ways are worked out which lower inclination of boreholes in alternated mountain rocks. Mathematical model of drilling complex with double drilling column is exploited with intermediate support and analyze of static and dynamic characters are hold in dependence of drilling column length and load influencing it, and also it is geometric parameters. The dynamic model of the drilling machine revolving is worked out and dependence of angle rate of transmission element transference and drilling column under free and forced oscillation is set up.

РЕЗЮМЕ

Бобровская Елена Алексеевна

«Татаал абалда скважинаны казуу үчүн кош казуучу колоннанын динамикалык жана бышыктоочу негиздерин изилдөө.»

Иликтөөч номери 05.05.06 – Тоо-тектерде пайдалануучу машиналар

Башкы создор: кош эки приводдуу казуучу колонна, башкы снаряд, скважиналардын ийилиши, инклинометр, казуучу колоннанын

статикалык жана динамикалык туруктуулугу, казуучу машинанын физикалык модели, математикалык модель, динамикалык модель.

Кош эки приводдуу колонналуу казуучу машинанын физикалык модели түзүлгөн. Татаал абалда скважинанын ийилишине таасир эткен факторлор аныкталды. Скважинада снаряддардын ийилишине абалын аныктоодо колдонулуучу текшерүү каражаттарына анализ жүргүзүлдү. «Өзгөрүү өлчөөчү базасы бар лазердик инклинометр.» аталдуу туурасынан жана кыйгач казууда скважинанын ийилишинин параметрлерин изилдөө үчүн устройство иштелип чыкты. Тоо-тектерде скважинанын ийилишин азайтуу үчүн техникалык каражаттар жана ыкмалар иштелген. Аралык тирегичи бар кош казуучу колонналуу казуучу комплекстердин математикалык модели иштелген, геометриялык параметрлерин жана ага тиешелүү оордук, казуучу колонналардын аралыктарына статикалык жана динамикалык каражаттарынын көз карандуулугуна анализ жүргүзүлдү. Кош жана аргасыз термолүүдө казуучу колонналык жана трансмиссия элементтеринин жылышынын бурчтук ылдамдыгынын көз карандуулугу аныкталды, казуучу станоктун айлануу динамикалык модели иштелип чыкты.



БОБРОВСКАЯ ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДВОЙНОЙ БУРОВОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ
СКВАЖИН В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ.**

(Автореферат диссертации)

Тех.редактор *Кочоров А.Д.*

Подписано к печати 17.05.2006г. Формат бумаги 60x84^{1/16}.

Бумага офс. Печать офс. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 225

г.Бишкек, ул. Сухомятина, 20. ИЦ "Гекник" КГТУ, т.: 42-14-55, 54-29-43

E-mail: ict@ktu.aknet.kg, beknur@mail.ru