

МАШИНА КУРУУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

УДК 625.72, 622:621.313

**МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ ҮЧҮН
ОПТИМАЛДУУ ОБЪЕКТ КАТАРЫ КОШ
БУРГУЛОО МАМЫ**

**ДВОЙНАЯ БУРОВАЯ КОЛОННА КАК
ОПТИМАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**DOUBLE DRILL STRING AS AN OPTIMAL
OBJECT FOR MATHEMATICAL MODELING**

А. В. Анохин, В. Б. Васильев, С. Ф. Мурашова

A. V. Anokhin, V. B. Vasiliev, S. F. Murashova

Бургулоочу мамысы бар бургулоочу машинанын математикалык моделин түзүү маселесин оңойлатуу жана анын аныктыгын жогорлатуу максатында терең кыяларды бургулоонун негизги ыкмалары жана тереңдеген сайын бургулоочу мамыга таасир эткен мүмкүн болуучу жүктөр каралат. Негизги маселе бургулоочу мамынын эң ылайыктуу конструкциясын аныктоодо болгон, качан мамыга тышкы факторлордун таасири эң аз болгондо, бул математикалык моделди бир кыйла жөнөкөйлөтөт, демек бургулоо шарттамы жана бургулоо мамынын узундугу өзгөргөн учурда бургулоочу куралдын жүрүм-турумун эсептөөнүн ишенимдүүлүгүн жогорулатат. Мындай каражатка өзүнчө башкарылуучу кош бургулоо мамы ээ, мында бардык жүк казма беткетишкы түтүккө карата таяныч муунак жаздыктарга орнотулган ички мамы аркылу берилет. Мындай курал үчүн кыймылдаткычы, трансмиссиясы жана бургулоо мамысы бар бургулоочу машинанын математикалык моделин куруу абдан жеңилдеди, анткени бургулоо жараянына жана кыядагы бургулоо куралынын жүрүмтурумуна таасир этүүчү белгисиз жана аныкталбаган факторлор жок. Кош мамыны колдонуу бургулоо үчүн энергияны керектөөнү кыскартууга гана эмес, ошондой эле электр кыймылдаткычын колдонууда өтө маанилүү болгон

кыймылдаткыч жүктөмүнүн капыстан өзгөрүшүн жок кылууга мүмкүндүк берет.

С целью упрощения задачи построения математической модели буровой машины с бурильной колонной и повышения её достоверности рассмотрены основные способы бурения глубоких скважин и возможные нагрузки на буровую колонну, которые она испытывает по мере углубления. Основная задача заключалась в том, чтобы установить наиболее подходящую конструкцию буровой колонны, где влияние внешних факторов, действующих на колонну, были бы наименьшими, что позволит существенно упростить математическую модель, а значит, и повысить достоверность расчётов поведения бурового снаряда при изменяющихся режимах бурения и длины буровой колонны. Таким средством обладает двойная раздельно приводная буровая колонна, в которой вся нагрузка на забой передаётся по внутренней буровой колонне, установленной в подшипниковых опорах относительно наружной трубы. Для такого снаряда построение математической модели бурильной машины с двигателем, трансмиссией и буровой колонной существенно облегчается, поскольку неизвестные и неопределимые факторы, влияющие на процесс бурения и поведение бурового снаряда в скважине, отсутствуют. Применение двойной колонны позволяет не только снизить энергозатраты на бурение, но и исключить резкие перепады нагрузок на двигатель, что очень важно в случае использования электропривода.

In order to simplify the task of constructing a mathematical model of a drilling machine with a drill string and increase its reliability, the main methods of drilling deep wells and the possible loads on the drill string that it experiences as it deepens are considered. The main task was to establish the most appropriate design of the drill string, where the influence of external factors acting on the string would be the least, which would significantly simplify the mathematical model, and hence increase the reliability of calculations of the behavior of the drill string under changing drilling conditions and the length of the drill string. Such a tool has a double separately driven drill string, in which the entire load on the bottomhole is transmitted through the inner drill string installed in bearing supports relative to the outer pipe. For such a projectile, the construction of a mathematical model of a drilling machine with an engine, transmission and drill string is greatly facilitated, since there are no unknown and indeterminate factors that affect the drilling process and the behavior of the drilling tool in the well. The use of a double string allows not only to reduce energy consumption for drilling, but also to eliminate sudden changes in engine loads, which is very important when using an electric drive.

Түйүн сөздөр: бургулоочу машина, кош бургулоо мамы, математикалык модел, электршиеткич, кыймыл өткөөл, эсептелген жүктөр, энергия керектөө.

Ключевые слова: бурильная машина, двойная буровая колонна, математическая модель, электропривод, трансмиссия, расчётные нагрузки, энергозатраты.

Key words: drilling machine, double drill string, mathematical model, electric drive, transmission, calculated loads, energy consumption.

Большая часть бурового оборудования для подземных работ в качестве главных силовых приводов маслonaсосных станций использует нерегулируемые асинхронные электродвигатели переменного тока. Это оправданно тем, что современные компоненты управляемого гидравлического привода позволяют регулировать нагрузку на забой в широком диапазоне частот вращения и усилий подачи бурового инструмента, что, в свою очередь, создаёт возможность с максимальной эффективностью использовать мощность электродвигателя. Идеальным решением было бы прямое применение электрического привода с преобразованием его в регулируемое механическое вращательное и поступательное движение бурового инструмента без промежуточного использования гидравлического привода. Однако возможности прямого использования электропривода ограничены в диапазоне малых скоростей, больших усилий и высоких крутящих моментах. Подобные нагрузки могут возникнуть при бурении глубоких скважин большого диаметра по перемежающимся горным породам.

Известно, что при бурении стандартным одноколонным буровым снарядом с увеличением глубины скважины на него воздействуют различные по величине и направлению силы сопротивления. На рисунке 1 представлена упрощённая схема нагрузок, действующих на буровую колонну на начальном участке скважины. Эти силы имеют различный характер и зависят от направления бурения (вертикальные, наклонные, горизонтальные), диаметра и глубины скважин, конструкции буровой колонны и её жесткостных параметров, физико-механических свойств горных пород и многих других факторов.

С целью совершенствования техники и технологических процессов бурения скважин, снижения затрат на проектирование и создания новой техники бурения всё шире используются методы физического и математического моделирования. Эти методы находят все большее применение при решении большого числа практических

задач при создании специализированных буровых машин и установок. Причём чем точнее совпадение значений параметров натурального объекта и математической модели с данными, полученными экспериментальным путём, тем более качественная модель.

Следует отметить, что построить хорошую математическую модель, достаточно точно отражающую описываемый натуральный образец или процесс, непросто. Попытка включить в математическую модель слишком много факторов, влияющих на процесс бурения и поведение бурового снаряда в скважине, может вызвать сбой программы при решении сложных уравнений, содержащих неизвестные параметры и неизвестные функции. Определение этих функций приведет к ещё более сложным уравнениям с ещё большим количеством параметров, функций и т. д.

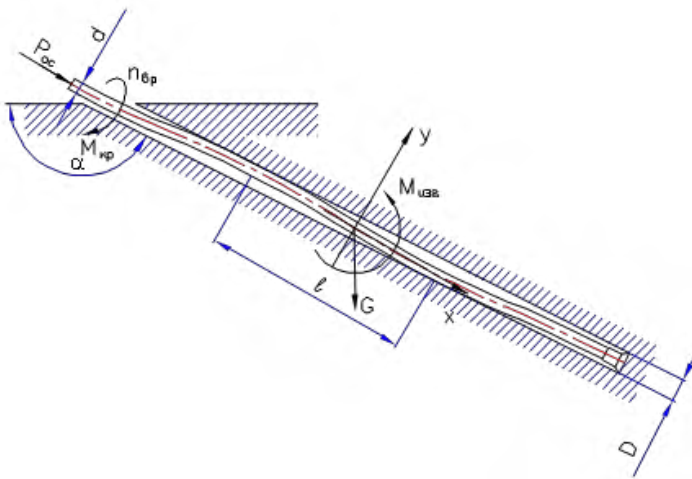


Рисунок 1 – Схема нагрузок, действующих на буровую колонну

Однако при построении слишком упрощенной модели можно обнаружить, что она не соответствует реальным данным, полученным в процессе экспериментальных исследований, и не может удовлетворять требованиям достоверности. Следовательно, необходимо выбрать оптимальный вариант между переусложнением и переупрощением математической модели.

По опыту многочисленных исследований в области разработки математических моделей изучаемого объекта или процесса следует ориентироваться на следующие положения:

- выдвинуть наиболее вероятные предположения, гипотезы и допущения, на которых будет основываться модель;
- по возможности как можно точнее определить и установить, что считать исходными данными, а что – искомыми величинами;
- определить и записать возможные математические соотношения, связывающие искомые величины с исходными данными [1].

Тем не менее при построении математической модели для большинства исследуемых объектов не всегда удастся выразить с помощью формул искомые величины через исходные данные. В таких случаях предлагается использовать численные методы, позволяющие найти значения искомых величин с той или иной степенью точности [1].

В общем случае можно констатировать, что численное моделирование применяется там, где физическая картина изучаемого объекта или явления не даёт точного представления о внутреннем механизме взаимодействия. Расчётные показатели, полученные на основе компьютерной обработки статистических данных, позволяют отобрать наиболее реальные и вероятные ситуации поведения исследуемого объекта, которые в большинстве случаев приводят к сокращению сроков научно-конструкторских разработок, а также к снижению стоимости проведения эксперимента.

Другой путь решения данной проблемы — это разработка такого бурового снаряда, который обеспечит «идеальные» условия для буровой колонны на протяжении всей глубины скважины, что позволит исключить влияние множества факторов, действующих на одноколонный снаряд. Таким снарядом является двойная раздельно приводная буровая колонна, разработанная согласно патентам [2, 3] и которая послужила идеальным объектом для математического моделирования.

Известно, что двухприводные буровые колонны [2,3] позволяют разделить энергию, передаваемую на забой, на два независимых потока. При этом в зависимости от конструктивного исполнения снаряда и способа бурения соотношение мощностей, передаваемых колоннами на забой, может существенно различаться. Как правило, по

наружной медленно вращающейся колонне передается энергия, достаточная лишь для продвижения бурового снаряда в стволе скважины, а главным её предназначением является защита внутренней колонны труб от взаимодействия со стенками скважин. Последнее условие является наиболее важной и существенной особенностью двойной колонны, позволяющей значительно снизить диссипативные потери механической энергии в скважине при бурении в неустойчивых горных породах. Возможность применения двойной колонны труб при бурении скважин в осложненных условиях позволяет использовать множество вариантов их конструктивного исполнения. Причем одним из главных отличительных признаков в этой конструкции является то, что практически вся энергия от станка до забоя 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 скважин. Транспортировка буровой мелочи осуществляется по центральному каналу внутренней буровой колонны, что практически не влияет на сопротивление её вращению ввиду незначительности перемещаемой горной массы и высокой скорости транспортировки.

Установка буровой колонны в подшипниковых опорах с возможностью её вращательного и поступательного перемещения относительно этих опор позволяет практически без потерь передавать крутящий момент и осевую нагрузку на забой скважины. Следует отметить, что наружная колонна труб, разгруженная от передачи осевой нагрузки на коронку, выполняет целый ряд важных функций:

- центрирует внутреннюю буровую колонну в скважине и обеспечивает её высокую продольную и поперечную жёсткость в пределах межопорного участка;
- защищает внутреннюю колонну от воздействия стенок скважины;
- образует с внутренней колонной труб межтрубный канал для подачи очистного агента к забою с минимальными потерями;

- обеспечивает сохранность стенок скважины от обрушения и снижает затраты мощности на продвижение буровой колонны в скважине за счет низкой частоты её вращения.

Разработанная конструкция двойной буровой колонны и выбранная технология бурения с обратной циркуляцией очистного агента позволяет существенно повысить эффективность проходки глубоких направленных скважин в осложненных условиях. На рисунке 2 представлена конструктивная схема двойной раздельно приводной буровой колонны с обратной циркуляцией очистного агента.

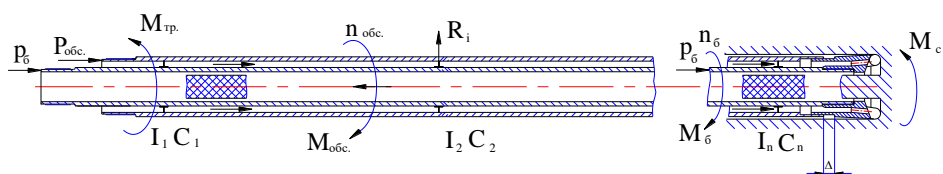


Рисунок 2 – Двойная раздельно приводная буровая колонна с обратной циркуляцией очистного агента

Промышленные испытания [4] подобной установки с гидравлическим приводом показали, что рост энергозатрат при бурении скважин глубиной до 100 метров с увеличением глубины скважины изменяется незначительно, что позволяет утверждать о возможности непосредственного использования электрического привода в бурильной машине.

Необходимо учесть, что для эффективной работы предлагаемой конструкции двойной колонны необходимо наличие надёжного и многофункционального головного снаряда, обеспечивающего ряд технологических условий, присущих данному способу бурения. Это в первую очередь обеспечение надёжной передачи энергии от внутренней буровой колонны к буровому инструменту с возможностью его эффективного охлаждения, возможность регулирования компенсационного зазора от разницы в деформациях наружной и внутренней колонн с сохранением герметичности межтрубного пространства, обеспечение жёсткого центрирования снаряда в скважине при минимальном воздействии на стенки скважины и ряд других специфических требований.

Применение различных конструктивных компоновок головного снаряда для двойной колонны труб с использованием данной технологии бурения позволят проходить глубокие скважины в самых сложных геологических разрезах с минимальными энерго-затратами.

Следует отметить, что немаловажную роль при бурении имеет выбор и использование применяемого электродвигателя. На сегодняшний день наиболее перспективным направлением развития привода буровых установок является автоматизированный электропривод на основе частотных преобразователей для различного типа электродвигателей, в частности для короткозамкнутых асинхронных двигателей и синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) [5].

Особое внимание необходимо уделить синхронным электродвигателям СДПМ с частотным преобразователем, которые позволяют автоматизировать режим его работы, изменяя скорость вращения исполнительного органа, в зависимости от нагрузки, а также поддерживая оптимальные режимы на участках торможения, разгона, остановки и пуска.

Конструктивные преимущества двойной отдельно приводной буровой колонны позволяют успешно применять регулируемый электропривод на базе синхронных двигателей СДПМ при бурении глубоких дегазационных скважин как по углю, так и по горным породам I-IV категорий буримости.

Синхронные машины с постоянными магнитами совмещают простоту конструкции двигателей переменного тока и возможностью устойчивого управления частотой вращения при абсолютно жёсткой механической характеристике [6]. Они обладают следующими преимуществами:

- высокий КПД во всем диапазоне частот вращения ротора;
- простота конструкции и отсутствие потерь на возбуждение;
- невысокая инерция при значительном моменте;
- небольшие габариты и масса (в 1,5÷2 раза меньше, чем АД);
- поддержание частоты вращения ротора независимо от нагрузки.

Основной задачей в данной работе являлся поиск наиболее подходящей конструкции буровой колонны, где влияние внешних факторов, действующих на колонну, было бы наименьшим. Это в свою очередь позволило бы существенно упростить математическую модель, а значит, и повысить достоверность расчётов поведения бурового снаряда при изменяющихся режимах бурения и длины буровой колонны. Как выяснилось, таким средством обладает двойная раздельно приводная буровая колонна, в которой вся нагрузка на забой передаётся по внутренней буровой колонне, установленной в подшипниковых опорах относительно наружной трубы. Для такого снаряда построение математической модели бурильной машины с двигателем, трансмиссией и буровой колонной существенно облегчается, поскольку неизвестные и неопределимые факторы, влияющие на процесс бурения и поведение бурового снаряда в скважине, отсутствуют. Применение двойной колонны позволяет не только снизить энергозатраты на бурение, но и исключить резкие перепады нагрузок на двигатель, что очень важно в случае использования электропривода.

На основании изложенного можно сделать вывод, что двойная буровая колонна действительно является идеальным объектом для математического моделирования.

Применение двойной буровой колонны позволяет:

- снизить энергозатраты на бурение;
- исключить резкие перепады нагрузок на двигатель;
- реализовать возможность напрямую использовать частотно-регулируемый электропривод;
- значительно уменьшить габариты и массу приводов;
- повысить эксплуатационную надёжность.

Литература

1. Ахмадиев Ф. Г., Гильфанов Р. М. Математическое моделирование и методы оптимизации: Учебное пособие / Ахмадиев Ф. Г., Гильфанов Р. М. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017. – 178 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kgasu.ru/upload/iblock/97b/UP_AkhmadiyevGilfanov.PDF. Дата обращения: 26.01.2022 г.
2. Анохин А. В., Дворников Л. Т. [и др.]. Буровой станок А.с. СССР № 270845 Е21 В3/00 заявлено 10.04.87. Зарегистрировано 01.03.88.
3. Анохин, А. В., Дворников, Л. Т. [и др.]. Буровой станок RU №19864 U1 E 21 В 7/00. Заявл. 19.02. 01; опубл. 10.10.2001, Бюл. № 28. – 2 с.
4. Анохин А. В. Испытания бурового комплекса КБ-76 на шахте им. Ленина в г. Шахтинске [Текст] / Анохин А. В., Бобровская Е. А. // Т.77. – Труды Кыргызского ин-та минерального сырья: Сб. науч. тр. (КИМС). – Б., 2000. – С. 200 – 206.
5. Анохин А. В., Мурашова С. Ф. Буровой станок с частотно-регулируемым электроприводом [Текст] Анохин А. В., Мурашова С. Ф. // Машиноведение. Научно-технический журнал. № 1 (13). – Бишкек: Илим, 2021. – С. 73 – 81.
6. Павлов О. П. Синхронный двигатель с постоянными магнитами, управляемый при помощи прогнозирующей модели. Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова. «Молодой учёный», № 25 (263), июнь 2019.