

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

УДК 622.23.05

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМОМ ПОДАЧИ БУРОВЫХ  
УСТАНОВОК ПРИ ГИБРИДНОЙ СХЕМЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ  
КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

*С. ЗАВАЦКИ, В.В. КУЛИКОВ*

*Российский государственный геологоразведочный университет  
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: [mechanica.mgri@yandex.ru](mailto:mechanica.mgri@yandex.ru)*

Проанализированы результаты исследований работы гидравлических систем геолого-разведочных буровых установок. Рассмотрена работа гидравлических дросселей с линейной характеристикой при разных схемах подключения. Приведена оценка преимуществ применения гибридной схемы механизма подачи. Даны рекомендации по использованию синтетических гидравлических масел, снижению сопротивления трубопроводов, проектированию гидромагистралей буровых установок.

**Ключевые слова:** механизмы подачи разведочных буровых установок; режимы бурения геолого-разведочных скважин; режимы течения рабочей жидкости; дроссели; гибридная схема; комбинированная регулирующая аппаратура.

STEERING OF THE HYDRAULIC AXIAL PRESSURE FEEDING MECHANISMS  
IN THE DRILLING RIGS WITH A HYBRID CONNECTION PATTERN  
OF THE COMBINED REGULATING EQUIPMENT

*S. ZAVACKY, V.V. KULIKOV*

*Russian State Geological Prospecting University  
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay's street, 23; e-mail: [mechanica.mgri@yandex.ru](mailto:mechanica.mgri@yandex.ru)*

The results of the research on the functioning of the hydraulic systems of the hydraulic drilling rigs are analyzed. A focal point of the paper is a research of the functioning of the linear hydraulic throttles under the various connection schemes. The advantages of the hybrid scheme of an axial pressure feeding mechanism are assessed. Recommendations for the usage of the synthetic oils, for the reduction of the tubes and pipes resistances and for the designing of the drilling rig hydraulic supply lines are given.

**Keywords:** hydraulic axial pressure feed mechanisms in exploration drilling rigs; drilling regimes of the geological exploration boreholes; flow pattern regimes; throttles; hybrid scheme; combined regulating equipment.

Все способы регулирования гидравлического привода можно разделить на два вида [1—3, 9, 11]:

1) дроссельное регулирование, работающее в разомкнутой гидравлической системе за счёт частичного сброса рабочей жидкости в маслобак при постоянной подаче маслонасоса;

2) объёмное регулирование, работающее в замкнутой гидравлической системе при изменении рабочего объёма насоса и/или гидравлического двигателя.

Традиционное дроссельное регулирование является энергетически менее выгодным, чем объёмное.

ёмное, так как происходит сброс сжатой рабочей жидкости на слив без полезного использования её энергии. В результате уменьшается общий КПД гидропривода. По этой причине дроссельное регулирование гидропривода не применяют при мощности гидродвигателя (гидромотора) более 3 кВт [3, 4, 9, 11]. Однако объёмное регулирование требует более сложного в изготовлении и эксплуатации, а следовательно, дорогостоящего оборудования — регулируемого насоса и/или регулируемого гидравлического двигателя. Кроме того, при очень малом рабочем объёме регулируемого насоса (например, при алмазном бурении скважин в горных породах высоких категорий по буримости) скорость движения выходного звена гидравлического двигателя неравномерная [3, 5, 10, 11], что не позволяет реализовать равномерную, стабильную подачу бурового инструмента.

С целью создания и регулирования осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент (ПРИ), выполнения операций перехвата, обратного перехвата и быстрого подъёма верхнего гидравлического патрона и подъёма бурового инструмента из скважины применяют гидравлические двигатели (гидромоторы) линейного действия — гидроцилиндры, оперативное регулирование рабочего объёма которых конструктивно невыполнимо. По этой причине создание осевой нагрузки на буровых установках с гидравлическими механизмами подачи производится с помощью нерегулируемых гидродвигателей.

Один из потенциально возможных путей реализации работы гидравлического механизма подачи по показателю  $v_m$  (механическая скорость постоянная) является применение в составе гидропривода регулятора потока типа МПГ-55-32 [3, 4, 6, 7, 11], подключенного последовательно гидроцилиндрам и обеспечивающего постоянный расход жидкости, через него протекающей [2, 8, 10, 11]. Основным недостатком применения регулятора потока является резкое изменение осевой нагрузки на ПРИ при бурении скважин в перемежающихся по механическим свойствам горных породах. Резкое многократное изменение осевой нагрузки на ПРИ отрицательно сказывается на его стойкости (вплоть до поломки) вследствие переменных условий разрушения горных пород и удаления шлама на контакте резов с забоем скважины.

Таким образом, механизм подачи буровой установки дроссельной конструкции наиболее отвечает процессу эффективной углубки скважины.

Исследование схем подключения регулирующей аппаратуры гидравлических механизмов подачи геолого-разведочных буровых установок и влияния местных сопротивлений на характеристики механизма подачи, и тем самым, режимы бурения скважины, анализ зависимостей и графиков подобных зависимостей и особенно расчётных данных,

приведённых в [3, 5, 8, 9, 11], позволяют утверждать, что ламинарная линейная и турбулентная доквадратическая область течения потока гидравлической рабочей жидкости занимает более широкий диапазон при бурении геолого-разведочных скважин, чем турбулентная квадратическая. Однако нельзя не учитывать и саму турбулентную квадратическую область, когда при разных схемах подключения регулирующей аппаратуры проявляется преимущественный характер той или другой области.

При параллельной схеме подключения гидравлического дросселя при бурении геолого-разведочных скважин в горных породах невысоких категорий по буримости режим течения гидравлической рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели ламинарный или турбулентный доквадратический, а при разбуривании пород средних категорий по буримости и пород высоких категорий — турбулентный квадратический.

При последовательной схеме подключения гидравлического дросселя и параллельной напорного золотника в горных породах невысоких категорий по буримости режим течения гидравлической рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели турбулентный квадратический, а в проходном отверстии напорного золотника — ламинарный или турбулентный доквадратический. В процессе разбуривания пород средних категорий по буримости и пород высоких категорий по буримости режим течения гидравлической рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели ламинарный или турбулентный доквадратический, а в проходном отверстии напорного золотника турбулентный квадратический.

Таким образом, чтобы избежать некорректных способов регулирования режима бурения гидравлического механизма подачи буровых установок в горных породах разных категорий по буримости или перемежающихся породах с большим разбросом категорий по буримости, в силу разных схем подключения регулирующей аппаратуры у разных буровых установок и не всегда соответствующих своим режимом течения рабочей жидкости через регулирующую аппаратуру разбуриваемым горным породам, целесообразно применять геолого-разведочные буровые установки с гибридной схемой подключения комбинированной регулирующей аппаратуры. Такая схема позволяет применить буровую установку нужного типоразмера, определяемого глубиной геолого-разведочной скважины и её конечным диаметром, в разных категориях по буримости встречающихся горных породах и осуществлять их разбуривание разными, но всегда корректными и подходящими режимами бурения. На участках проходки горных пород, требующих преимущественно турбулентный квадратичный режим течения рабочей жидкости через дроссельную щель,

целесообразно осуществлять бурение с помощью применения квадратичного гидравлического дросселя при соответствующей схеме его подключения. На участках проходки горных пород, требующих регулируемую аппаратуру, обеспечивающую преимущественно ламинарное или турбулентное доквадратическое течение гидравлической рабочей жидкости через дроссельную щель, необходимо применять при соответствующей схеме подключения ламинарный дроссель. Гибридная схема подключения комбинированной регулирующей аппаратуры позволяет переключение требуемых схем и дросселей оперативно, быстро и достаточно плавно, без скачков и рывков.

В качестве линейного дросселя целесообразно применять щелевой дроссель. Поскольку толщина стенки пробки щелевого дросселя мала, то пропускная способность дросселя практически не зависит от вязкости жидкости. Не возникает в щелевом дросселе и облитерация, в отличие от других конструкций ламинарных дросселей, где существует зависимость от вязкости жидкости или облитерация, в силу их конструктивных особенностей. Поэтому щелевые дроссели применяются наиболее часто. Этот тип дросселей аналогичен с кранами, и их называют иногда крановыми дросселями. Щелевые дроссели применяются часто в гидроприводе горных машин и механизмов и их типовой ряд легко можно применить в гидравлических механизмах подачи геолого-разведочных буровых установок в силу высокой стандартизации и унификации. Немалую роль играет их дешевизна, по сравнению с дросселями иностранного производства (Атлас Копко, Хагби Брук, Диамек и др.).

Таким образом, применение геолого-разведочных гидрофицированных буровых установок с гибридной схемой подключения комбинированной регулирующей аппаратуры позволяет в известных геологических разрезах вовремя переключиться на более корректную и целесообразную, соответствующую проходным горным породам схему и применить для обеспечения требуемого режима бурения скважины более подходящий дроссель. В случае неразведанных геологических разрезов квалифицированный буровой мастер или технолог по буровым работам, анализируя механическую скорость бурения или величину углубки за один оборот бурового снаряда вокруг своей оси, принимает решение о применении более подходящей схемы подключения регулирующей аппаратуры гидравлического механизма подачи буровой установки и типа дросселя, обеспечивающих оптимальные режимы бурения скважины в данных условиях.

Таким способом можно на гидравлическом механизме подачи буровой установки с помощью гибридной схемы подключения комбинированной регулирующей аппаратуры добиться оптимального режима бурения в разных по буримости горных по-

родах не зависимо от условий залегания, трещиноватости, буримости, прочности, перемежаемости. В нём объединены преимущества обеих схем (параллельной и последовательной) подключения регулирующей аппаратуры (дросселей) и устранены или сведены к минимуму их недостатки.

Гибридная схема подключения комбинированной регулирующей аппаратуры является универсальной и оптимальной с точки зрения:

1) технической — в одной буровой установке совмещены обе схемы подключения регулирующей аппаратуры (параллельная и последовательная) и оба способа управления режимами бурения (ламинарный и квадратичный дроссели);

2) эргонометрической — на одном пульте управления можно расположить все регулирующие органы регулирующей аппаратуры — рычаги, переключатели, вентили и т. д.;

3) технологической — безаварийность, повышение проходки на породоразрушающий инструмент за счёт оптимального выбора управления режимами бурения, плавность регулирования и т. д.;

4) хронометрической — снижение затрат времени на проходку скважины за счёт увеличения углубки за один оборот, увеличения проходки на породоразрушающий инструмент, уменьшение вспомогательных и спуско-подъёмных операций;

5) экономической — повышение проходки на породоразрушающий инструмент подбором оптимальных схем подключения регулирующей аппаратуры и оптимального способа управления режимами бурения, уменьшение затрат времени на бурение, и т. д.

Рекомендации по снижению гидравлического сопротивления магистрали в механизме подачи бурового станка:

1. Один из эффективных способов снижения коэффициента и гидравлического сопротивления трубопровода является, по традиционным сведениям [1, 2, 5, 11], введение в поток жидкости весьма малых (от десятых до тысячных долей процента) добавок высокомолекулярных полимеров или поверхностно-активных веществ [1, 2, 8, 9, 11]. При этом происходит увеличение толщины пограничного слоя потока — как ламинарного подслоя, находящегося у самой стенки трубы, так и переходного слоя, расположенного между ламинарным подслоем и турбулентным ядром потока. Существенный недостаток полимерных добавок — сравнительно лёгкая их разрушаемость или так называемая механическая деструкция при прохождении через сужения, сжатия и расширения и т. п. Чтобы её избежать, добавляют мицеллообразующие ПАВ с сильными межмолекулярными электростатическими силами.

2. Другой способ снижения гидравлического сопротивления трубопровода — температурное воз-



действие на поток жидкости, при увеличении  $Re$  уменьшается за счёт снижения вязкости жидкости [2, 3, 5, 6]. При этом повышается устойчивость ламинарного подслоя и увеличивается его толщина, что также способствует снижению и потере напора.

3. Третий способ снижения гидравлического сопротивления — применение податливых, ограничивающих поток поверхностей [3, 7, 9, 10]. Для этого трубопровод изготавливают из полимерных материалов, стенки таких трубопроводов поглощают и гасят колебания в потоке жидкости и по частоте, и по амплитуде. Снижение гидравлического сопротивления в таких трубопроводах составляет 25—30 % [3, 4, 9], а в перспективе может быть доведено до 50 %.

По результатам новых исследований [1, 2, 7, 9], можно считать первый и второй способы традиционных решений снижения гидравлического сопротивления устаревшими, взаимоисключающимися и нецелесообразными. При первом способе рабочая жидкость при многократном цикле сжатий в маслососе, прохождений через местные гидравлические сопротивления, сужений, сжатий в дросселе и местных сопротивлениях, нагреве и перегреве в южных районах страны или сильном и резком охлаждении в зимнее время года (особенно в северных районах страны) резко теряет свойства, мицеллообразование останавливается и мицеллы разрушаются. Установка дополнительного радиатора охлаждения гидравлического масла является дорогой и нецелесообразной. Непоследнюю роль играет и их достаточно высокая опасность для окружающей среды в силу их ядовитости и трудно-разлагаемости. Наши предложения и рекомендации состоят в целесообразности применения синтетических гидравлических масел, высокоустойчивых к перегреву или низким температурам. Их достоинством является сохранение эксплуатационных свойств длительное время в критических пределах эксплуатации, под влиянием высоких или очень низких температур, сохранение вязкости и плотности в заданных требуемых интервалах. Также несомненным преимуществом является высокое сопротивление окислению атмосферным кислородом и практически ничтожная гигроскопичность, проявляющаяся большой степенью отделения влаги, случайно попавшей в разомкнутых системах в гидросистему, в виде капель в водошламмосборнике масляного бака. Использование магнитной пробки-гайки в масляном баке и фильтра тонкой очистки масла на всасывающем патрубке маслососа является дополнительным аргументом в пользу применения синтетических масел, вместе с их высокой инертностью к металлам, резинотехническим изделиям и минимальной подверженностью атмосферному влиянию. Также их опасность для окружающей среды сравнительно невысока. Вместе с тем гидросистемы с синтетическими маслами очень требовательны к кон-

структивным элементам, таким как сальники, уплотнения, инженерному исполнению гидроцилиндров, резьбовых и других соединений в силу их минимальной вязкости и малой плотности и тем самым высокой просачиваемости через конструктивные негерметичности и небрежность при изготовлении.

Третий способ снижения гидравлического сопротивления путём применения трубопроводов со стенками из податливых материалов считаем нецелесообразным в силу тяжёлых эксплуатационных условий, частыми падениями тяжёлых металлических предметов, ударами при работе или при перемещении и др. Предлагаем уже на стадии опытно-конструкторских работ и при проектировании гидросистем буровых установок использовать и применить современные расчёты гидравлических магистралей с учётом взаимовлияния местных сопротивлений. Не снижая эксплуатационных, технических, технологических и эргометрических преимуществ и свойств гидравлических механизмов подачи буровых установок, проектировать их гидравлические системы с учётом снижения или даже аннулирования турбулентных возмущений в гидравлической системе бурового станка от местных сопротивлений путём интерференции по частоте и амплитуде от предыдущего местного сопротивления. Современные достижения в гидравлике, расчёты местных гидравлических сопротивлений, зависимости и опытные данные экспериментов это вполне позволяют. Таким образом, гидравлический механизм подачи буровой установки будет обеспечивать плавную характеристику регулирования требуемых параметров бурения.

В качестве основной рекомендации предлагается применение, на основе вышеизложенных расчётов, зависимостей и аналитических исследований, регулирующей аппаратуры — дросселей с линейной характеристикой. Таким требованиям отвечает щелевой дроссель, где проходное сечение изменяется поворотом полой пробки, в которой нанесена щель заданного профиля. Поскольку толщина стенки пробки мала, то пропускная способность дросселя практически не зависит от вязкости жидкости. Поэтому дроссели этого типа нашли наибольшее применение.

Также удовлетворяет требованиям канавочный линейный дроссель, в котором вставлена цилиндрическая пробка с прямоугольной винтовой нарезкой, которая меняет свою длину при перемещении пробки относительно корпуса. Канавочные дроссели склонны к облитерации, и при минимальных расходах на их пропускную способность влияет вязкость жидкости.

Игольчатые линейные дроссели обеспечивают строго линейную характеристику с помощью подбора профиля проходного сечения, изменение которого достигается за счёт осевого перемещения

иглы. Управляемые дроссели игольчатого и щелевого типа находят максимальное применение в гидроприводах горных машин. Недостатком игольчатых дросселей является склонность к облитерации вследствие значительного периметра кольцевой щели.

Также удовлетворяет требованиям канавочный линейный дроссель, в котором вставлена цилиндрическая пробка с прямоугольной винтовой нарезкой, которая меняет свою длину при перемещении пробки относительно корпуса. Канавочные дроссели склонны к облитерации, и при минимальных расходах на их пропускную способность влияет вязкость жидкости.

Игольчатые линейные дроссели обеспечивают строго линейную характеристику с помощью подбора профиля проходного сечения, изменение которого достигается за счёт осевого перемещения иглы. Управляемые дроссели игольчатого и щелевого типа наибольшее применение находят в гидроприводах горных машин. Недостатком игольчатых дросселей является склонность к облитерации вследствие значительного периметра кольцевой щели.

Линейную характеристику обеспечивает также многотайбовый (многочовшовой) дроссель с

большим отверстием, что уменьшает его забиваемость. Пластинчатый многотайбовый дроссель состоит из набора шайб с отверстиями. Расход изменяется изменением числа шайб, находящихся на пути потока жидкости. На характеристику дросселя этого типа мало влияет облитерация и вязкость жидкости. Дроссели с линейными характеристиками часто используются в горных машинах и механизмах, где себя хорошо зарекомендовали.

Таким образом, для регулирования параметров бурения более целесообразно применять линейные дроссели, обеспечивающие более точное и плавное управление процессом бурения. Отечественной промышленностью выпускаются дроссели с линейной характеристикой пригодные для применения в уже существующих гидравлических механизмах подачи буровых установок.

Применение в гидравлических механизмах подачи буровых установок гибридной схемы подключения комбинированной регулирующей аппаратуры, где наряду с квадратичными дросселями подключены и линейные дроссели, полностью отвечает требованиям регулирования осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и режимов бурения скважины во всём диапазоне изменения параметров проходки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 224 с.
2. Арзуманов Э.С. Гидравлические регулирующие органы систем автоматического управления. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
3. Завацки С. Проблемы управления углубкой геолого-разведочных скважин // Изв. вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 86–88.
4. Завацки С., Куликов В.В. Анализ основных характеристик и механика работы гидравлических механизмов подачи буровых установок // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады, в 2 томах. М.: ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем». 2015. Т. 2. С. 66–67.
5. Завацки С., Куликов В.В. Регулирование параметров режима бурения на гидрофицированных буровых установках // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады, в 2 томах. М.: ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем». 2015. Т. 2. С. 134–135.
6. Завацки С., Куликов В.В. Механизмы подачи гидрофицированных буровых установок, применяемых при разработке и разведке месторождений полезных ископаемых, и регулирование параметров режима бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Депозитарий изд-ва «Горная книга». 2015. № 7. 7 с.
7. Завацки С., Куликов В.В. Механика работы гидравлических механизмов разведочных буровых установок и горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Депозитарий изд-ва «Горная книга». 2015. № 7. 5 с.
8. Завацки С., Куликов В.В. Современные подходы в изучении режимов бурения гидрофицированных разведочных буровых установок и регулирования их параметров // II Международная научно-практическая конференция Технологическая платформа «Твёрдые полезные ископаемые». Технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений». Сессия I Комплексная добыча, переработка и использование минерального и техногенного сырья. Сб. докл. 2–4 декабря, Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. С. 71–80.
9. Завацки С., Куликов В.В. Гидравлические механизмы подачи разведочных буровых установок, механика работы и анализ основных характеристик параметров // II Международная научно-практическая конференция Технологическая платформа «Твёрдые полезные ископаемые». Технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений». Сессия I Комплексная добыча, переработка и использование минерального и техногенного сырья. Сб. докл. 2–4 декабря, Екатеринбург. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. С. 80–87.
10. Куликов В.В. Буровая гидроаэромеханика и элементы гидропневмопривода. Бурение разведочных скважин. Учебник для вузов. Глава 5. Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. Под общ. ред. Н.В. Соловьева. М.: Высшая школа, 2007. С. 258–298.
11. Куликов В.В., Завацки С. Аналитическое исследование взаимосвязи характеристики гидравлического механизма подачи буровой установки и технологических параметров режима бурения геологоразведочной скважины. // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 6. С. 67–73.