Корректор подачи-демпфер и протектор забойный производства ООО НПП «БУРИНТЕХ»

Г.Г. ИШБАЕВ,
д.т.н., профессор,
генеральный директор
НПП «БУРИНТЕХ»

А.Г. БАЛУТА,
заместитель генерального
директора – начальник
Центра разработки

С.Ю. ВАГАПОВ,
к.т.н., ведущий инженер-
конструктор СГМИ СГК ЦР

И.Р. ИШМУРАТОВ,
начальник отдела
СГМИ СГК ЦР

Ш.И. АЛЬМУХАМЕТОВ,
инженер-конструктор
СГМИ СГК ЦР

Д.С. ГИНИЯТОВ,
к.т.н., инженер-конструктор
СГМИ СГК ЦР

ООО НПП «БУРИНТЕХ»
bit@burinteh.com

г. Уфа, 450029, Республика
Башкортостан, РФ

При бурении горизонтальных скважин возникают проблемы как с доведением осевой нагрузки на долото вследствие больших сил трения, так и возникающие при работе долота осевые и крутильные вибрации. Представляем скважинные устройства, позволяющие преодолеть силы трения и довести нагрузку на долото, а также демпфировать не только осевую, но и крутильную вибрацию. Описана схема КПД с объяснением возникающей толкающей силы устройства. Приведены результаты скважинных испытаний.

Ключевые слова: КПД, (ПЗ), силы трения, КНБК, открывающий эффект насоса, выталкивающая сила, обобщенная нагрузка, винтовые шлицы

SUPPLY CORRECTOR-DAMPER AND BIT PROTECTOR PRODUCED BY «BURINTEKH», LTD

ISHBAEV G.G.[1],
BALUTA A.G.[1],
VAGAPOV S.YU.[1],
ISHMURATOV I.R.[1],
ALMUKHAMETOV SH.[1],
GINIYATOV D.S.[1]

[1] «BURINTEKH», LTD
Ufa, 450029,
Republic of Bashkortostan,
Russian Federation

While drilling horizontal wells, problems arise both with increasing weight on bit due to the large friction forces and the axial and torsional vibrations that occur when the bit is operating. Introducing downhole tools that allow surmounting friction forces and bring weight on bit as well as damp not only axial but also torsional vibration. The design of supply corrector-damper is described with the explanation of arising device impelling force. Borehole test results are shown.

Keywords: KPD, (PZ), friction force, BHA, pump opening effect, floating force, generalized load, screw splines

Научно-производственным предприятием ООО НПП «БУРИНТЕХ» освоен выпуск целого ряда инновационного забойного оборудования предлагаемого на рынке под наименованием «Корректор подачи-демпфер» (КПД) и «Протектор забойный» (ПЗ). Они не имеют аналогов как в России, так и за рубежом и защищены рядом российских патентов, Евразийскими патентами и патентом США.

Корректор-подачи демпфер устанавливается над компоновкой низа бурильной колонны (КНБК) и позволяет создать дополнительную равномерную толкающую силу на долото в условиях, когда движение бурильной колонны в результате значительных сил трения происходит неравномерно, рывками, например, при бурении горизонтальных участков скважины. Одновременно КПД позволяет демпфировать нагрузки, снижающие негативное влияние вибрации на КНБК. Протектор забойный так же позволяет создавать осевую нагрузку на долото, однако данное устройство выполнено более компактным, т.к. устанавливается непосредственно над долотом. В конструкции ПЗ больше выражена его демпфирующая способность, причем устройство позволяет демпфировать не только осевую, но и крутильную вибрацию, возникающую при работе PDC долота. Подобная особенность ПЗ обусловлена применением в конструкции винтового шлицевого соединения, что позволило организовать обратную связь между осевой нагрузкой и крутящим моментом на PDC долоте, создавая тем самым более оптимальные условия его нагружения при бурении. Отличительными особенностями КПД и ПЗ в сравнении с известными аналогичными устройствами является то, что генерируемая толкающая сила определяется не перепадом давления в бурильных трубах перед устройством и после него, а перепадом давления между внутритрубным и затрубным пространствами на уровне установки устройства в бурильную колонну. Подобная техническая особенность позволила выполнить устройства равнопроходными. Как результат – КПД и ПЗ не требуют дополнительного и значительного перепада давления для создания толкающей силы, внутренний проходной канал выполнен с минимальными гидравлическими сопротивлениями. В дополнение – данные устройства позволяют пропускать через себя различное оборудование, например, прокачивать шары обратных клапанов, опускать приборы, скважинный инструмент и т.д.

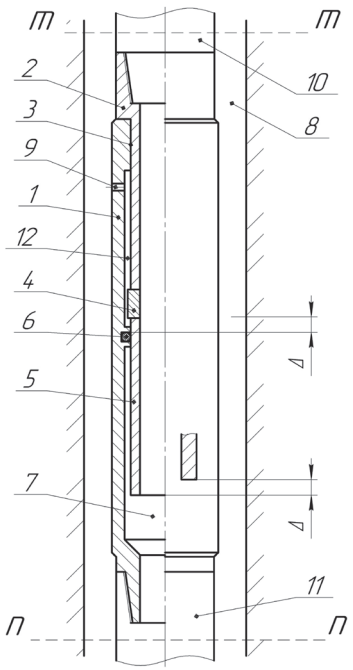

Рис. 1. Подвижная система «шпиндель 2 – шток 5», перемещающаяся относительно корпуса 1 на высоту Δ

Научно-производственным предприятием ООО НПП «БУРИНТЕХ» освоен выпуск целого ряда инновационного забойного оборудования предлагаемого на рынке под наименованием «Корректор подачи-демпфер» (КПД) и «Протектор забойный» (ПЗ). Они не имеют аналогов как в России, так и за рубежом и защищены рядом российских патентов, Евразийскими патентами и патентом США.

Теоретические предпосылки, позволившие создать данный тип оборудования, одинаковы как для ПЗ, так и для КПД и основаны на использовании широко известного в буровой практике эффекта, наблюдаемого у гидравлических яссов и известного под наименованиями «открывающий эффект», «насосный эффект», «открывающая сила насосов» и т.д. Данное явление проявляется в возникновении дополнительной силы расцепления на яссе, выталкивающей шпиндель ясса из его корпуса в процессе бурения. Используемая в технической литературе терминология отражает природу проявления этого эффекта, а именно, его возникновение в момент начала циркуляции жидкости в скважине, т.е. в случае, когда возникает избыточное давление внутри колонны бурильных труб по отношению к затрубному пространству. Открывающий эффект в гидравлическом яссе был объяснен в работе [1]. Мы хотели бы остановиться на разъяснении природы данного явления применительно к КПД и ПЗ, чтобы облегчить понимание принципа работы данного оборудования для наших клиентов.

Выталкивающая сила КПД и ПЗ основана на проявлении гидростатических сил [2], возникающих в устройстве в процессе бурения скважины. В буровой и нефтепромысловой практике влияние гидростатических сил, обусловленных весом столба жидкости в скважине или же избыточным давлением, создаваемым насосами, не всегда очевидно. Зачастую, данные силы проявляются в виде неожиданных, на первый взгляд, явлений. Так, например, при эксплуатации скважин штанговыми насосами, избыточное давление в колонне лифтовых труб приводит к появлению изгибающих моментов, приложенных к трубам при ходе насоса вверх, что может привести к искривлению нижней части колонны труб (эффект Лубинского) [4]. Интересно отметить, что колона труб при этом изгибается, будучи растянутой. В буровой практике влияние внешнего и внутреннего давления может привести к потере устойчивости бурильных и обсадных колонн. В некоторых случаях наоборот, устойчивость колонны к изгибу увеличивается из-за действия гидростатических сил.

Отличительными особенностями КПД и ПЗ в сравнении с известными аналогичными устройствами является то, что генерируемая толкающая сила определяется не перепадом давления в бурильных трубах перед устройством и после него, а перепадом давления между внутритрубным и затрубным пространствами на уровне установки устройства в бурильную колонну. Подобная техническая особенность позволила выполнить устройства равнопроходными. Как результат – КПД и ПЗ не требуют дополнительного и значительного перепада давления для создания толкающей силы, внутренний проходной канал выполнен с минимальными гидравлическими сопротивлениями.

Рассмотрим схему КПД для объяснения возникающей толкающей силы устройства. Устройство включает в себя корпус 1, внутри которого размещен с возможностью осевого перемещения шпиндель 2, взаимодействующий с корпусом 1 посредством шлицевого соединения 3. Движение шпинделя 2 внутри корпуса 1 ограничено муфтой шпинделя 2 и упорной муфтой 4. К шпинделю 2 жестко крепится по оси устройства шток 5, взаимодействующий с сальником 6 корпуса 1. Сальник 6 разобщает внутритрубное 7 и затрубное пространство 8, в корпусе 1 выполнено дыхательное отверстие 9. КПД через муфту шпинделя 2 крепится к колонне бурильных труб 10, ниппельной частью крепится к КНБК 11.

При объяснении работы КПД примем следующие допущения. Предположим, рассматриваемые перемещения элементов КПД производятся плавно, т.е. не учитываем

силы инерции. Допустим, что рассматриваемые перемещения малы настолько, что изменением давления в трубном и затрубном пространстве, обусловленных изменением объемов полостей, можно также пренебречь. Пренебрегаем силами трения в шлицевом соединении 3 и сальнике 6. Для простоты рассуждений предположим, что КПД находится на нейтральном сечении колонны труб, пренебрегаем собственными весами перемещаемых деталей устройства.

В буровой и нефтепромысловой практике влияние гидростатических сил, обусловленных весом столба жидкости в скважине или же избыточным давлением, создаваемым насосами, не всегда очевидно. Зачастую, данные силы проявляются в виде неожиданных, на первый взгляд, явлений.

Дадим подвижным частям КПД предусмотренные его конструкцией следующие возможные перемещения. Пусть подвижная система «шпиндель 2 – шток 5» переместятся относительно корпуса 1 на высоту Δ (рис. 1). Рассмотрим изменения объемов внутритрубного 7 и затрубного пространства 8 в пределах сечений m-m и n-n.

Одним из наиболее перспективных путей применения КПД с винтовыми шлицами является включение устройства в компоновку для совместной работы с роторно-управляемыми системами (РУС).

Очевидно, что при перемещении Δ, шток 5 переместится относительно сальника 6 вверх и выйдет наружу во внутреннюю полость 12 корпуса 1, вытеснив часть жидкости в затрубное пространство 8 через дыхательное отверстие 9. Таким образом, в процессе перемещения Δ шток 5 займет некоторый объем жидкости внутренней полости 12 корпуса 1, ранее занятый жидкостью в пределах сечений m-m и n-n. Следовательно, суммарный объем затрубного пространства 8 и внутренней полости 12, ранее занятый жидкостью, в процессе перемещения Δ уменьшится на величину $F_{шт}\Delta$, где $F_{шт}=\frac{\pi d_{шт}^2}{4}$ – площадь поперечного сечения штока 5 (по его наружному контуру), $d_{шт}$ – наружный диаметр штока 5. Очевидно, что в процессе перемещения Δ внутритрубная полость 7 наоборот, увеличится на эту же величину. При изменении объемов полостей, давление во внутритрубном пространстве 7 совершит работу $A_{тр}=F_{шт}\Delta p_{тр}$, где $p_{тр}$ – давление во внутритрубном пространстве на уровне сальника 6. Обратим особое внимание на то, что в этом случае работа $A_{тр}$ имеет положительный знак, т.к. увеличение объема совпадает с направлением действия внутреннего давления. Аналогично предыдущему случаю, во время указанного возможного перемещения Δ работа сил давления, но уже в затрубном пространстве 8, составит $A_{затр}=-F_{шт}\Delta p_{затр}$. Работа $A_{затр}$ имеет знак « – », т.к. увеличение объема происходит против сил давления окружающей среды.

Итак, для принятых допущений сумма работ A_{Σ} сил давления при перемещении подвижной системы «шпиндель 2 – шток 5» на высоту Δ составит

$$A_{\Sigma}=A_{тр}+A_{затр}=F_{шт}\Delta p_{тр}-F_{шт}\Delta p_{затр}=F_{шт}\Delta (p_{тр}-p_{затр})$$

В свою очередь, сумму работ A_{Σ} можно представить в виде работы одной единственной обобщенной силы $P_{об}$ на перемещении Δ, т.е. $A_{\Sigma}=P_{об}\Delta$. Подставляя в вышеприведенное выражение значение A_{Σ} и сокращая, имеем

$$P_{об}=F_{шт}(p_{тр}-p_{затр})$$

Таким образом, можно сделать вывод, что в случае возникновения перепада давления между внутритрубным и затрубным пространством, на шпиндель КПД будет действовать обобщенная нагрузка. Причем, данная обобщенная нагрузка определяется величиной перепада давления между внутритрубным и затрубным пространством (на уровне установки КПД в бурильную колонну) и площадью поперечного сечения штока устройства. В случае, когда внутритрубное давление больше затрубного давления $(p_{тр}>p_{затр})$, то гидростатические силы, обусловленные данным перепадом давления, проявляются как выталкивающая сила, выдвигающая шпиндель КПД из его корпуса. И наоборот, если внутритрубное давление меньше затрубного давления $(p_{тр}<p_{затр})$, то гидростатические силы, наоборот, будут смыкать КПД. Очевидно, что в процессе бурения, в случае установки КПД над КНБК, перепад давления $(p_{тр}-p_{затр})$ станет положительным и будет определяться в большей степени потерями напора при прохождении бурового раствора в КНБК ниже КПД (потерями напора в затрубном пространстве в этом случае можно пренебречь).

В процессе бурения величина обобщенной нагрузки будет изменяться, т.к. перепад давления в КНБК зависит от многих факторов – расхода бурового раствора, рабочей характеристики забойного двигателя, физических свойств разбуриваемых пород , состояния вооружения долота и т.д.

При бурении с забойным двигателем перепад $(p_{тр}-p_{затр})$ будет определяться перепадом давления в двигателе и долоте, если применяется телесистема, то плюс – дополнительно перепад давления на телесистеме. Разумеется, что в процессе бурения величина обобщенной нагрузки будет изменяться, т.к. перепад давления в КНБК зависит от многих факторов – расхода бурового раствора, рабочей характеристики забойного двигателя, физических свойств разбуриваемых пород , состояния вооружения долота и т.д. Строго говоря, данное явление может наблюдаться и при отсутствии циркуляции совсем, например, когда плотность столба жидкости в трубах отличается от плотности столба жидкости в затрубе или в случае обратной циркуляции.

Аналогичное явление наблюдается и в протекторе забойном. Однако в отличие от КПД протектор забойный содержит шпиндель с винтовыми шлицами, который позволяет организовать обратную связь между

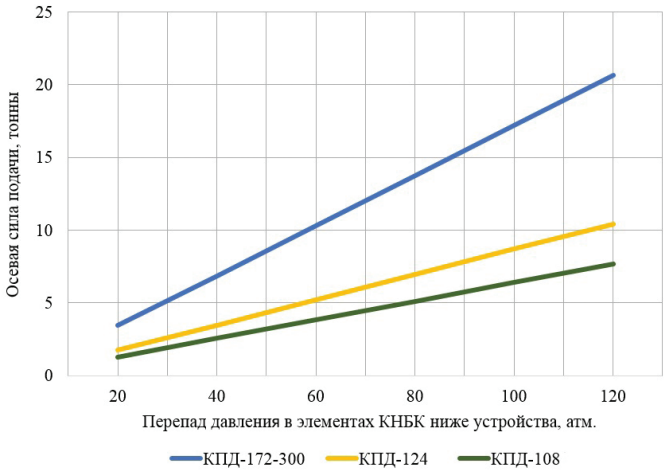

Рис. 2. Корректор подачи типоразмеров 108, 124 и 172 мм

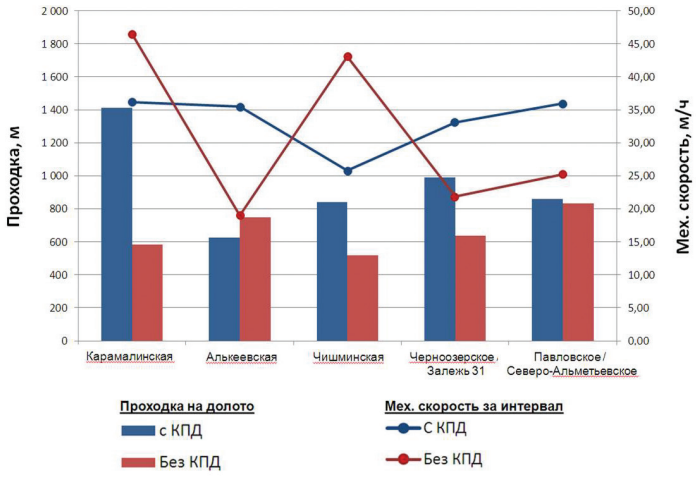

Рис. 3. Бурение длительных участков с набором параметров кривизны согласно утвержденному профилю скважины

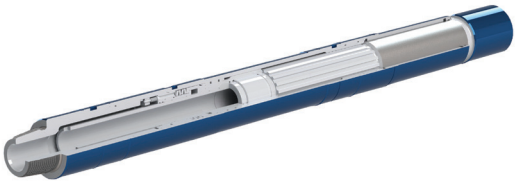

Рис. 4. Корректор подачи-демпфер

осевой нагрузкой на PDC долото и крутящим моментом. Подобная взаимосвязь позволяет осуществлять автоматическое регулирование нагрузки на PDC долото при разрушении пород с различными физическими свойствами. Кроме этого, установка ПЗ непосредственно над долотом позволяет отсечь источник вибрации от вышерасположенной части КНБК и тем самым снизить вибрационную нагрузку как на дорогостоящую забойную электронику, так и на шпиндель забойного двигателя.

В случае возникновения перепада давления между внутритрубным и затрубным пространством, на шпиндель КПД будет действовать обобщенная нагрузка. Причем, данная обобщенная нагрузка определяется величиной перепада давления между внутритрубным и затрубным пространством (на уровне установки КПД в бурильную колонну) и площадью поперечного сечения штока устройства.

Применение КПД с винтовыми шлицами также выглядит крайне привлекательным, особенно при роторном способе бурения. Одним из наиболее перспективных путей применения КПД с винтовыми шлицами является включение устройства в компоновку для совместной работы с роторно-управляемыми системами (РУС). Установка КПД с винтовыми шлицами над РУС позволит обеспечить более плавную подачу КНБК при бурении наклонно направленных или горизонтальных участков скважин, снизить негативное влияние вибрации на забойную электронику РУС.

В настоящее время предприятием ООО НПП «БУРИНТЕХ» освоен выпуск корректора подачи типоразмеров 108, 124 и 172 мм, с развиваемой силой подачи 40…64 кН, 70…90 кН и 140…170 кН при перепаде 100 атм. соответственно (рис. 2). Протекторы забойные выпускаются типоразмерами 108, 124, 172, 215, 244 и 295 мм. Результаты бурения показали [3], что применение корректора подачи-демпфера (рис. 4) позволило увеличить показатель средней скорости механического бурения на 25 %. Результаты внедрения КПД показывают, что в процессе бурения компоновка низа бурильной колонны работает более предсказуемо, уменьшаются проблемы, связанные с выставлением направления бурения, что способствует успешно бурить длительные участки с набором параметров кривизны согласно утвержденному профилю скважины (рис. 3).

Разработанные устройства находят все большее применение в буровой практике.

Литература

1. С.Ю. Вагапов, Г.Г. Ишбаев. Влияние избыточного давления в трубах на работу гидравлических яссов // Бурение и нефть. 2008. № 12.

2. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. 3 издание. М.: Наука, 1967.

3. И.Р. Ишмуратов, Д.С. Гиниятов. Корректор подачи-демпфер производства ООО НПП «Буринтех» // Бурение и нефть. 2014. № 12.

4. Lubinski A. and Blenkarn K.A. 1957. Buckling of Tubing in Pumping Wells, Its Effect and Means for Controlling It. Trans. AIME (1957) 210, 73.SPE-672-G.

Referency

1. S. Y. Vagapov, G. G. Ishbaev. Excess tubing pressure effect to hydraulic jars operation // Drilling and Oil. 2008. No.12 (In Russian).

2. V. I. Feodosyev. Material resistance selected issues and questions. 3rd edition. M.: Science, 1967. (In Russian).

3. I. R. Ishmuratov, D. S. Giniyatov. Supply corrector-damper produced by «BURINTEKH», Ltd // Drilling and Oil. 2014. No.12 (In Russian).

4. Lubinski A. and Blenkarn K.A. 1957. Buckling of Tubing in Pumping Wells, Its Effect and Means for Controlling It. Trans. AIME (1957) 210, 73.SPE-672-G. (In English).