

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Зарипов Н.Н., Попков В.Ф., Кретинин М.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Рассмотрены способы выгрузки нефтяного кокса из реакторов установок замедленного коксования (УЗК). Проанализированы механические методы выгрузки кокса, использовавшиеся в мировой практике до 1938 года. Показано преимущество гидравлического способа выгрузки кокса, использование которого инициировало развитие процесса замедленного коксования. Проведён анализ совершенствования конструкций гидравлических инструментов за период с 1938 по 2005 гг., разработанных сотрудниками ВНИИНефтемаш и БашНИИ НП. На основе анализа научно-исследовательской и патентной литературы разработаны основные направления совершенствования конструкций гидроинструментов.*

Гидравлический способ выгрузки кокса из необогреваемых реакторов на первых установках замедленного коксования (УЗК), эксплуатировавшихся за рубежом, не использовался. Изначально для этих целей применялись различные механические методы [1.2]:

- при помощи троса, который определенным образом укладывался в реакторе перед заполнением его сырьем коксования, а затем с помощью лебедки трос извлекался из аппарата, разрушая при этом массив кокса. Степень разрушения массива кокса в реакторе была незначительной, а оставшуюся в реакторе основную часть массива кокса выгружали вручную;
- при помощи объемных решеток, устанавливаемых внутри аппарата;
- с помощью механического бурения, включающего в себя целый комплекс оборудования по подъему – опусканию и вращению рабочего органа;
- выгрузка кокса из аппаратов с помощью взрывов.

Все перечисленные способы оказались малоэффективными как с точки зрения технико-экономических показателей, так и в плане охране труда и техники безопасности, пожаро – и взрывобезопасности. Учитывая очень серьезные недостатки первоначальных методов выгрузки кокса из реакторов УЗК, в настоящей работе они не рассматриваются.

Использование систем гидравлической выгрузки кокса позволило решить целый ряд проблем: значительно снизить трудоемкость и продолжительность выполнения работ; снизить до минимума пожаро – и взрывоопасность. Применение метода гидравлической выгрузки массива кокса из реактора инициировало интенсивное развитие самого процесса замедленного коксования.

Гидравлический способ выгрузки кокса из реакторов коксования впервые был использован на УЗК США в 1938 году. С этого исторического момента по настоящее время на УЗК (как зарубежных, так и отечественных) применяется только гидравлический способ выгрузки кокса из реакторов коксования.

При решении вопроса повышения эффективности процесса гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов особое внимание уделялось совершенствованию конструкции гидроинструментов. Основными разработчиками конструкций гидроинструментов для удаления нефтяного кокса из реакторов УЗК были институты ВНИИнефтемаш (г. Москва) и БашНИИ НП (г. Уфа). Специалистами этих институтов была разработана целая серия гидроинструментов различных конструкций. Процесс совершенствования конструкций гидроинструментов в течение длительного времени носил эволюционный характер.

Для первых УЗК институтом ВНИИнефтемаш был разработан комплект из трех инструментов: гидродолота ГД-1 и гидрорезаков ГР-1 и ГР-2. Гидродолото ГД-1 было предназначено для бурения центральной скважины в массиве кокса. Бурение центральной скважины производилось пятью буровыми соплами, из которых центральное имеет буровое отверстие диаметром 12,0мм, а четыре остальных (расположенных под углом 45° к центральному) – диаметром 10,0мм. В корпусе гидродолота ГД-1 дополнительно предусмотрены два сопла диаметром 3,0мм, с помощью которых две струи направлялись на массив кокса снизу вверх под углом 30° к вертикальной оси и были предназначены для подрезки кокса с целью улучшения условий его обрушения. После первой проходки скважина расширялась до 1000...1200 мм, затем выключался насос высокого давления, демонтировалось гидродолото, устанавливался гидрорезак ГР-1, которым диаметр скважины увеличивали до 1,6...2,0м. Выгрузка остальной части кокса производилась гидрорезаком ГР-2.

При использовании комплекта гидроинструментов ГД-1, ГР-1 и ГР-2 необходимо было в процессе освобождения реактора от кокса неоднократно останавливать насос высокого давления для смены инструментов при переходе с режима бурения на режим резки и наоборот в случае образования завалов кокса в разгрузочном люке реактора коксования. Замена инструментов требовала выполнения значительного объема трудоемких работ и больших затрат времени.

С целью сокращения трудоемкости работ по замене гидрорезака ГР-1 на ГР-2 ВНИИНефтемаш разработал комбинированный гидрорезак ГК, в котором были совмещены функции инструментов ГР-1 и ГР-2.

При использовании инструмента ГК расширение скважины производилось нижними и средними соплами. Верхняя пара сопел в это время была заглушена пробками. Гидроразрушение основной массы кокса производилось верхней и средней парой сопел.

Операция смены сопел менее трудоемка и занимает меньше времени, чем замена гидрорезака ГР-1 на ГР-2. Однако, с внедрением гидрорезака ГК, вопрос снижения трудоемкости, в случае перехода с режима бурения на режим резки и наоборот, кардинально не был решен. В последующих разработках ВНИИНефтемаш конструкции гидрорезаков совершенствовались, был создан универсальный гидрорезак (УГР), которым выполнялись все операции: бурение центральной скважины; разрушение массива кокса и зачистка стенок реакторов.

Использование универсальных гидроинструментов конструкции ВНИИНефтемаш снизило трудоемкость работ, выполняемых обслуживающим персоналом, сократило время освобождения реакторов от кокса и оказало значительное влияние на развитие процесса гидроудаления и замедленного коксования в целом. Однако конструкции этих резаков не были лишены недостатков и с ростом потребности в нефтяном коксе не смогли удовлетворить требования прогрессивно развивающегося процесса замедленного коксования.

Дальнейшее развитие конструкций гидроинструментов получило в разработках БашНИИ НП, в которых основное внимание уделялось повышению гидродинамических свойств струи, снижению габаритных размеров и веса инструмента, уменьшению времени на переключение гидроинструмента с режима бурения на режим резки и наоборот.

Сотрудниками БашНИИ НП был проведен большой объем научно-исследовательских работ, на основе которых было разработано несколько конструкций комбинированных и универсальных гидроинструментов: ГР 2-4, ГKB-1, ГРУ-2, ГРУ-3Р, ГРУ-4Р и ГРУ-5Д-25 [2...6]. Для повышения компактности струи были использованы успокоители потоков воды различных конструкций и сопла улучшенной конфигурации. Для переключения сопел с режима бурения на режим резки и наоборот использовался клапанный механизм переключения (ГРУ-1А), принцип действия которого был основан на регулировании напора воды. Однако из-за гидрообразивного износа уплотнений и клапана надежность работы клапанного механизма переключений оказалось неудовлетворительной, в связи с чем в последующих разработках в конструкциях гидрорезаков для переключения сопел был использован ручной поверхностный золотник.

В 1964...1968 годах сотрудниками БашНИИ НП был разработан, испытан и внедрен в производство универсальный гидрорезак ГРУ-2 [7, 8]. Отличительной особенностью конструкции ГРУ-2 от ранее известных является использование для формирования компактных струй вертикальных конусных стволов со встроенными в них успокоителями потока и ручного поворотного золотника для переключения сопел с режима бурения на режим резки. Гидрорезак ГРУ-2 эксплуатировался на отечественных установках до 1975 года [7,8].

С 1975 года на отечественных УЗК введен в эксплуатацию гидрорезак ГРУ-3Р-170 конструкции БашНИИ НП, который по данным авторов [7, 8] имеет более высокие показатели при бурении центральной скважины (скорость проходки – до 2,5м/мин), по производительности и гранулометрическому составу выгружаемого кокса.

Одновременно с ГРУ-3Р-170 в БашНИИ НП была разработана новая конструкция гидрокомплекса ГРУ-5Д-19 с независимым включением и переключением бурильных и режущих сопел, который в 1976 году прошел промышленные испытания на Ново-Бакинском НПЗ и был рекомендован для использования на других УЗК [2, 3, 7].

Промышленные испытания и эксплуатация гидравлических инструментов конструкции БашНИИ НП выявили их преимущество не только перед ранее

применявшимися отечественными, но и лучшими зарубежными образцами. Следующим этапом развития оборудования для гидроудаления явилась разработка БашНИИ НП гидрорезака ГРУ-3Р-250 и гидрокомплекса ГРУ-5Д-25 для крупнотоннажных установок с реакторами диаметром 7...8м [2, 3, 7].

Специалистами БашНИИ НП, внесшими значительный вклад в создание конструкций гидравлических инструментов, являются к.т.н. Походенко Н.Т., к.т.н. Брондз Б.И. и д.т.н. Кузнецов В.А.

Несмотря на значительный прогресс в области совершенствования гидравлических инструментов, работы в этом направлении не прекращаются до настоящего времени, что свидетельствует о наличии нерешенных проблем в данной области. Это связано также с повышением единичной мощности отечественных УЗК, в составе которых стали использоваться реакторы диаметром 7,0м, а также с сокращением цикла работы реакторов до 48 часов. Эти обстоятельства выдвигают новые требования к процессу гидравлической выгрузки кокса из реакторов, основными из которых являются: увеличение производительности систем, снижение энергозатрат и увеличение выхода крупнокусковых (электродных) фракций нефтяного кокса.

Анализ научно-технической и патентной литературы показывает, что перспективные гидроинструменты должны обеспечивать гидравлическое разрушение кокса в реакторе с минимальной площадью контакта струи с массивом кокса, максимальной скоростью (энергией) струи и снижением времени контакта струи до момента разрушения кокса. Увеличения скорости струи можно добиться путем повышения давления жидкости и снижения гидравлического сопротивления. Следовательно, при разработке новых конструкций будут использоваться различные обтекатели, смазки и успокоители струи. Одновременно будут совершенствоваться источники энергии, так как с увеличением давления жидкости повышается мощность приводов. Поскольку в настоящее время экономия энергозатрат является одним из решающих условий, то возможно применение аккумуляторов энергии, например, в виде механического маховика, или преобразователей низкопотенциальной энергии в высокопотенциальную, например, использование гидравлического тарана в струйной технике, ультразвука в резонансной частоте, вибрации и т.д.

Снижение времени взаимодействия струи с преградой применяется в разработке импульсных инструментов. Импульсные гидроинструменты имеют большой класс типоразмеров, использующие различные виды энергии от вакуума до взрыва. Дальнейшее их совершенствование будет происходить в направлении повышения надежности механизмов создания импульса.

Перспективным направлением интенсификации процесса гидроудаления кокса из реакторов больших диаметров является создание гидроинструментов с изменяющимся вылетом сопел, с целью их приближения к разрушаемому массиву кокса. Известные способ и устройства, реализующие этот принцип [9, 10], предусматривают бурение центральной скважины и последующие разрушение массива кокса вертикально направленными струями воды с приращением и радиальным перемещением сопел гидроинструмента после каждой проходки. Гидроинструмент выполнен в виде пары сопел шарнирно закрепленных на штанге и снабженных механизмом управления. Выгрузка кокса (после пробуривания скважины) предусматривается методом нарезания в массиве кокса цилиндрических колец вертикально направленными струями воды. Обрушение колец считается возможным за счет кинетической энергии высокоскоростных напорных струй, истекающих из сопел гидроинструмента. Обрушению препятствует цилиндрическая форма сформированных колец и их большой вес. Это обстоятельство ограничивает толщину нарезанных колец до 100...150мм. Увеличение толщины слоя до 300...600мм, как это предусмотрено патентами [9, 10], с целью увеличения выхода крупных фракций, делает его сход с массива практически невозможным при существующих давлениях и расходах воды. Кроме того, при резке кокса кольцевыми цилиндрическими слоями «сверху – вниз» затруднен сток воды из сформированных струями пазов. Поэтому разрушение кокса будет осуществляться затопленными или полузатопленными струями, что значительно снижает эффективность процесса.

При использовании гидроинструмента с изменяющимся вылетом сопел [10] необходимо обеспечивать гарантированный зазор между массивом кокса и гидроинструментом (выдвигающимися соплами), который может быть обеспечен увеличением радиального размера нарезанных пазов. Расчеты показывают, что размер пазов должен быть не менее 150мм. Это означает, что ширина паза

превышает толщиной выступа кокса, сформированного в процессе гидрорезки, и гарантирует выход малоценных мелких фракций более 50 %. Таким образом, данное устройство не может быть эффективно использовано, поскольку не обеспечивает увеличения выработки электродных фракций кокса, необходимую производительность и надежность его работы.

Таким образом, создалась ситуация, когда конструкции гидроинструментов практически исчерпали возможности дальнейшего совершенствования при традиционном подходе к их разработке. Оснащение гидроинструментов стационарными соплами не позволяет оптимально использовать энергетические свойства струи и обуславливает нарастающее переизмельчение кокса в периферийных зонах реактора, где сконцентрирована основная часть коксового массива (80...85%). Это обуславливается тем, что в процессе увеличения диаметра скважины расстояние от среза стационарного сопла до массива постоянно увеличивается и в 5...8 раз превышает длину наиболее компактного и энергоемкого начального участка струи. Исключить отрицательное влияние расширения гидравлических струй и снижения их энергоемкости в зоне забоя можно лишь при использовании гидроинструментов с изменяющимся вылетом сопла. В этом случае предоставляется возможность использовать наиболее энергоемкую часть струи – ее начальный участок, что при всех прочих равных условиях существенно улучшит технико-экономические показатели процесса гидравлического удаления кокса из реакторов и УЗК в целом за счет увеличения выхода электродных фракций кокса, повышения производительности и снижения энергетических затрат. Использование принципа приближения сопел к массиву кокса позволяет снизить мощность насоса высокого давления (примерно в 2 раза), увеличить производительность УЗК и улучшить гранулометрический состав кокса.

Создание и внедрение в производство гидроинструментов с переменным вылетом сопла сдерживается необходимостью решения сложных технических задач, обусловленных спецификой процесса гидравлического удаления кокса из реакторов УЗК: невозможность осуществлять визуальное наблюдение за динамикой разрушения массива кокса, непостоянный диаметр скважины по высоте реактора. Перечисленные факторы сдерживают создание и внедрение

данного типа гидроинструментов. Однако работы в этом направлении не прекращаются. Автором [11] предложена конструкция гидроинструмента с раздвижными соплами, в которой струеформирующие стволы выполнены поворотными в вертикальной плоскости. В случае падения кусков кокса с верхней части реактора оба ствола поворачиваются относительно горизонтальной оси, освобождая пространство для прохождения кокса к разгрузочному люку реактора. После прохождения кусков с помощью специального устройства стволы возвращаются в горизонтальное положение.

При всей привлекательности данной конструкции гидрорезака его эффективное использование не предоставляется возможным по следующим обстоятельствам:

- в данном устройстве вращение стволов под воздействием внешних ударных нагрузок возможно только в вертикальной плоскости. В то же время при выгрузке кокса радиальные размеры скважины не могут формироваться правильной геометрической формы, в связи с чем возможно заклинивание в горизонтальной плоскости стволов и их поломка;

- при падении кусков сверху на раздвижные сопла могут быть различные варианты их контакта. Возможно падение куска на одно сопло с большой высоты и с большой скоростью падения, что может привести к поломке сопла либо к резкому отклонению штанги от вертикальной оси с последующим ударом второго сопла о массив кокса и т.д.;

- при высоких скоростях падения крупных кусков большой массы применяемое поршневое устройство, в силу своей инерционности, не может быстро перемещаться, освобождая проход падающим кускам и, следовательно, будет подвергаться большим ударным нагрузкам.

Однако, несмотря на отмеченные недостатки, не позволяющие использовать данную конструкцию в промышленных условиях, следует отметить, важность этой разработки как одного из этапов попытки создания гидроинструментов с соплами, приближающимися к массиву кокса при его разрушении высоконапорными струями.



Анализ научно-исследовательской и патентной литературы позволяет сделать вывод, что в ближайшей перспективе в совершенствовании конструкций гидроинструментов могут быть использованы следующие основные направления:

- использование различных методов воздействия на разрушаемый массив кокса: удар, кумуляция, кавитация, раскалывание, срез, излом, разрыв, вибрация;

- использование различных видов струи: непрерывная, прерывистая, одиночная, многоструйная, однофазная, многофазная, струя в струе, импульсная, вибрирующая;

- использование различных видов сопел: цилиндрические, диффузные, конфузорные, овальные, плоские, винтовые, консидальные, с успокоителем, с возбудителем, с ворсом, эластичные, со смазкой, с гидropодшипником, с газоподшипником, с обтекателем, с антизавихрителем;

- использование различных конструктивных материалов для изготовления сопел: сталь, цветной металл, сплав, металлокерамика, корунд, пластмасса, резина, неньютоновская масса;

- совершенствование конструкции гидроинструмента в целом будет направлено на: улучшение конструкции водоподводящих каналов к соплам; решение вопросов дистанционного управления режимами процесса гидроудаления; механизации и автоматизации переключения буровых и режущих сопел; создание более совершенных гидроинструментов с раздвижными соплами; оптимизацию взаимодействия высоконапорных струй с массивом кокса путем изменения угла взаимодействия с разрушаемым массивом кокса; разработку инструментов гидромониторного типа и с реактивным приводом вращения.

Дальнейший научно-технический прогресс в повышении технико-экономических показателей работы гидроинструментов будет идти также по пути увеличения плотности струи ( $\rho$ ), скорости струи ( $C$ ), объема жидкости ( $V$ ), давления жидкости ( $P_{ж}$ ) и уменьшения площади контакта струи с преградой ( $S$ ), время действия струи на преграду ( $T$ ), длины струи ( $L$ ) – расстояние от сопла до преграды и угла раскрытия струи ( $\alpha$ ).

Расчеты показывают, что наиболее эффективными направлениями дальнейшего совершенствования гидроинструментов являются увеличение скорости и

уменьшение угла раскрытия струи, сокращения расстояния между срезом сопла и массивом кокса.

Для достижения положительного эффекта необходимо добиваться минимального пятна контакта струи с преградой, максимальной скорости струи и снижения времени взаимодействия струи с преградой.

Уменьшить пятно контакта можно, применяя компактные струи, например, кумулятивные.

Увеличения скорости жидкостной струи можно добиться путем увеличения давления жидкости и снижения гидравлического сопротивления. Следовательно, будут использоваться различные обтекатели, смазки, успокоители струй. Одновременно будут совершенствоваться источники энергии, так как с увеличением давления жидкости пропорционально растут и мощности приводов. Поскольку экономия энергозатрат является одним из решающих условий, то, как показано ранее, возможно появление аккумуляторов энергии, например, в виде механического маховика и преобразователей низкопотенциальной энергии в высокопотенциальную (использование гидравлического тарана в струйной технике, ультразвука в резонансной частоте, вибрации и т.д.). Положительный эффект может дать снижение времени взаимодействия струи с преградой, которое можно реализовать при использовании импульсных гидравлических инструментов.

## Литература

1. Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Ч. 2. – М.: Химия. 1968. – 375 с.
2. Брондз Б.И., Сюняев З.И., Походенко Н.Т. Совершенствование технологии гидравлического извлечения кокса из камер. /Тем. Обзор ЦИИИ ТЭнефтехим, М.: 1983. – 49 с.
3. Брондз Б.И., Походенко Н.Т., Варфоломеев Д.Ф. и др. Высокопроизводительные системы гидроудаления нефтяного кокса. – Химия и технология топлив и масел. 1981. - № 6. – С. 13...17.
4. Брондз Б.И., Походенко Н.Т., Кретинин М.В. Гидравлическая выгрузка нефтяного кокса. – Р.Ж. Химия, М.: 1978. Реф. 23 П 182.
5. Походенко Н.Т. и др. Способы гидравлической выгрузки нефтяного кокса из камер установок замедленного коксования. // Проблемы развития производства нефтяного кокса. – Уфа: 1975. – Вып. 13. – С. 295...303.
6. Походенко Н.Т. и др. Технология выгрузки кокса на установках замедленного коксования. // Там же. – С. 285...294.
7. Брондз Б.И. и др. Гидравлические инструменты для выгрузки нефтяного кокса. // Сб. Проблемы развития производства электродного кокса. – Уфа: 1975. – Вып. 13. – С. 261...270.
8. Походенко Н.Т. Исследование и интенсификация гидроудаления нефтяного кокса на установках замедленного коксования. Диссертация канд. техн. наук. – Уфа: 1973. – 172 с.
9. Патент США № 3836434.
10. Патент США № 3880359.
11. А.С. 1341994 СССР. Гидравлический резак. /В.А.Кузнецов. – Опубл. в Б.И., 1987, № 27.