

Морской



Вестник

№2(38)

И Ю Н Ь

2 0 1 1

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



Катера «Базис» и «Чайка» —
первая продукция в 1911 г.

100 лет на службе Отечеству

В электроприводах различного назначения с тяжелыми условиями пуска целесообразно использовать асинхронную электрическую машину с фазным ротором. В цепь фазного ротора вводят активные сопротивления, при этом возрастают критическое скольжение S_k и пусковой момент. При $S_k = 1,0$ пусковой момент равен максимальному моменту двигателя. Если механическая характеристика рабочего органа хорошо согласуется с механической характеристикой электродвигателя, т.е. пусковой момент рабочего органа не превышает его максимальный момент, а в установившемся режиме момент сопротивления рабочего органа близок к его номинальному моменту, то наиболее приемлемым является использование активных сопротивлений в цепи фазного ротора.

Однако в тех случаях, когда механическая характеристика рабочего органа носит нелинейно-спадающий характер (рис. 1), необходимо использовать двигатель большей мощности (рис. 2, 3) с тем, чтобы он обеспечивал пуск. Естественно, такой электродвигатель в установившемся режиме недоиспользуется по мощности, что ухудшает энергетические показатели электропривода.

Таким образом, оптимальным был бы вариант, когда в установившемся режиме статический момент сопротивления равен номинальному моменту, а пусковой момент, развиваемый двигателем, больше номинального пускового момента.

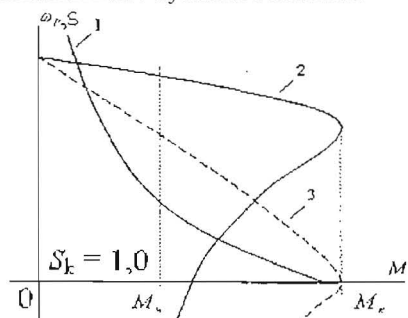


Рис. 1. Механические характеристики двигателя

Для анализа электромагнитных процессов при предлагаемом способе используется Г-образная схема замещения. Если пренебречь мнимой частью коэффициента приведения Т-образной схемы замещения к Г-образной, то в этом случае можно воспользоваться схемой, которая представлена на рис. 2.

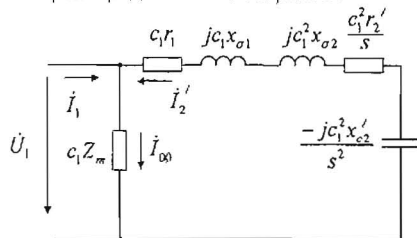


Рис. 2. Г-образная схема замещения

В соответствии с ней механическая характеристика асинхронной машины

АСИНХРОННАЯ МАШИНА С КОНДЕНСАТОРАМИ В ЦЕПИ ФАЗНОГО РОТОРА

Б.Б. Бабенко, аспирант,
В.М. Приходько, канд. техн. наук, проф., СПбГУВК,
контакт. тел. (812) 334 3835

при наличии конденсаторов в цепи фазного ротора описывается следующим выражением:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_1 \left[\left(r_1 + \frac{c_1 r_2'}{s} \right) + \left(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2} - \frac{c_1 x_{\sigma 2}'}{s^2} \right) \right]},$$

где m_1 — число фаз обмотки статора; U_1 — напряжение сети; ω_1 — механическая угловая частота вращения магнитного поля статора; s — скольжение; r_1 — активное сопротивление статора; r_2' — приведенное активное сопротивление ротора; $x_{\sigma 1}$ и $x_{\sigma 2}$ — индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора; c_1 — коэффициент приведения Т-образной схемы замещения к Г-образной; $x_{\sigma 2}'$ — приведенное реактивное сопротивление конденсаторов в цепи фазного ротора при частоте, равной частоте электрической сети.

Определим экстремальные точки выражения. Для этого возьмем частные производные по s и по $x_{\sigma 2}'$, приравняем их к нулю и в результате получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial s} = & - \left[r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2})^2 \right] \cdot s^4 + \\ & + \left[c_1^2 r_2'^2 - 2(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) c_1 x_{\sigma 2}' \right] \cdot s^2 + \\ & + 3(c_1 x_{\sigma 2}')^2 = 0. \end{aligned}$$

Определим критическое скольжение, при котором максимальный момент двигателя достигает своего наибольшего значения:

$$S_{k \max} = \pm \frac{c_1 r_2'}{r_1}.$$

Знак «плюс» относится к двигательному режиму, а знак «минус» — к генераторному. Найдём значение реактивного сопротивления конденсаторов в цепи ротора, при котором асинхронная машина развивает наибольший максимальный момент:

$$\begin{aligned} x_{\sigma 2 \max}' &= \frac{(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) \left(\frac{c_1 r_2'}{r_1} \right)^2}{c_1} = \\ &= c_1 (x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) \left(\frac{r_2'}{r_1} \right)^2. \end{aligned}$$

При этом для двигательного режима при $S_{k \max} > 0$ имеем

$$M_{k \max} = \frac{m_1 U_1^2}{4 \omega_1 c_1 r_1}.$$

Из данного выражения видно, что наибольший максимальный момент асинхронного двигателя при наличии конденсаторов в цепи ротора больше

номинального максимального момента, который двигатель развивает без конденсаторов, на следующую величину:

$$\frac{M_{k \max}}{M_k} = \frac{1 + \sqrt{1 + [(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) / r_1]^2}}{2}.$$

Причем наибольший пусковой момент машина в соответствии с выражением будет развивать при

$$x_{\sigma 2 \text{ пуск}}' = \frac{(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2})}{c_1},$$

при этом наибольший пусковой момент:

$$M_{\text{пуск}} = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_1 (r_1 + c_1 r_2')^2}.$$

Следует отметить, что пусковой момент двигателя достигает своего наибольшего значения, когда критическое скольжение $S_k = 1,0$.

Как известно, при проектировании асинхронных машин переменного тока стремятся к тому, чтобы активное сопротивление статора было равно приведенному активному сопротивлению ротора: $r_1 = r_2'$. С ростом мощности электрической машины емкости конденсаторов изменяются немонотонно, поскольку они зависят от величины ЭДС обмотки ротора. Если использовать конденсаторы серии К78-17 с единичной емкостью 60 мкФ, переменным напряжением 330 В и массой 0,2 кг, то масса батареи конденсаторов составит около 10% массы асинхронного двигателя. Конденсаторы в цепи ротора соединяются по схеме «треугольник». Следует подчеркнуть, что масса конденсаторов может быть уменьшена за счет оптимизации ЭДС фазного ротора и выбора типа конденсаторов. После пуска, в отличие от пуско-регулирующих резисторов, конденсаторы могут быть использованы для компенсации реактивной мощности электрической сети, а также для торможения электродвигателя с самовозбуждением (конденсаторное торможение).

В этом случае процесс оптимизации статического компенсатора состоит в оценке величин трех элементов, обеспечивающих минимум целевой функции (критерия качества) в форме суммы квадратов линейных токов трехфазной системы.

Компенсаторы реактивной мощности представляют собой параметрические оптимизаторы, содержат реактивные элементы, величины которых следует выбирать в зависимости от конкретного стационарного режима для уменьшения реактивных токов в сети. Наличие повышенных значений токов электрической сети, вызванных реактивным характером нагрузки, приводит к увеличению плотности тока и, как следствие, к повышению вероятности возникновения

локальных источников нагрева (пожара) в местах контактных соединений и повреждений сети, а также снижению электропожаробезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов О.Г. Тиристорно-конденсаторные источники питания для электротехнологии: научное издание / О.Г. Булатов, А.И. Царенко, В.Д. Поляков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 197 с.

2. Кацман М.М. Электрические машины: Учеб. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2000. – 463 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 328 с.
4. Электромеханические устройства и системы: Сб. науч. тр. Брянск. гос. техн. ун-та / Ред. Л.А. Потапов. – Брянск: изд-во БГТУ, 2003. – 91 с. ■

ПРОБЛЕМА

В процессе эксплуатации различного оборудования, имеющего системы охлаждения/нагрева, на поверхностях теплообмена образуются отложения солей, выпадающих из пересыщенных растворов, продуктов коррозии, различных технологических загрязнителей. Согласно имеющимся данным, в высокоразвитых странах ущерб от образования отложений различного состава составляет 0,25% ВВП [1,2].

Судовые дизельные установки, газомотокомпрессоры, поршневые компрессоры. В дизельных установках, используемых на судах речного флота, и земснарядях в качестве приводов грунтовых насосов, на судах в качестве движителей и на дизель-генераторных установках используется рубашечная система охлаждения втулок силовых цилиндров и турбокомпрессора. На ряде компрессорных станций в качестве газоперекачивающего агрегата используют газомотокомпрессоры, конструктивно аналогичные судовым дизелям (рис. 1). Различие систем охлаждения судовых дизелей от систем охлаждения газоперекачивающих агрегатов (ГПА) заключается в том, что в поршневых ГПА применена одноконтурная схема охлаждения втулок и блока силовых цилиндров, турбокомпрессора воздуха наддува силовых цилиндров и охладителя масла, теплота от воды (или другого агента) отдается в атмосферу с помощью аппаратов воздушного охлаждения, а в судовых дизелях используется двухконтурная система охлаждения. Цилиндровые втулки, блок цилиндров

ОЧИСТКА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

М.В. Омелянюк, канд. техн. наук, доцент, докторант КубГТУ, г. Армавир, контакт. тел. (86137) 72203

и турбокомпрессор воздуха наддува силовых цилиндров охлаждаются циркулирующей пресной водой внутреннего контура (зачастую умягченной с добавлением ингибиторов солеотложения и коррозии), а наддувочный воздух, масло и вода внутреннего контура охлаждаются в охладителях воздуха, воды и масла забортной проточной водой внешнего контура (в большинстве случаев – в кожухотрубных охладителях).

При наличии солевых и коррозионных отложений в системах охлаждения поршневых газоперекачивающих агрегатов и судовых дизелей образуются очаги теплонапряженности в деталях цилиндропоршневой группы, особенно во втулках силовых цилиндров в районах перемычек между выхлопными окнами. В результате в процессе работы втулка силового цилиндра деформируется, образуется трещина, происходит разрушение собственно втулки, головки поршня, комплекта маслосъемных

В судовых дизельных установках в процессе работы с отложениями в полостях охлаждения крышек цилиндров, холодильников или трубопроводов наблюдается повышенная температура воды у одного или нескольких цилиндров по сравнению с остальными (при условии равномерного распределения нагрузки по цилиндрам), а также воды внутреннего контура, повышенный перепад температур воды до/после холодильника, повышенная температура и темный цвет выхлопных газов у дизелей с охлаждением наддувочного воздуха. При работе дизеля с такой неисправностью возможно заедание поршней и подплавление подшипников, разрушение колец и т.д. Инструкцией по эксплуатации газомотокомпрессора ГМК МК-8М предусматривается обязательная очистка систем охлаждения в том случае, если толщина отложений превышает 1 мм. Однако нередко случаи эксплуатации агрегатов с отложениями до 20 мм, в том числе с полным перекрытием проходного сечения.

Стоимость замены втулки силового цилиндра, головки поршня с комплектом маслосъемных и компрессионных колец, комплекта вкладышей подшипников зависит от типоразмера судового дизеля или газоперекачивающего агрегата, для ГПА типа ГМК 8М превышает 1,5 млн. руб. (в ценах 2008 г). Значительно снизить затраты и повысить надежность эксплуатации можно путем своевременной качественной очистки внутренних поверхностей систем охлаждения судовых дизелей и поршневых газомотокомпрессоров от солевых и коррозионных отложений.



Рис. 1. Поршневой газомотокомпрессор ГМК 8М

и компрессионных колец, вкладышей подшипников силового шатуна, прорыв выхлопных газов в картер газомотокомпрессора. Возникают поломки турбокомпрессора и крышек силовых цилиндров в результате нарушения теплообмена.

Аппараты воздушного охлаждения.

При эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения (АВО) различных агентов происходит загрязнение трубного и межтрубного пространства, особенно в аппаратах с высоким коэффициентом оребрения ($\varphi = 20-23$). В результате загрязнения снижается коэффициент теплопередачи (в 1,5–2 раза по сравнению с проектными данными [3]), снижается эффективность теплопередачи. Из-за снижения теплоотдачи, повышения температуры агентов и неравномерности охлаждения в пределах одной секции АВО также может происходить деформация труб охладителя, что приводит к дополнительной неравномерности охлаждения из-за перераспределения зазоров между оребренными трубами секции. Методиками, представленными в работах [4, 5], не учитываются в полной мере влияние неравномерности теплоотдачи по поверхности теплового съема АВО, динамика изменения параметров АВО во времени (коробление, провисание труб, загрязнение межтрубного пространства) [3].

В работе [6] на основе обработки экспериментальных данных предложена критериальная зависимость для расчета внешней теплоотдачи современных промышленных АВО с поперечными ребрами прямоугольного профиля, учитывающая степень загрязнения межтрубного пространства.

В работе [7] указывается на опасность взрыва в трубной обвязке АВО сжатого воздуха из-за скопления вынесенного смазочного масла и высокой температуры на выкиде, снижения эффективности водяного рубашечного охлаждения из-за отложения солей.

Для обеспечения нормального режима работы загрязненных АВО различных агентов требуется периодически проводить очистку трубного и межтрубного пространства.

Теплообменники. При эксплуатации водоводяного, водомасляного или иного теплообменника с покрытыми отложениями внутренними или наружными поверхностями трубок данный теплообменник не обеспечивает номинальной теплопередачи, в результате повышается температура агента на выходе из охладителя.

Наличие осадков ускоряет процесс коррозии оборудования с образованием сквозных свищей. В целом наличие отложений на поверхностях теплообменного оборудования приводит к нарушению нормальной циркуляции агента в системе охлаждения, понижает эффективность, надежность и безопасность его эксплуатации. На рис. 2 представлены загрязнения трубного пространства кожухотрубного теплообменника.

Стоимость замены трубного пучка теплообменника с количеством трубок 694–1100 шт., длиной более 6 м, мате-



Рис. 2. Загрязнения трубного пространства кожухотрубного теплообменника

риалом трубок – хромоникелевой сталью, превышает по состоянию на 2009 г. 1 млн. руб. Значительно снизить затраты на ремонт и повысить надежность и безопасность эксплуатации можно путем своевременной качественной очистки внутренних и наружных поверхностей систем теплообмена от солевых, коррозионных и прочих технологических отложений.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Проблему очистки систем охлаждения судовых дизелей и газоперекачивающих агрегатов от различных по составу отложений решают химическим, механическим, электрогидроимпульсным, гидродинамическим и другими методами, каждый из которых имеет свои достоинства, недостатки и ограничения. Применяют комплексные методы очистки, включающие в себя электрогидроимпульсный метод, разработанный авторами [8], недостатками которого являются низкая степень очистки, негативное воздействие на очищаемое оборудование (за счет гидравлических ударов), механические методы (использование сверл, ершей и шарошек) и гидродинамические методы. За рубежом широко применяется для удаления отложений гидродинамический метод (с использованием высоконапорных струй жидкости) [1, 9–11]. Струйные технологии находят применение и в ряде других областей промышленности [12–14].

Существующую проблему очистки межтрубного пространства АВО более

шинстве случаев проводят промывкой с помощью пожарных брандспойтов. Используются также пропаривание, метод пескоструйной очистки и химической метод (путем демонтажа секций АВО и их погружения в моющий раствор) для очистки трубного и межтрубного пространства.

При очистке высоконапорными струями жидкости обеспечивается более гладкая, чем после мехобработки (сверления, дробеструйной обработки и т.д.), поверхность. Последующее образование отложений на такой поверхности происходит медленнее, следовательно, слой осадка той же толщины образуется за более длительное время, чем после очистки механическими методами. На шероховатой поверхности образуется большее количество частиц твердой фазы, чем на гладкой. Это объясняется повышенной каталитической активностью выступов и углублений, а также тем, что неудаленные солевые частицы являются устойчивыми зародышами (центрами кристаллизации), следовательно, индукционный период кристаллизации будет незначительным. Кроме того, часть мелких частиц может срываться потоком жидкости с гладкой поверхности. Поэтому технология процесса очистки рубашек охлаждения, применяемые инструмент и оснастка имеют значение не только непосредственно для процесса очистки, но и обуславливают длительность дальнейшей безаварийной эксплуатации оборудования.

ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значительное число экспериментальных работ посвящено выявлению влияния на гидродинамическое совершенство струй, коэффициент расхода, степень развития кавитации конструктивных особенностей насадков и гидродинамических генераторов кавитации [9, 11–17]. Исследованы гидродинамические качества струй, в том числе многофазных, истека-

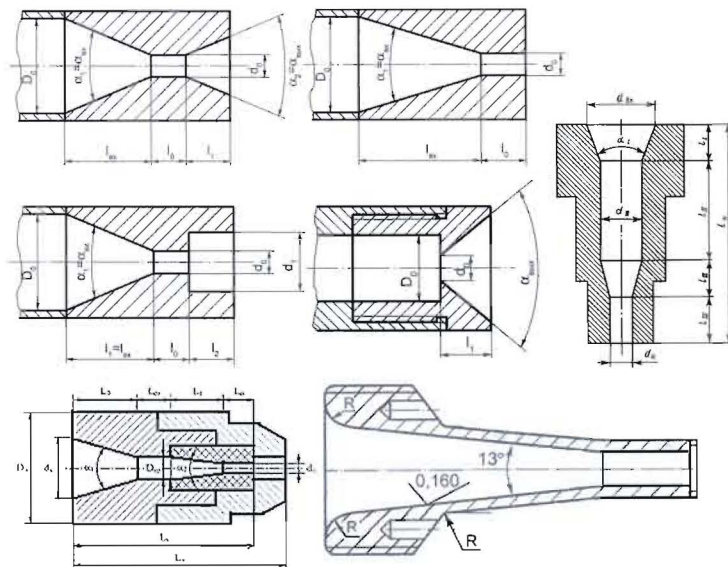


Рис. 3. Конструктивные схемы исследованных насадков

ющих из насадок со сложным внутренним профилем (состоящие из более чем четырех участков) [15, 16] (рис. 3).

Исследования эффективности струйных генераторов кавитации и гидродинамических насадок различных типов [13–21], выявление их достоинств и недостатков, комбинация различных элементов и исследования в широком диапазоне параметров (длин участков, углов раскрытия конусов, радиусов закруглений, количества участков, расходно-напорных характеристик) позволило разработать конструкции статических и ротационных генераторов гидродинамической кавитации, увеличивающих эрозионную способность струй. Достоинствами генераторов являются хорошая технологичность и низкая стоимость изготовления. Генераторы кавитации и прочие устройства доказали свою эффективность при интенсификации работы скважин [22, 23] и очистке гидротехнических сооружений и плавсредств [24]. Незатопленные гидродинамические струи эффективны при очистке насосно-компрессорных труб от различных отложений [25–27].

Для решения задачи очистки трубного и межтрубного пространства охладителей различных агентов оборудования Краснодарского УПХГ ООО «Газпром ПХГ» в 2006–2009 гг. были проведены экспериментальные и опытно-промышленные исследования технологии гидродинамической высоконапорной очистки межтрубного пространства АВО газа, АВО воды и АВО ДЭГа, трубного и межтрубного пространства кожухотрубных теплообменников установок регенерации гликоля, систем рубашечного охлаждения газомоторных компрессоров. В результате была разработана, спроектирована и изготовлена экспериментальная установка гидродинамической очистки. Установка разрабатывалась универсальной, предназначенной для очистки практически всех типов теплообменных аппаратов, эксплуатирующихся на судовых установках и станциях подземного хранения газа, от различных по химическому составу, прочности и адгезии к поверхности оборудования отложений. При исследовании получены оптимальные технологические параметры струйного воздействия и технических средств, предназначенных для реализации технологии гидродинамической очистки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Судовые дизельные установки, газомоторные компрессоры, поршневые компрессоры. Опытно-промышленные исследования эффективности разработанных технологий и технических средств очистки систем рубашечного охлаждения газомоторных компрессоров и судовых дизелей были проведены в 2005–2009 гг. на Краснодарском УПХГ [28].

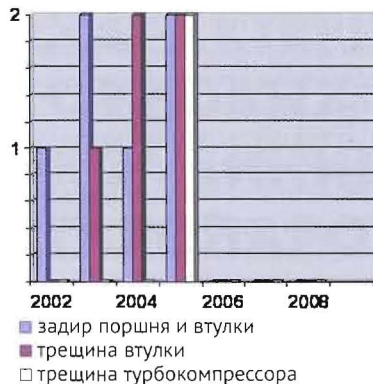


Рис. 4. Динамика количества поломок ГМК МК-8М в результате перегрева: 1-й ряд – задиры поршня и втулки силового цилиндра в районе выпускных окон; 2-й ряд – трещина в перемычке выпускного окна втулки силового цилиндра; 3-й ряд – поломка турбокомпрессора ТК-48с

До очистки при работе девяти агрегатов ежегодно происходило две–четыре поломки втулок силовых цилиндров (а также головки поршня, комплекта масло-съемных и компрессионных колец, вкладышей подшипников силового шатуна) и восемь–девять поломок крышек силовых цилиндров в результате перегрева (за период заправки). С увеличением толщины отложений увеличивалось количество поломок; динамика количества поломок ГМК МК-8М в результате перегрева за 2002–2009 гг. представлена на рис. 4.

Дополнительно получен экономический эффект из-за снижения электропотребления на 350 тыс. кВт/ч. насосами, обеспечивающими циркуляцию воды в системе охлаждения в результате снижения гидравлических сопротивлений и нормализации режима работы. Данной установкой также были очищены рубашки охлаждения поршневых трехступенчатых воздушных и кислородных компрессоров.

Аппараты воздушного охлаждения. Разработанный и изготовленный опытный образец установки очистки теплообменного оборудования был промышленно апробирован в 2007–2009 гг. при очистке межтрубного пространства АВО (аппараты воздушного охлаждения) газа Краснодарского УПХГ [29].

Опытно-промышленные исследования оптимальных параметров высоконапорных струй жидкости для очистки оребрения проводили на АВГ-160 (4 шт.), АВГ-100 (3 шт.), АВГ-100 С (2 шт.). Исследовались технология гидродинамической очистки незатопленной струей без использования эффектов кавитации и стандартные гидродинамические конические сопла (из двух участков). В задачу входило определение оптимальных технологических параметров струйного воздействия и технических средств, предназначенных для реализации технологии гидродинамической очистки. Вследствие высокого коэффициента оребрения труб и значительного количества рядов в АВО очистка струями с недостаточным дав-

лением (отмыв с помощью пожарных брандспойтов) не позволяет полностью удалить загрязнители, в первую очередь органическую составляющую. Повышение же скорости струйного потока выше критического значения может приводить к деформированию оребрения, а в случае возникновения резонансных колебаний труб при очистке – к их деформации и нарушению герметичности. Установлено, что использование в струйном потоке абразивов или химических реагентов повышает себестоимость работ по очистке, является технически и экономически неэффективным. (рис. 5).



Рис. 5. Крышка АВО ДЭГа до и после очистки ($\delta = 3–5$ мм) (коррозионные, солевые и органические отложения).

Экспериментально определено оптимальное сочетание напорных и расходных характеристик, которое обеспечивает качественную гидродинамическую очистку оребрения всех рядов труб АВО без нарушения их целостности и повреждения оребрения. Использовалась водопроводная вода без добавок химреагентов. Для эффективного удаления загрязнителей потребовалось проведение очистки в два этапа.

При определении периодичности очистки необходимо учитывать тот факт, что загрязнение АВО газа происходит с разной интенсивностью, в зависимости от степени загрязнения и запыленности окружающей среды, где эксплуатируется агрегат; конструктивных и эксплуатационных особенностей АВО (диаметра осевого компрессора, углов атаки на лопатках осевого компрессора, частоты его вращения).

Кожухотрубные теплообменники. Опытно-промышленные исследования эффективности разработанных технологий и технических средств были проведены в 2008–2009 гг. в Краснодарском УПХГ ООО «Газпром ПХГ», в 2009 г. в Кушевском УПХГ ООО «Газпром ПХГ» при очистке трубного и межтрубного

пространства кожухотрубных проточных и V-образных теплообменников диэтиленгликоля, межтрубного пространства термосифона, трубного и межтрубного пространства АВО ДЭГа [30]. До очистки 10–20% труб были полностью заполнены отложениями и не обеспечивали циркуляции ДЭГа; толщина отложений в остальных трубках и в межтрубном пространстве составляла 2–4 мм.

Для очистки поверхностей нагрева элементов блоков регенерации гликоля был разработан ряд устройств, реализующих технологии гидродинамической и гидродинамической кавитационной очистки от различных комплексов отложений, в том числе генераторы кавитации (гидродинамические кавитаторы) и гидродинамические насадки (статические и ротационные), в экспериментальных натурных условиях определены их оптимальные конструктивные параметры.

Технология гидродинамической очистки труб была применена также для очистки трубного пространства охладителей масла (длина – 6 м, количество трубок – 344, площадь – 92 м²) газомотокомпрессоров, трубного и межтрубного пространства теплообменников ДЭГа блоков регенерации гликоля (4 типоразмера, от 98 до 1100 трубок, длина – от 3 до 6 м, площадь теплообмена – до 350 м²), что обеспечило снижение трудоемкости операций по очистке трубного пространства от отложений и безаварийную номинальную работу охладителей в период закачки (рис. 6).



Рис. 6. Очищенный теплообменник

ВЫВОДЫ

Установлено, что для очистки сложных профильных внутренних поверхностей применение высоконапорных струй жидкости является менее затратным и более эффективным по сравнению с другими методами очистки. Временные затраты составили 20–30 % сметной трудоемкости данных работ для различных типоразмеров теплообменных аппаратов в зависимости от степени загрязнения, прочности отложений и их адгезии к металлу. Степень очистки – выше, чем при тех же временных затратах при использовании электрогидроимпульсного, механического и химического методов. Разработанные технологии и оборудование позволили очищать поверхности

любых конфигураций (плоские, цилиндрические, профильные) от отложений с различными прочностными характеристиками и составом, с любой толщиной, даже в случае полного «зарастания» осадками циркуляционных отверстий, что выгодно отличает их от химического метода, при котором необходимо предварительно механически высверливать отложения, заполняющие 100% сечения циркуляционных отверстий.

Технологии и технические средства гидродинамической высоконапорной очистки поверхностей являются универсальными и могут использоваться в разнообразном оборудовании для удаления отложений различного состава, прочности, адгезии к материалу оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Била В.Дж. Эффективные технологии, основанные на использовании высоконапорных струй жидкости // Нефтегазовые технологии. – 1994. – № 6. – С. 16–20. (Перев. «World Oil»).
2. Вильгельмсон Б. Применение спиральных теплообменников в «грязных» средах // Нефтегазовые технологии. – 2005. – № 11. – С. 74–75.
3. Иабдрахманов А., Гаррис Н. Влияние эксплуатационного загрязнения на тепловые характеристики аппаратов воздушного охлаждения газа // Электр. науч. журнал «Нефтегазовое дело». – 2003. – http://www.ogbus.ru/authors/Garris_2.pdf
4. Марголин Г.А., Вайсман В.Е. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. – М.: ВНИИНефтемаш, 1982. – 45 с.
5. Методические рекомендации для расчетов систем охлаждения газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М.: ВНИИГаз. – 1976. – 27 с.
6. Камалетдинов И.М. Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: Автореферат дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Уфа – 2002.
7. Гунта П., Дорая А., Рай С. Результаты внутрипластового горения // Нефтегазовые технологии. – 2008. – № 3. – С. 12–15. (Перев. «World Oil»).
8. Балтаханов А.М., Иванов Е.Н. Электрогидроимпульсная технология очистки труб от накипи и отложений // Газовая промышленность. – 1997. – № 1. – С. 4–42.
9. Эванс А., Рафф А., Видерхорн С. и др. Эрозия: Пер. с англ./Под ред. К.Прис. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
10. Роуланд Ст., Хамрик Р., Геро Г. Разработка метода высоконапорной очистки скважины с использованием гибких труб // Нефтегазовые технологии. – 2003. – № 5. – С. 35–37. (Перев. «World Oil», 2003, № 1, с. 32).
11. M. Crabtree, D. Eslinger, Ph. Fletcher, A. Johnson, G. King. Fighting scale – removal and prevention. <http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/ors99/aut99/aut99/fighting.pdf>
12. Гидроабразивное резание горных пород / Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. и др. – М.: Изд. Моск. гос. горного ун-та, 2003. – 279 с.
13. Козодой А.В., Зубарев А.В., Федоров В.С. Промывка скважин при бурении. – М.: Гостехиздат, 1963. – 240 с.

14. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 448 с.
15. Кириллин В.И., Жидовцев Н.А., Крестьянская Н.Ю. Гидродинамическое совершенство насадок со сложным внутренним профилем // Нефтяное хозяйство. – 1994. – № 5. – С. 33–36.
16. Назаров Г.С. Экспериментальное исследование кавитационных характеристик сужающихся насадок // Инж.-физ. журн. – 1968. – Т. XIV. – № 3. – С. 423–429.
17. Войцеховский Б.В. Исследования истечения воды под давлением 2000 ат. из насадок различного профиля // Динамика сплошной среды. – 1971. – Вып. IX. – С. 45–50.
18. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Челомец Д.К. Интенсификация добычи нефти. – М.: Наука, 2000. – 414 с.
19. Запорожец Е.П., Зиберт Г.К., Запорожец Е.Е. Гидродинамическая кавитация (свойства, расчеты, применение): Обзор информ. Сер.: Подготовка и переработка газа и газового конденсата. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2003. – 130 с.
20. Родионов В.П. Моделирование кавитационно-эрозионных процессов, возбуждаемых гидродинамическими струйными излучателями: Дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук. – СПб., 2001.
21. Холпанов Л.П. Математическое моделирование нелинейных термогидрогазодинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях / Л.П. Холпанов, Е.П. Запорожец, Г.К. Зиберт, Ю.А. Кащичкий. – М.: Наука, 1998. – 320 с.
22. Омелянюк М.В. Повышение эффективности кавитационной реанимации скважин // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 5. – С. 35 – 41.
23. Омелянюк М.В. Интенсификация работы и реанимации водозаборных скважин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 5.
24. Он же. Очистка гидротехнических сооружений и плавсредств от обрастаний и наслоений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 2. – С. 45–48.
25. Он же. Очистка нефтепромыслового оборудования от отложений солей с природными радионуклидами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 2. – С. 23–29.
26. Он же. Повышение эффективности очистки насосно-компрессорных труб от отложений солей с естественными радионуклидами // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 6. – С. 34–37.
27. Он же. Кавитационная стойкость насадков гидродинамических установок // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 5. – С. 51–54.
28. Он же. Результаты опытно-промышленных работ по высоконапорной очистке систем охлаждения газоперерабатывающих агрегатов в ООО «Кубаньгазпром» / М.В. Омелянюк, Г.Т. Варгуяна, А.Н. Черномашенко, Е.М. Костенко // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 6. – С. 62–65.
29. Омелянюк М.В., Черномашенко А.Н. Повышение экономичности и безопасности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 4. – С. 43–46.
30. Омелянюк М.В., Черномашенко А.Н., Руденко В.М. Повышение эффективности эксплуатации блоков регенерации гликоля Краснодарского и Кушевского УПХГ // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 6. ■