РАЗДЕЛ II. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ефимов В.В., Халиулин Д.В., Халиулина Л.Э.

Осложнения очистки промысловой продукции сеноманской залежи Ямбургского месторождения на завершающей стадии разработки

*ООО «Газпром добыча Ямбург»
(Россия, Новый Уренгой)*

doi:10.18411/spc-22-11-2018-02

idsp: spub-22-11-2018-02

Одно из крупнейших по запасам газа месторождений Западной Сибири, Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение вступило в заключительную стадию разработки. Эксплуатация сеноманской продуктивной залежи, к которой приурочены основные запасы газа Ямбургского месторождения, на завершающем этапе разработки «сопровождается» проявлением целого ряда технологических осложнений:

- уменьшением дебита эксплуатационных скважин;
- значительными масштабами обводнения продуктивной залежи и, как следствие, активным разрушением призабойной зоны пласта (далее - ПЗП);
- высоким содержанием в добываемой продукции пластовой жидкости, конденсационной воды и твердых частиц примеси;
- скоплением на забое обводняющихся скважин и в пониженных местах трассы низкопроизводительных газопроводов-шлейфов больших объемов жидкости и др.

Проявление негативных факторов в сочетании с суровыми климатическими условиями Крайнего Севера способствуют снижению эффективности добычи газа через эксплуатационные скважины и пропускной способности промысловой газотранспортной сети, оказывая при этом существенное влияние на эффективность функционирования газопромыслового оборудования и, в первую очередь, входных сепараторов.

Большой практический интерес, особенно на завершающем этапе разработки месторождения, представляют собой вопросы обеспечения эффективной очистки скважинной продукции. Истощение газоносной залежи сопровождается интенсивным обводнением продуктивных пластов, разрушением ПЗП и заметным выносом из эксплуатационных скважин высокоминерализованной пластовой воды и твердых частиц примеси – породы, оксидов железа, остатков бурового раствора и пр. Процесс отделения из добываемой продукции капельной жидкости и твердых частиц называется сепарацией и является обязательным и очень важным элементом технологического процесса промысловой подготовки газа, так как от эффективной работы сепарационного оборудования зависит надежная, безаварийная работа газопромыслового комплекса и качество товарной продукции.

Особенностью коллекторной схемы подвода газожидкостной смеси к входным сепараторам является неравномерная их нагрузка по жидкости, поэтому основным критерием эффективного функционирования сепарационного оборудования, принятым в ООО «Газпром добыча Ямбург», является количество уносимой из сепараторов

капельной жидкости на единицу объема отсепарированного газа. Чем ниже значение этого параметра, тем эффективнее функционирует сепарационное оборудование.

Результатом неудовлетворительной работы промыслового сепарационного оборудования является высокая концентрация в очищенном во входных сепараторах «сыром» газе твердых частиц и содержащей растворы солей и нежелательных химических реагентов интенсификации процесса добычи капельной жидкости, поступление которых в технологические системы промысловой подготовки негативно воздействует на их работу.

Рисунок 1. Газо-абразивный износ лопаток рабочего колеса ротора центробежного нагнетателя.

Так, поступление в нагнетатели газоперекачивающего агрегата (далее – ГПА) с «сырым» газом твердых частиц и высокоминерализованной капельной жидкости становится причиной газо-абразивного износа рабочих лопаток роторов компрессоров («подрезы» на лопатках ротора – рисунок 1), вызывая образование на лопатках спрямляющих аппаратов и рабочих колес твердых отложений (рисунок 2 а, б, в), и накопление в корпусе сменной проточной части (далее - СПЧ) компрессора жидкости (рисунок 2 г). «Заращению» отложениями минеральных солей подвержены, главным образом, те ступени проточной части, в которых с повышением температуры в процессе сжатия происходит испарение содержащейся в «сыром» газе высокоминерализованной капельной влаги. Уменьшение площади рабочих сечений и искажение обтекаемых газом рабочих поверхностей образующимися на элементах проточных частей компрессоров твердыми отложениями приводит к снижению эффективности процесса компримирования. Результатом неравномерного распределения твердых отложений солей на поверхности рабочих колес роторов, в том числе и из-за воздействия при нахождении ГПА в резерве присутствующей в корпусе СПЧ жидкости (рисунок 2 г), является разбалансировка ротора компрессора и необходимость проведения внеплановых дорогостоящих ремонтно-профилактических работ ГПА.

Поступление в систему абсорбционной осушки с потоком «сырого» газа больших объемов воды как в паровой фазе, так и в капельном состоянии, вызывая разбавление растворов гликоля, сопровождается значительным ростом энергетических затрат на регенерацию абсорбента и снижением депрессии по точке росы, что негативно отражается на технико-экономических показателях процесса промысловой подготовки газа. Кроме этого, поступающие в систему абсорбционной осушки растворенные в капельной жидкости минеральные соли и химические реагенты способствуют интенсивному насыщению раствора гликоля минеральными солями, снижению осушающей способности абсорбента и осаждению солей на поверхности

оборудования и трубопроводов, ухудшая при этом термодинамические показатели функционирования установки осушки, и в первую очередь блока регенерации.

Рисунок 2. «Заращение» элементов проточных частей центробежных нагнетателей твердыми отложениями (а, б, в) и накопление жидкости в корпусе СПЧ (з).

Промысловые наблюдения за процессом стравливания газа из коллекторов транспортирования неочищенной газожидкостной смеси (при продувках импульсных линий манометров, при опорожнении емкостей-пробкоуловителей через свечу), указывают на дисперсный характер течения потока в трубах, так как присутствующая в отводимом в атмосферу потоке газовой фазы жидкость представляет собой распыленный аэрозоль, что вызывает осложнения при работе приборов контроля давления в газопроводах, вследствие образования в импульсных линиях сплошных гидратных пробок.

Таким образом, присутствие в потоке сепарируемой среды тонкодисперсной капельной жидкости в сочетании с многократной перегрузкой относительно расчетной производительности сепараторов по газу значительно снижает эффективность процесса промысловой очистки газа в сепарационном оборудовании, в составе которого не предусмотрены коалесцирующие секции.

Необходимо также отметить, что дисперсная структура течения потока во входном коллекторе установки очистки газа существенно осложняет работу установленных на тупиковых участках ветвей коллектора емкостей-пробкоуловителей, делая их функционирование неэффективным. Более того, открытые на проток «уровнительные» линии открывают для газожидкостной смеси с высоким содержанием капельной влаги и твердых частиц беспрепятственное поступление на вход компрессоров дожимной компрессорной станции (далее – ДКС), минуя газожидкостные сепараторы. Кроме того, повышение уровня жидкости в емкостях-пробкоуловителях иногда все же наблюдается, и происходит это в моменты поступления на установки комплексной подготовки газа (далее – УКПГ) из

промысловой газосборной сети больших объемов жидкости, что сопровождается колебаниями давления во входном коллекторе установки очистки газа с весьма высокой амплитудой. Поступление из промысловой газотранспортной сети во входной коллектор большого объема жидкости сопровождается резким снижением в газожидкостном потоке газосодержания [8], [10], вследствие чего образующиеся на поверхности раздела газовой и жидкостной фаз волны, достигая верхней образующей трубы, создают в трубопроводе сплошные жидкостные пробки, часть которых и «скатывается» в емкости-пробкоуловители. Процесс проталкивания через коллектор жидкостных пробок сопровождается сначала «проседанием», а затем резким «броском» давления на входе в сепараторы, что негативно отражается на газодинамической устойчивости компрессоров ДКС и становится причиной уноса жидкости из сепараторов, вследствие возникновения в жидкости эффекта «отрицательного» давления [9].

Как уже отмечалось, завершающая стадия разработки Ямбургского месторождения «сопровождается» снижением давлений на устье, уменьшением производительности и сокращением количества эксплуатационных скважин, работающих в один газопровод-шлейф, способствуя, тем самым, снижению производительности шлейфов и скорости течения транспортируемой газожидкостной смеси, что существенно влияет на формирование структуры двухфазного потока в сопряженных участках (горизонтальном, восходящем и т.п.) профильной трассы газопроводов. Кроме фактора скорости, немаловажную роль в формировании структуры газожидкостного потока играют также количественные соотношения и физические свойства газовой и жидкостной фаз, зависящие, в свою очередь, от давления и температуры на устье скважин, влагосодержания газа в пластовых условиях, степени обводнения продуктивной залежи, количества выносимой из эксплуатационных скважин пластовой жидкости, геометрических размеров газопроводов-шлейфов и др. Особенностью транспортирования газожидкостной смеси по газопроводам-шлейфам в суровых климатических условиях Крайнего Севера является влияние на структуру потока протяженности газопроводов-шлейфов, наличия и состояния теплоизоляции, что во многом определяет изменения термобарических условий в шлейфах под воздействием низких температур окружающей среды.

При некотором «сбалансированном» уровне нагрузки УКПГ в пониженных местах профильной трассы так называемых «слабых» (низкопроизводительных) шлейфов в промысловой газосборной сети происходит скопление жидкости, образуя жидкостные пробки больших объемов. Любые изменения установившегося режима, которые могут быть вызваны целым рядом факторов, таких как: повышение производительности промысловой ДКС при пуске ГПА; закачка в «слабые» шлейфы ингибитора гидратообразования; пуск в работу из резерва или после ремонта эксплуатационных скважин и др., становятся причиной резкого роста местных скоростей потока, интенсифицируя процесс «смены» структуры течения в восходящих участках с «эмульсионной» на «пробковую» или «кольцевую», в зависимости от скорости потока. При этом накопленные в «ловушках» «запасы» жидкости, поступая за короткий период времени на УКПГ, во входные сепараторы, вызывают так называемое «захлебывание» сепарационного оборудования. В момент прохождения жидкостных пробок, объем которых может достигать иногда 50 м³, промысловое сепарационное оборудование испытывает значительные перегрузки по жидкости. Ни суммарный объем кубовой части всех сепараторов и емкостей-пробкоуловителей, ни

производительность (пропускная способность) системы автоматического поддержания в них уровня жидкости не в состоянии за короткий промежуток времени отделить из газожидкостного потока и вывести из сепараторов объемы жидкости, часто в несколько раз превышающие суммарный объем оборудования. Результатом периодических «жидкостных интервенций» из промышленной газотранспортной сети являются уносы из сепараторов значительных объемов жидкости, поступление которых в последующее технологическое оборудование в течение длительного времени нарушает режим его работы.

Для решения проблемы «залповых» поступлений на УКПГ из промышленной газотранспортной сети больших объемов жидкости проектом ПАО "ЮЖНИИГИПРОГАЗ" (далее – институт) предусмотрена предварительная очистка газожидкостной смеси в проточной емкости-пробкоуловителе большого объема (диаметра). Однако авторы настоящей статьи категорически возражают против проектного решения института по использованию пустотелого аппарата для гравитационного осаждения жидкостной фазы по следующему ряду причин. В соответствии с опытом академической науки в области сепарационного оборудования [4], [12], [14] осаждение содержащихся в газожидкостной смеси при ярко выраженной дисперсной структуре потока мелкодисперсных частиц (расчетное значение средневзвешенного диаметра капель ~ 80 мкм) при высокой скорости в аппарате (1,2...1,3 м/с) без применения коалесцирующих внутренних устройств неэффективно. Примером неэффективной работы гравитационных аппаратов в промышленных условиях являются емкости-пробкоуловители, установленные на тупиковых участках ветвей входного коллектора установки очистки газа. Работа пустотелого аппарата малоэффективна и в процессе залпового выброса из промышленной газосборной сети движущихся с большой скоростью (порядка 25...30 м/с) жидкостных пробок [12]. Вследствие интенсивного вихре- и волнообразования на поверхности раздела фаз «газ – жидкость» большая часть жидкой фазы будет уноситься из аппарата в газоотводящий патрубок, в отличие от функционирования емкостей-пробкоуловителей, «скатывание» жидкостных «пачек» в которые происходит за счет образования пробок во входном коллекторе установки очистки газа, имеющем меньшую по сравнению с резервуаром пробкоуловителя площадь поперечного сечения.

Подведем итоги. В результате проведенного анализа определен круг факторов негативного воздействия на процесс промышленной очистки продукции сеноманской залежи Ямбургского месторождения во входных сепараторах одноступенчатой установки очистки газа:

1. образование твердых отложений на внутренних устройствах входных сепараторов, вследствие присутствия в газожидкостном потоке твердых частиц;
2. высокое начальное содержание в сепарируемой среде капельной жидкости со значительной степенью ее диспергирования турбулентным потоком;
3. многократные перегрузки входных сепараторов с проектными внутренними устройствами, относительно расчетных нагрузок, как по газу, так и по жидкости;
4. «захлебывание» сепараторов, сопровождающееся интенсивным уносом из аппаратов с отсепарированным газом капельной жидкости, при

прохождении из промысловой газосборной сети «жидкостных» пробок больших объемов;

Негативное воздействие вышеперечисленных факторов значительно снижает качество очистки скважинной продукции во входных сепараторах, укомплектованных проектными внутренними устройствами ГП 1181.04.01. Результаты неэффективной очистки известны:

- «зарастание» газо-проточных частей нагнетателей ГПА и связанное с этим сокращение межремонтных периодов работы газокompрессорного оборудования,
- газо-абразивное изнашивание элементов нагнетателей ГПА и запорно-регулирующей арматуры, влекущее за собой увеличение финансовых затрат на проведение дорогостоящих ремонтов,
- снижение эффективности процесса абсорбционной осушки газа с потерей дорогостоящего гликоля, что сопровождается ростом энергетических затрат на регенерацию абсорбента и ухудшением качества товарной продукции и др.

Выводы

В заключительной части статьи необходимо отметить, что для преодоления негативного воздействия на качество промысловой очистки продукции скважин Ямбургского месторождения существует весьма небольшой набор технических решений.

Увеличение производительности входных сепараторов и повышение эффективности процесса промысловой очистки добываемой продукции, безусловно, связано с проведением модернизации внутренних сепарационных устройств в существующем корпусе сепараторов. Данный вывод подтверждается результатами проведенных институтом расчетов процесса сепарации. Институтом предложено проведение модернизации сепарационных элементов существующих аппаратов, что позволило бы увеличить как производительность сепарационного оборудования, так и эффективность очистки газа.

Преодоление негативного влияния на процесс промысловой очистки газа вышеперечисленных факторов возможно применением в составе модернизируемых внутренних устройств отбойных насадок, конструкция которых позволила бы обеспечить:

- равномерное распределение (во входном устройстве) по сечению аппарата без образования застойных зон и зон повышенных скоростей на входе в сепарационные секции потока с максимальным отделением из сепарируемой среды крупной фракции капельной жидкости и механической примеси;
- коалесценцию тонкодисперсной жидкостной фазы с последующей очисткой потока «сырого» газа от капельной жидкости в (концевой секции очистки) с регламентированным качеством;
- минимизацию гидравлического сопротивления аппарата и др.

1. «Новое оборудование для очистки природного газа перед промысловой ДКС на Ямсовейской месторождении». А.А. Пигарев, В.А. Толстов, М.В. Немцов, В.А. Соколов (ДООО ЦКБН), Ю.А. Кудояр (ОАО «Газпром»), М.А. Малышкин (Надымгазпром). «Газовая промышленность». – 2008. – № 1. – С. 79-81.

2. Зиберт Г.К., Седых А.Д., Михайлов Н.В., Демин В.М. «Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование»: Справочное пособ. – М.: ОАО «Недра – Бизнесцентр», 2001. – 316с.: ил.
3. «Совершенствование оборудования с прямоточными центробежными элементами». А.Г. Зиберт, Г.К. Зиберт, И.М. Валиуллин (ООО «УК «РусГа-зИнжиниринг». «Газовая промышленность». – 2008. – № 9. – С. 72-74.
4. Синайский Э.Г., Лапига Е.Я., Зайцев Ю.В. «Сепарация многофазных многокомпонентных систем». М.: ООО «Недра – Бизнес центр», 2002. – 621с.: ил.
5. «Краткий справочник физико-химических величин». Изд. 8-е, пере-раб./Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. Л. : «Химия», 1983. – 232с., ил
6. «Основы массопередачи». Изд. 2-е, переработан. и дополнен. Учебное пособие для вузов. М., «Высшая школа», 1972. 496 с. с ил.
7. Чеботарев В.В. Расчеты основных технологических процессов при сборе и подготовке скважинной продукции: Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ. 1995. – 144 с.
8. «Прикладная гидродинамика газожидкостных смесей. М. Всероссий-ский научно-исследовательский природных газов и газовых технологий. Ива-новский государственный эргетический университет. 1998г. 400с. Авт.: Г.Э. Одишария, А.А. Точигин.
9. Гриценко А.И., Клапчук О.В., Харченко Ю.А. «Гидродинамика га-зожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах». М.: «Недра», 1994. – 238с.: ил.
10. «Движение газожидкостных смесей в трубах. М., «Недра», 1978, 270с. Авт.: В.А. Мамаев, Г.Э. Одишария, О.В. Клапчук и др.
11. Бекиров Т.М., Шаталов А.Т. «Сбор и подготовка к транспорту при-родных газов». – М.: «Недра», 1986. – 261с.
12. Мильштейн Л.М., Бойко С.И., Запорожец Е.П. «Нефтегазопромысло-вая сепарационная техника: Справочное пособие/ Под ред. Л.М. Мильштейна. – М. «Недра», 1992. – 236 с.: ил.
13. Маслов В.М. Концепции анализа и совершенствования техники и тех-нологии промысловых подготовки и транспорта газа. Ташкент: «Фан», 1997.
14. «Сбор, транспорт и хранение природных углеводородных газов. Учебное пособие. М. «Недра», 1978, 405 с. Авт.: А.И. Гужов, В.Г. Титов, В.Ф. Медведев, В.А. Васильев.