УДК 622.276.52

О НЕРАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ В ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

ABOUT THE UNEVEN DISTRIBUTION OF THE GAS-LIQUID SYSTEM IN THE GAS DISTRIBUTION MANIFOLD

Алекперов Юсиф Зульфигар оглы
кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
alakbarovsanz@mail.ru

Мамедова Гюльбахар Гюльмамед кызы
кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский Государственный
Университет нефти и промышленности
gulbahar.mammadova@mail.ru

Аннотация. Обследованием установок подготовки газа на некоторых газоконденсатных месторождениях установлено, что в результате неравномерности распределения жидкой фазы из газораспределительного коллектора по технологическим линиям резко нарушается стабильность работы технологических линий, ухудшается работа теплообменных, сепарационных аппаратов, снижается эффект Джоуля-Томпсона, качество газа. Поэтому для обеспечения стабильных режимов работы УНТС систем сбора и подготовки газа, необходимо создание технических решений по ликвидации неравномерного распределения жидкости по технологическим линиям УНТС. Изучив газогидродинамическую ситуацию потока двухфазной смеси на поворотных участках газопроводов, установлено, что при движении двухфазного потока на колена, где давление больше, а скорость низкая, превращаются в отстойное («мертвое») пространство и здесь происходит скопление жидкой фазы, отделенной из газового потока. Основываясь на вышеизложенной газогидродинамической ситуации, нами разработано техническое решение по сепарации газа в газосборнораспределительных коллекторах систем сбора и подготовки газа. Разработанная конструкция газосборнораспределительного коллектора обеспечивает ликвидацию неравномерного распределения жидкости по технологическим линиям УНТС.

Ключевые слова: газ, конденсат, скважина, коллектор, газораспределение, лучевая, кольцевая, газодинамика, сепаратор, теплообменник, двухфазный поток, трубопровод.

Alekbarov Yusif Zulfugar
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
alakbarovsanz@mail.ru

Mamedova Gulbahar Gulmammad
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
gulbahar.mammadova@mail.ru

Annotation. An examination of gas treatment installations at some gas condensate fields has established that as a result of the uneven distribution of the liquid phase from the gas distribution reservoir along the technological lines, the stability of the operation of the technological lines is sharply disrupted, the operation of heat exchangers and separation devices is deteriorated, the Joule-Thompson effect and gas quality are reduced. Therefore, in order to ensure stable operating modes of CNT gas collection and treatment systems, it is necessary to create technical solutions to eliminate the uneven distribution of liquid along the CNT process lines. Having studied the gas-hydrodynamic situation of the flow of a two-phase mixture at the turning sections of gas pipelines, it was found that when the two-phase flow moves to the elbows, where the pressure is higher and the speed is low, they turn into a settling («dead») space and an accumulation of the liquid phase separated from the gas flow occurs here. Based on the above gas-hydrodynamic situation, we have developed a technical solution for gas separation in gas collection and distribution manifolds of gas collection and treatment systems. The developed design of the gas collection and distribution manifold ensures the elimination of uneven distribution of liquid along the technological lines of the CTS.

Keywords: gas, condensate, well, reservoir, gas distribution, radial, ring, gas dynamics, separator, heat exchanger, two-phase flow, pipeline.

На газоконденсатных местрождениях для обвязки отдельных скважин или групповых установок используют различные схемы газосборных коллектров (лучевую, кольцевую и смешанную).

На средних и мелких газовых месторождениях с вытянутой формой залежи обычно применяют лучевую линейную схему. При аварии на таком газопроводе большая часть скважин отключается на время ликвидации аварии, что является недостатком данной схемы.

Кольцевую систему применяют на крупных месторождениях с круговой залежью или на газопромыслах, подающих газ потребителям. Кольцевая система дороже лучевой, но сравнитеьно

надежнее, так как при аварии на любом участке схемы эта часть отключается на время ликвидации аварии, а газ подается по кольцу большинством работающих скважин.

Указанные схемы имеют ряд существенных недостатков – это применение большого количества аппаратов и оборудования, рассредоточенных по всему промыслу; нерациональное использование установленных мощностей; осложнения в системе водотеплоснабжения и распределения реагентов; большая вероятность загрязнения окружающей среды и т.д.

При групповой схеме сбора продукций скважин на одну установку предварительной подготовки газа (УППГ) приходится от 6 до 12 и более скважин. Продукция скважин поступает на газораспределительный коллектор перед головными сооружениями (ГС), где производится окончательная подготовка газа.

Совершенствование групповых схем сбора и подготовки газа с позиций внедрения отраслевых нормативных документов требует комплексного подхода к изучению состояния движения газожидкостного потока от скважин до магистральных газопроводов с целью выявления наиболее слабых узлов, которые отрицательно влияют на стабильность работы установок в целом [1, 2]. Рассмотрим работу газораспределительного коллектора, установленного перед ГС.

На устье скважин газожидкостный поток подвергается дросселированию. При этом за счет снижения температуры происходит дополнительная конденсация паров воды и тяжелых углеводородов. Затем двухфазные потоки по промысловым шлейфам поступают в газораспределительный коллектор перед установкой подготовки газа и распределяются по технологическим линиям. Далее газ из нескольких УППГ поступает в газораспределительный коллектор перед ГС и распределяется по технологическим линиям установок низкотемпературной сепарации (УНТС). На стабильность работы технологических линий УНТС большое влияние оказывает наличие перед УНТС газораспределительного коллектора.

Следует отметить, что газораспределительный коллектор позволяет равномерно распределить только газовую фазу, в то время как жидкая фаза не поддается равномерному распределению по технологическим линиям. Степень равномерности распределения жидкой фазы по технологическим линиям зависит, в основном, от конструкции коллектора, его ориентации и расположения входных и выходных линий. Кроме того, на неравномерность распределения жидкости большое влияние оказывают всевозможные остановки и пуск скважин, что приводит к изменению скорости движения и соотношения фаз в потоке.

Смешение газожидкостных потоков со всех УППГ в газораспределительном коллекторе перед ГС приводит к выравниванию давления и температуры газа [3].

По классической схеме подготовки газа, после газораспределительного коллектора газ, поступая в технологические линии, подается в рекуперативный теплообменник первой ступени. Обследованием установок подготовки газа на некоторых газоконденсатных месторождениях установлено, что при равных условиях работы теплообменников температура газа при выходе из теплобменных аппаратов в отдельных технологических линиях имеет разную величину, что очевидно, объясняется разным содержанием жидкости в потоке, которая неравномерно распределяется по технологическим линиям и в различной степени влияет на работу теплообменников. Попадание жидкости в теплообменник приводит к резкому ухудшению процесса теплообмена.

Исследование сепараторов первой ступени, в которые газ поступает после теплообменников, показали, что при равных объемах сепарируемого газа имеет место различный капельный унос жидкости из сепараторов.

Работа теплообменников и сепараторов второй ступени УНТС аналогична работе аппаратов первой ступени и также находится в прямой зависимости от содержания жидкости в потоке.

Содержание жидкости увеличивает температуру недорекуперации холода в теплообменниках УНТС. Увеличние недорекуперации холода только на 1,5 °С приводит к необходимости дополнительности затраты пластовой энергии порядка 0,5 Мпа. Осложняется процесс нормирования впрыска ингибитора гидратообразования и регенерации его. Наличие жидкости в газовом потоке отрицательно влияет на процесс дросселирования газа и приводит к снижению эффекта Джоуля-Томпсона.

Таким образом, в результате неравномерности распределения жидкой фазы и газораспределительного коллектора по технологическим линиям резко нарушается стабильность работы технологических линий, ухудшается работа теплообменных, сепарационных аппаратов, снижается эффект Джоуля-Томпсона и количество газа [4, 5].

Поэтому, для обеспечения стабильных режимов работы УНТС систем сбора и подготовки газа, необходимо создание технических решений по ликвидации неравномерного распределения жидкости по технологическим линиям УНТС.

Известно, что при движении газожидкостного потока в криволинейных участках газопровода возникают специфические газодинамические явления, позволяющие рассматривать эти места как узлы, где возможно осуществить сепарацию газа. Газодинамические исследования закрученных потоков [8–10] показывают, что при движении газа на поворотах давление на внешней (вогнутой) и внутренней (выпуклой) стенках трубы оказывается разным и различно меняется в направлении движения. Так как ядро потока в повороте под действием центробежных сил оттесняется к внешней стен-

ке изгиба, то давление на вогнутой стороне (Рвог) внутренней поверхности трубы возрастает по сравнению с давлением входящего потока на изгиб (Рвх), т.е. $P_{вог} > P_{вх}$, а на выпуклой стороне изгиба – наоборот, уменьшается, т.е. $P_{вог} < P_{вх}$. В связи с этим в направлении течения создаются также различия в скорости по поперечному сечению искривленного участка газопровода (рис. 1, 2, 3). За поворотом газодинамическая картина меняется в обратном порядке, т.е. здесь давление на вогнутой стенке снижается, а на выпуклой – возрастает. На определенном расстоянии за поворотом давление выравнивается и эпюра потока скоростей имеет первоначальный вид как до поворота потока. Таким образом, в сечениях криволинейной трубы устанавливается неравномерное распределение скоростей и давлений, здесь возникает поперечный градиент давлений [6, 7].

Разности давлений в конечном итоге создают в оси плоскости движение низжних слоев потока от внешней стенки к внутренней, а на его поверхности по ширине движение происходит прямо в противоположную сторону от внутренней стенки к внешней. В результате в криволинейном участке трубы образуется вторичное вихревое движение, которое налагается на основной поток и имеет симметрично-винтовой характер. Линии тока вторичного течения являются замкнутыми в поперечном сечении трубы.

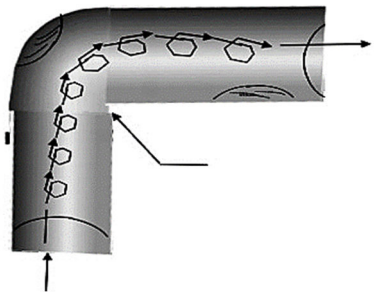

Рисунок 1 – Схема движения потока на повороте трубопровода

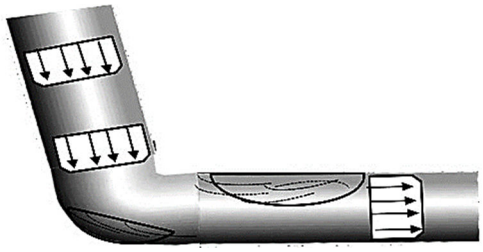

Рисунок 2 – Измерение эпюр скоростей на повороте трубы

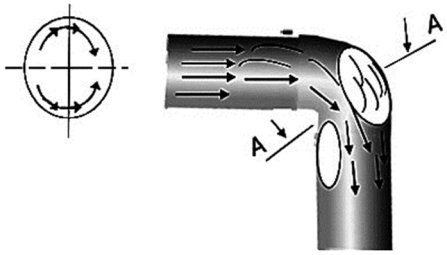

Рисунок 3 – Циркуляция потока на повороте трубопровода

Таким образом, кинетическая энергия начального прямолинейного движения потока в изгибе переходит в кинетическую энергию осевой циркуляции. В результате этого поток на повороте трубопровода совершает вращательное движение вокруг своей продольной оси. Из механики твердого тела и газогидродинамики известны несколько видов вращения тел с различными агрегатными состояниями. Известны статическое, динамическое и комбинированное вращения. Динамическое, или потенциальное вращение присуще жидкостям и газам, имеет определенное к движению газожидкостного потока при поворотах газопровода. При таком вращении, в отличие от статистического вращения, угловая скорость (ω) есть величина переменная ($\omega \neq const$). Это показывает, что при динамическом вращении окружная скорость с увеличением радиуса кривизны убывает по параболическому закону. Таким образом, при таком вращении поток движется по концентрическим окружностям, которое смещается относительно друг друга [9].

При движении двухфазного потока на участке колена, где давление больше, а скорость низкая (внутренняя часть вогнутой стороны, а также внутренняя зона выпуклой части за поворотом потока)

превращаются в отстойные («мертвые») пространства и здесь происходит скопление жидкой фазы, отделенной из газового потока. За поворотом трубы поток не может заполнить все сечение трубы и отходит от внутренней ее стенки, что называется явлением «отжима» потока, в этом случае пространство «отжима» может заполняться жидкостью, находящейся в движении циркуляции, подсасываемой потоком за его поворотом [10].

Основываясь на вышеизложенной газогидродинамической ситуации потока двухфазной смеси на поворотных участках газопроводов нами разработано техническое решение по сепарации газа в газосборно-распределительных коллекторах систем сбора и подготовки газа.

Изучив движение газожидкостных потоков в трубопроводах различных конфигураций в целом пришли к следующим основным выводам, которые были учтены при разработке конструкции газораспределительного коллектора, обеспечивающего процесс сепарации газа в трубопроводах.

1. Если в многофазном потоке твердые частицы могут сохранять свою форму, то газовая и жидкостная фаза при движении деформируется и поверхности раздела этих текущих фаз являются переменными в пространстве и времени в зависимости от многих параметров движения (Fr, β, μ, Re).

2. Доминирующими параметрами при перестройке различных структурных форм течения являются в основном число Фруда (Fr), объединяющее скорость газожидкостного потока с диаметром трубопровода и коэффициент расходного газосодержания (β), представляющий собой соотношение расхода газа и газожидкостной смеси.

3. Раздельно-расслоенную структуру, имеющую четкую и устойчивую границу раздела между газом и жидкостью, можно считать «сепарационным режимом» самого трубопровода. «Сепарационного режима» в трубопроводах можно достигнуть при значениях $Fr \leq 10$ и $\beta \geq 0{,}95$.

На основании вышесказанного разработана конструкция газосборно-распределительного коллектора, обеспечивающего ликвидации неравномерного распределения жидкости по технологическим линиям УНТС (рис. 4).

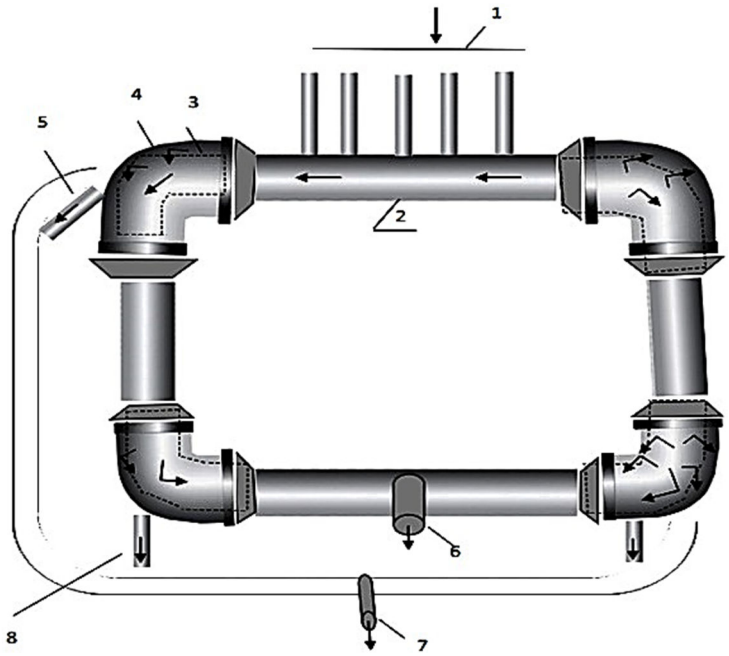

Рисунок 4 – Коллектор для сбора и сепарации газа:
1 – скважинные шлейфы, 2 – корпус, 3 – колени с щелями, 4 – кожухи колен,
5 – патрубки для выноса жидкой фазы, 6 – выход сепарационного газа, 7 – выход жидкой фазы

Принцип работы этого коллектора основан на выделении и скоплении жидкой фазы за счет инерционных сил при движении закрученного газового потока через колени (повороты) трубопровода. Коллектор выполнен в форме прямоугольника, стороны которого соединены прямоугольными коленями, имеющими в стенках косые щели для выноса жидкой фазы в их кожухи. В этом коллекторе жидкая фаза улавливается двухступенчато. В первых коленях коллектора по ходу движения потока газа увеличивается пленочная жидкость, а затем, во вторых коленях улавливается скоагулированная жидкость из крупной и мелкодисперсной части жидкой фазы.

Выводы

1. В многофазовом потоке газовая и жидкостная фаза при движении деформируется и поверхности раздела этих текущих фаз являются переменными в пространстве и во времени в зависимости от многих параметров движения (Fr, β, μ, Re).

2. Доминирующими параметрами при перестройке различных структурных форм течения являются в основном число Фруда (Fr), объединяющее скорость газожидкостного потока с диаметром трубопровода и коэффициент расходного газосодержания (β), представляющий собой соотношение расхода газа и газожидкостной смеси.

3. Раздельно расслоенную структуру, имеющую четкую и устойчивую границу раздела между газом и жидкостью, можно считать «сепарационным режимом» самого трубопровода. «Сепарационного режима» в трубопроводах можно достигнуть при значениях $Fr \leq 10$ и $\beta \leq 0.95$. На основании вышесказанного разработана конструкция газосборнораспределительного коллектора, обеспечивающего ликвидации неравномерного распределения жидкости по технологическим линиям УНТС.

Список литературы:

1. Разработка газоконденсатных месторождений / А.Х. Мирзаджанзаде [и др.]. – М. : Недра, 1967. – С. 355–356.
2. Требин Ф.А. Добыча природного газа / Ф.А. Требин, Ю.Ф. Макогон, К.С. Басниев. – М. : «Недра», 1976. – С. 215–219.
3. Гидродинамические аспекты остановки газовых скважин при наличии жидкой водной фазы в условиях крайнего севера / Ф.Л. Саяхов, Р.Г. Шагиев [и др.] // Нефть и газ. – 1989. – С. 93
4. Аметов И.М. Работа газовой скважины при наличии жидкости на забое / И.М. Аметов, В.Ю. Бахишев // Нефть и газ. – 1987. – С. 39–42.
5. Гусейнов Ф.А. Технологии для рационального использования возможностей потенциальной добычи скважин / Ф.А. Гусейнов, А.М. Азизов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 77–80.
6. Салаватов Т.Ш. Газодинамическая стационарная задача о сферически-радиальной фильтрации газа в неоднородной круговой залежи / Т.Ш. Салаватов, Г.Г. Мамедова // Нефтепромысловое дело «ОАО ВНИИОЭНГ». – 2021. – № 7(631). – С. 22–25.
7. Алекперов Ю.З. О влиянии гидродинамических факторов в системе «сепаратор-коллектор» в процессе подготовки газа / Ю.З. Алекперов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2010. – № 7.
8. Мамедова Г.Г. Способы ликвидации столба жидкостей, накопившихся на забое газоконденсатных скважин / Г.Г. Мамедова // Оборудование и технология для нефтегазового комплекса. ВНИИОЭНГ. – 2017. – № 2. – С. 48–50.
9. Алекперов Ю.З. Графический способ определения растворимости компонентов в системе природный газ-углеводородный конденсат-пластовая вода в условиях промысловой обработки газа» / Ю.З. Алекперов // Нефтепромысловое дело. – М., 2010. – № 8.
10. Alakbarov Y.Z. Some Features of Natural Qaz Preparation for Transport in Ekstrime / Y.Z. Alakbarov, R.Z. Khalidov, F.B. Ismailova // Journal of Complementaru Medicine Reserch. – 2020. – Vol. 11. – № 2.

List of references:

1. Development of gas condensate fields / A.Kh. Mirzajanzade [et al.]. – M. : «Nedra», 1967. – P. 355–356.
2. Trebin F.A., Makogon Yu.F., Basniev K.S. Natural gas production. – M. : «Nedra», 1976. – P. 215–219.
3. Hydrodynamic aspects of shutting down gas wells in the presence of a liquid aqueous phase in the conditions of the Far North / F.L. Sayakhov, R.G. Shagiev [et al.]. // Oil and Gas. – 1989. – P. 93.
4. Ametov I.M. Operation of a gas well in the presence of liquid at the bottom / I.M. Ametov, V.Yu. Bakhishev // Oil and Gas. – 1987. – P. 39–42.
5. Guseinov F.A., Azizov A.M. Technologies for the rational use of potential well production opportunities / F.A. Guseinov, A.M. Azizov // Azerbaijan Oil Industry. – 2007. – № 4. – P. 77–80.
6. Salavatov T.Sh. Gas-dynamic stationary problem of spherical-radial filtration of gas in a heterogeneous circular reservoir / T.Sh. Salavatov, G.G. Mamedova // Oilfield business «JSC VNIIOENG». – 2021. – № 7(631). – P. 22–25.
7. Alekperov Yu.Z. On the influence of hydrodynamic factors in the «separator-collector» system during gas preparation / Yu.Z. Alekperov // Azerbaijan Oil Industry. – 2010. – № 7.
8. Mamedova G.G. Methods of eliminating a column of liquids accumulated at the bottom of gas condensate wells / G.G. Mamedova // Equipment and technology for the oil and gas complex. VNIIOENG. – 2017. – № 2. – P. 48–50.
9. Alekperov Yu.Z. A graphical method for determining the solubility of components in the natural gas-hydrocarbon condensate-formation water system under field gas processing conditions / Yu.Z. Alekperov // Oilfield Business. – M., 2010. – № 8.
10. Alakbarov Y.Z. Some Features of Natural Qaz Preparation for Transport in Ekstrime / Y.Z. Alakbarov, R.Z. Khalidov, F.B. Ismailova // Journal of Complementaru Medicine Research. – 2020. – Vol 11. – № 2.