

Влияние эффекта «гидростатического растяжения» в жидкости на качество промысловой очистки газа

В.В. Ефимов (Новый Уренгой, Россия)
v.v.efimov-NU@yandex.ru

инженер по эксплуатации оборудования газовых объектов ООО «Газпром добыча Ямбург»

Д.В. Халиулин (Уфа, Россия)
d_khaliulin@mail.ru

аспирант Уфимского Государственного Нефтяного Технического Университета, оператор по добыче нефти и газа ООО «Газпром добыча Ямбург»

Анализ влияния возникающих в определенных условиях в присутствующей в добываемой продукции капельной жидкости эффекта «гидростатического растяжения» и явления кавитация на эффективность промысловой подготовки газа, и в первую очередь воздействия этих явлений на процесс очистки газожидкостной смеси от капельной жидкости.

Материалы и методы
Метод наблюдения, прогнозирования и обобщения.

Ключевые слова
добыча и транспорт газа, гидрат, подготовка природного газа

Influence of «hydrostatic stretching» of liquids on the quality of commercial gas purification

Authors
Vladimir V. Efimov (Novii Urengoi, Russia)

exploitation engineer of gas objects equipment «Gazprom добыча Yamburg LLC»

Damir V. Khaliulin (Ufa, Russia)

post-graduate student of Ufa State Petroleum Technological University, oil and gas production operator «Gazprom добыча Yamburg LLC»

Разработка месторождений природного газа в условиях водонапорного режима характеризуется интенсивным повышением в продукции скважин концентрации капельной влаги. К основным причинам такого повышения, безусловно, можно отнести поступление в эксплуатационные скважины высокоминерализованной пластовой жидкости вследствие внедрения в продуктивную залежь подошвенной и законтурной воды, и постоянно растущий объем конденсирующейся в результате снижения температуры газожидкостной смеси насыщающей газ влаги. Существенное влияние на снижение температуры в процессе добычи через скважины пластовой продукции и ее транспортировки от устья скважин до установок комплексной подготовки газа (УКПГ) оказывают как теплообмен с имеющими более низкую температуру вышележащими пластами и многолетнемерзлыми породами (для северных месторождений) при движении потока от забоя до устья в колоннах насосно-компрессорных труб скважин и окружающей средой — в промысловых газопроводах, так и снижение пластового давления до входного давления УКПГ за счет эффекта Джоуля-Томсона. Необходимо отметить, что повышение объема конденсационной воды в продукции скважин обусловлено непрерывно растущим влагосодержанием газа вследствие снижения по мере истощения продуктивной залежи пластового давления. В настоящей статье проведен анализ влияния возникающих в определенных условиях в присутствующей в добываемой продукции капельной жидкости эффекта «гидростатического растяжения» и явления кавитация на эффективность промысловой подготовки газа, и в первую очередь воздействия этих явлений на процесс очистки газожидкостной смеси от капельной жидкости. В ходе проведения промысловых исследований были определены источники негативного воздействия на процесс сепарации газожидкостной смеси и разработаны технические решения, которые позволяют, по мнению авторов, «преодолеть» это негативное воздействие.

Предметом исследования является капельная жидкость (вода, спирты, водно-спиртовые растворы, растворы солей), представляющая собой трудносжимаемую сплошную среду без пустот и промежутков и состоящая из отдельных находящихся на весьма малом расстоянии друг от друга молекул и обладающая способностью сколь угодно значительно изменять свою форму под действием даже весьма малых сил. Вследствие текучести, характеризуемой подвижностью молекул, жидкость не воспринимает сосредоточенные силы, поэтому в ней действуют только распределенные силы, как по объему, так и по поверхности. К объемным силам можно отнести силы, пропорциональные массе (силы тяжести или инерции), подчиняющиеся второму закону Ньютона. К поверхностным же силам относятся силы воздействия на жидкость через поверхности соседних объемов жидкости или тел, вызывая в жидкости возникновение нормальных напряжений сжатия, называемых в технике гидродинамическим или гидростатическим «положительным» давлением.

В середине девятнадцатого века ученым Ю. Донни было впервые экспериментально обнаружено, что жидкость помимо сжатого может находиться еще в одном метастабильном состоянии — в состоянии так называемого «гидростатического растяжения», или «отрицательного давления». Используемая в опытах Ю. Донни установка для получения отрицательного давления в жидкости, приведенная в [1], включает в себя U-образную трубку, длинное плечо которой запаяно в верхней части (в точке «В» — на рисунке 1), а короткое — соединяется с вакуумным насосом (в точке «А»). До начала эксперимента трубка полностью заполняется обычной жидкостью при наклонении длинного плеча в горизонтальное положение. После возвращения трубки в вертикальное положение жидкость удерживается в длинном плече трубки, над свободной поверхностью «А», под действием атмосферного давления. Плавное снижение абсолютного давления в точке «А» вакуумным насосом до значения, близкого к нулю, сопровождается

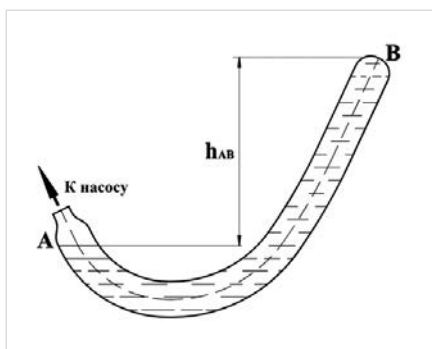


Рис. 1 — Схема установки для получения отрицательного давления в жидкости

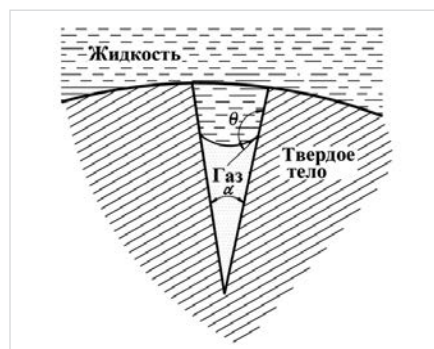


Рис. 2 — Модель «стабилизированного ядра кавитации» по Гарвею

снижением уровня жидкости в длинном плече трубки до выравнивания по высоте со свободной поверхностью «А». Если же до начала опыта жидкость и стенки трубки подвергнуть «очистке» с очень высокой степенью, удалив микроскопические частицы газа и твердой примеси, то даже при достижении вакуума над свободной поверхностью (в точке «В»), уровень жидкости в длинном плече трубки не изменится, а давление в жидкости становится «отрицательным». Таким образом, Ю. Донни было экспериментально доказано существование в жидкости отрицательного давления, причем значение отрицательного давления в точке «В» в опыте определяется высотой столба жидкости h_{AB} .

Проявление интереса к экспериментальному открытию Ю. Донни существования в жидкостях явления «отрицательного давления» не случайно, так как возникающий в определенных условиях в жидкости эффект гидростатического растяжения тесно связан с другим явлением, возникающим в жидкостях — явлением кавитации.

Кавитацией (cavity в переводе с английского «полость») называется процесс образования и исчезновения в капельных жидкостях газовых пузырьков вследствие местного изменения давления. Если по каким-либо причинам в потоке жидкости (газожидкостном потоке с низким газовым фактором) происходит снижение давления ниже некоторого критического значения, обычно давления насыщенных паров жидкости, то в потоке образуются свободные газовые пузырьки — так называемые «каверны» [2], которые, образовавшись в областях низкого давления, могут дрейфовать вместе с потоком. Существует целый ряд факторов, способствующих местному понижению давления, и самым распространенным из них является изменение геометрии течения потока в трубопроводе вследствие сужения или искривления трубопровода. Кроме этого, условия для начала кавитации могут возникать в сдвиговых течениях, например, на поверхности раздела потоков двух жидкостей, движущихся с разной скоростью, в турбулентных пограничных слоях с «завихренностью» большой интенсивности, вызывающей снижение давления в центре вихря ниже критического значения и др.

Началу процесса кавитации всегда предшествуют местные разрывы сплошности жидкости под воздействием растягивающих напряжений, причем разрыв, как правило, наступает в местах спонтанно образуемых пустот. Согласно экспериментальным данным, полученным Гарвеем [2] и

другими исследователями явления кавитации, прочность жидкости на растяжение во многом зависит от содержания в ней свободных пузырьков неконденсируемого газа и твердых гидрофобных частиц. Обычные жидкости всегда содержат в своем составе большое количество микроскопических твердых частиц примеси, которые сами по себе могут представлять собой «ядра кавитации», и повышение их количества в единичном объеме способствует снижению прочности жидкости на растяжение. Заметному снижению «прочностных» характеристик жидкости на растяжение способствует также повышение концентрации в единичном объеме свободного газа. Однако замечено, что при воздействии на жидкость (в частности на воду) высоким давлением со стороны газа прочность жидкости на растяжение многократно возрастает, и связано это с эффектом «растворения» свободного неконденсирующегося газа в жидкости под воздействием статического давления. Одна из гипотез механизма такого «растворения» опирается на наиболее стройную модель автодсорбции воды [3], выдвинутую Полингом для структуры воды. Согласно этой модели контактирование поверхностного слоя воды с неконденсирующимся газом в определенных термобарических условиях сопровождается поглощением части молекул воды из пограничного слоя нижележащими слоями объемной воды, причем сорбции подвержены молекулы, имеющие наиболее слабые водородные связи с другими молекулами в пограничном слое воды. Процесс сорбции сопровождается «замещением» сорбируемых молекул «встраиваемыми» в решетку воды молекул неконденсирующегося газа. С понижением температуры или повышением давления контактирующего с водой неконденсирующегося газа интенсивность процесса сорбции молекул пограничного слоя воды повышается, способствуя все большему «встраиванию» молекул газа в структуру воды. Необходимо отметить, что процесс «встраивания» молекул газа в структуру воды протекает более интенсивно в присутствии растворенных в воде неполярных спиртов, в частности метанола.

Теперь рассмотрим условия «присутствия» в жидкости свободного газа, что является ключевым моментом проводимого исследования. И так, Гарвеем и другими учеными было экспериментально установлено [2], что присутствующий в газожидкостном потоке неконденсирующийся газ обладает свойством втягиваться в мелкие трещины на поверхностях присутствующих в жидкости микроскопических гидрофобных частиц и ограничивающих жидкость стенках. При этом образующиеся в поверхностных трещинах «ядра кавитации» могут находиться в устойчивом равновесии.

В приведенной на рисунке 2 модели «стабилизированного ядра кавитации» [2] представлено находящееся в потоке газожидкостной смеси гидрофобное твердое тело, имеющее на своей поверхности трещину с углом раскрытия α . В трещину из газожидкостного потока втянуто небольшое количество свободного газа. При выполнении для угла смачивания следующего условия $\theta > (\pi/2 + \alpha/2)$, поверхность раздела между жидкостью и газом имеет отрицательную

Abstract

The analysis of the so-called "hydraulic stretching" of a liquid, occurring in certain conditions in a drip liquid present the extracted gas as well as the research of the influence of cavitation on the efficiency of field gas preparation. The greatest attention is paid to the influence of the mentioned above processes on separation of a gas and liquid mixture from drip liquids

Materials and methods

Observation, forecasting, generalization.

Results

Appearance of such "interconnected" phenomena as "hydrostatic stretching" and cavitation in liquids adversely influences the process of field gas preparation, causing the damage of the technological equipment due to cavitation erosion, some technological problems a certain decrease of the pumps' head occurring at pumping gas saturated liquids and removal of liquids from gas-liquids separators.

Conclusions

Considering the intensity of the "stretching effect" in liquids and the cavitation intensity values we consider it necessary not to use transitional flow vessels with an open top part as the so-called self-flow units for the in-let tank of a separator, which will minimize the amount of the liquid removed with the gas separated from the gas and liquid mixture. For the same purpose the flow pipes of the separator should be equipped with special valves.

Keywords

gas production and transportation, hydrate, natural gas preparation

References

1. Miradzhanzade A.Kh., Kuznetsov A.L., Basniyev K.S., Aliyev Z.S. "The principals of gas extraction", M., "Nedra", 2003-880p.p., il.
2. A. Evas, A. Raff, S. Viderkhorn, W. Edler, J. Branton, M. Rotchester, K. Piers, K. Mertch, B. Wise, D. Sammers "Erosion" (A translated variant) M., "Mir", 1982, 464 p.p., il.
3. Istomin V.A., Yakushev V.S. "Gas Hydrates in Natural Conditions", M., "Nedra", 1992, 235p.p., il.
4. "Applied hydrodynamics of gas and liquid mixtures", Russian Research Institute of Gas and Gas technologies, The University of Energy in Ivanovo, 1998, 400p.p. Authors: G.E. Odisharia, A. A. Tochigin



Рис. 3 — Кавитационная эрозия исполнительного органа клапана-регулятора

5. "Movement of gas and liquid mixtures in pipelines", M., "Nedra", 1978, 270 p. Authors: V.A. Mamayev, G.E. Odisharia, O.V. Klapchuk
6. "New equipment of gas purification before its' being fed to a boosting compressor station at the Yamsoveysk gas field", A.A. Pigarev, V.A. Tolstov, M.V. Nemtsov, V.A. Sokolov (SJS Central Construction Bureau of Oil and Gas Equipment), Yu.A. Kudoyar (JSC "Gasprom"), M.A. Malyshkin ("Nadymgasprom LLC"), "Gas Production Industry", 2008, N1, p.p.78-81.
7. "Liquid Removal Gauge. Technical Passport GPR 420.0000PS" Approved by the head of "Central Construction Bureau of Oil and Gas Equipment" I.K. Glushko. 1986, 20 p.
8. "Improvement of the equipment with direct current supply elements" A.G. Zibert, I.M. Valiullin ("UK "RusGasEngineering LLC") "Gas Production Industry", 2008, N 9, p.p.72-74
9. "Prevention of gas hydrates appearance at the internal parts of in-let separators in the process of the preparation of the gas coming from the Senomansk gas field of Yamburg oil and gas condensate field" D. V. Khaliullin ("Gazprom dobycha Yamburg LLC") "Oil and Gas Exposition" N1 (12), February, 2012, p.p. 17-20
10. Ramazanova E E., Veliyev F.G. "Applied Thermodynamics of Oil and Gas Condensate Fields", M., "Nedra", 1986, p.p.223

кривизну со стороны газовой полости, а давление газа будет «контролироваться» силами поверхностного натяжения на поверхности раздела фаз. Равновесие, в котором находятся ядра кавитации в так называемых «газовых карманах», крайне неустойчиво и зависит от насыщения жидкости при данном давлении. С повышением «положительного» гидростатического давления степень насыщения жидкости снижается, «запуская» механизм диффундирования газа в жидкость (модель Полинга). Поверхность раздела фаз, увеличивая свою кривизну, продвигается внутрь трещины. Объем газа в «газовом кармане» при этом уменьшается. Процесс растворения газа в жидкости продолжается до наступления равновесия. И, наоборот, со снижением давления жидкость становится пересыщенной, и газовая полость начнет расширяться до наступления равновесия. При интенсивном снижении давления поверхность раздела между жидкостью и газом может достигнуть края трещины, вызвав образование кавитационной каверны.

Таким образом, согласно теории Гарвея, присутствие в потоке свободного неконденсирующегося газа, обладающего «способностью» втягиваться в поверхностные трещины «затопленных» жидкостью стенок трубопроводов и аппаратов, и дрейфующих в газожидкостном потоке или находящихся в псевдооживленном слое твердых гидрофобных частиц, способствует образованию и «консервации» в поверхностных трещинах («газовых карманах») так называемых «стабилизированных ядер кавитации».

Как известно, воздействию кавитации подвержены быстропотекающие гидродинамические процессы, происходящие в эжекторах, гидравлических турбинах, гидравлических насосах, регулирующих клапанах, трубопроводах и т.п. На рисунке 3 приведен пример кавитационной эрозии исполнительного органа клапана-регулятора.

Рассмотрим классический пример необходимости в применении «антикавитационных мер» в магистральных системах перекачки газонасыщенных жидкостей, таких как нестабильный конденсат [4]. Наиболее уязвимым звеном системы транспортировки насыщенного большим количеством газа нестабильного конденсата являются насосные станции, поэтому главным требованием стабильного функционирования транспортной системы является бескавитационная работа насосного оборудования. Началом кавитации считается момент перехода однофазной структуры подаваемого к насосному оборудованию потока под воздействием термобарических условий в эмульсионную структуру, с образованием в сплошном потоке жидкости мелкодисперсных пузырьков газа. С понижением давления во всасывающих линиях гидравлических насосов до величины, ниже давления насыщения перекачиваемой жидкости при ее рабочей температуре, происходит десорбция (по Полингу) «встроенных» в структуру жидкости молекул газа и образование газовых пузырьков. Повышение давления в процессе сжатия жидкости в насосе сопровождается «схлопыванием» пузырьков газа, уменьшением объема и образованием в рабочем пространстве насоса вакуума,

вызывая падение напора за насосным оборудованием и нарушение функционирования всей транспортной системы. Процесс заполнения освобождающихся полостей («пустот») жидкостью вызывает гидравлические удары и интенсивный износ элементов насоса. Поддержание во всасывающих коллекторах насосных агрегатах необходимого избыточного (над давлением насыщения конденсата) напора позволяет предотвращать «разгазирования» нестабильного конденсата.

Рассмотрим примеры проявления эффекта «гидростатического растяжения» и явления кавитации жидкости в процессах промышленной подготовки продукции скважин сеноманской залежи Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Особый интерес представляют вопросы воздействия метастабильного состояния жидкости на функционирование входных газожидкостных сепараторов системы промышленной очистки газожидкостной смеси.

Очистка добываемой через эксплуатационные скважины продукции от содержащихся в потоке капельной жидкости и твердых

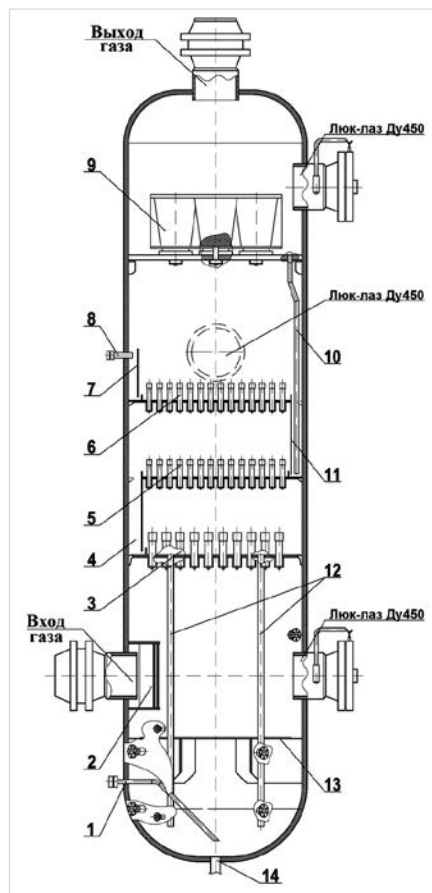


Рис. 4 — Схема внутренних устройств газожидкостного сепаратора, проект ГП 1181.04.01

- 1 — штуцер слива жидкости из кубовой части;
- 2 — отбойная пластина тангенциального входного устройства;
- 3 — тарелка прямоточных сепарационных элементов;
- 4, 11 — «переливные карманы»;
- 5, 6 — тарелка центробежных массообменных элементов;
- 7 — пластина;
- 8 — штуцер для подачи в аппарат жидкости для «промывки» газа от солей;
- 9 — тарелка сетчатых сепарационных элементов;
- 10, 12 — сливные трубы;
- 13 — защитный лист;
- 14 — штуцер дренажа

частицы примеси производится на внутренних устройствах газожидкостных сепараторов, в результате воздействия на сепарируемые частицы гравитационных, инерциальных и центробежных сил. На рисунке 4 представлена схема вертикального газожидкостного сепаратора с внутренними устройствами, проект «ЦКБН» ГП 1181.04.01. Конструкция и принцип работы сепаратора приведены в [6]. В качестве основного показателя эффективного функционирования промышленного сепарационного оборудования в ООО «Газпром добыча Ямбург» принят параметр относительного количества уносимой из сепараторов с подготовленным «сырым» газом капельной жидкости на единицу объема отсепарированного газа, что обусловлено неравномерным распределением между входными сепараторами жидкостной нагрузки при коллекторной схеме подвода к аппаратам газожидкостной смеси. Чем ниже значение концентрации капельной жидкости в единице объема отсепарированного газа, тем процесс промышленной очистки сепарируемой среды считается более эффективным.

Наиболее распространенным случаем проявления эффекта «гидростатического растяжения» жидкости, наблюдаемым авторами настоящей статьи в промысловых условиях Ямбургского месторождения, является кратковременный «скачкообразный» рост количества уносимой с отсепарированным газом из сепараторов капельной жидкости при «загрузке» газоперекачивающих агрегатов (ГПА) дожимной компрессорной станции (ДКС). Отметим, что выходной коллектор промышленной установки очистки газа, через который суммарный поток отсепарированного в работающих параллельно сепараторах «сырого» газа транспортируется на ДКС, сопряжен с входным коллектором ДКС, из которого газ направляется в компрессоры центробежных нагнетателей ГПА, для компримирования. Интенсивный унос капельной жидкости из сепараторов, причиной которого является именно процесс «загрузки» газоперекачивающих агрегатов ДКС, был впервые зарегистрирован при обследовании сепарационного оборудования объемным методом по «всплеску» количества уносимой с отсепарированным газом капельной жидкости в измерителе уноса жидкости типа ГПР 420.00.000, что вызвало к себе пристальное внимание.

При анализе явления уноса капельной жидкости из входных сепараторов, с учетом опыта отечественной и мировой академической науки в этой области, было обнаружено, что аналогичная ситуация с уносом жидкости из трубы была искусственно смоделирована при проведении экспериментальных исследований явления импульсного разряжения в жидкости и приведена в [1]. Экспериментальная установка представлена на рисунке 5. В ходе эксперимента через заполняющий стеклянную трубу (1) столб жидкости (3) пропускался газ в режиме барботирования через слой жидкости в виде пузырьков, чем достигалось определенное насыщение жидкости газом. Добившись определенного расхода газа через трубу (1) по расходомеру (5), чтобы высота столба жидкости существенно не изменялась, дроссельный клапан (2) закрывался, и в трубе «набиралось» гидростатическое давление. При достижении

давлением определенного значения, контролируемого по манометру (6), клапан (2) резко открывался, и часть жидкости в трубе устремлялась вверх (8 — рисунок 6). Замер высоты, на которую производился «прыжок» жидкости в трубе (1), производился по шкале (7). При этом структура поднимающегося в трубе потока представляла собой «пачки» жидкости и газа.

«Виновником» импульсного «прыжка» газожидкостных «пачек» в приведенном эксперименте было признано создающееся в момент открытия клапана (2) импульсное разряжение, причем высота, на которую поднималась газожидкостная масса, росла по мере сокращения интервала времени, за которое производилось открытие клапана (2).

Теперь рассмотрим более подробно процесс «загрузки» ГПА «в работу» по перекачке газа, условно разделив его на два этапа. Первый этап характеризуется увеличением степени сжатия в центробежном нагнетателе за счет одновременных действий с повышением оборотов ротора, сопровождающимся ростом мощности на валу компрессора от приводной газотурбинной установки, и снижением расхода перепускаемого через нагнетатель газа по линии рециркуляции при закрытии перепускного клапана. При достижении создаваемой в центробежном нагнетателе заданной степени сжатия давление на втором этапе становится выше давления в коллекторе нагнетания ДКС, приводя к практически мгновенному открытию обратного клапана в коллекторе нагнетания компрессора и сопровождаемая импульсным «броском» производительности ДКС. Во всасывающем коллекторе ДКС создается импульсное разряжение вследствие резкого снижения давления, передающееся по всей цепи, включающей входные газожидкостные сепараторы, промышленную газотранспортную сеть и находящиеся «в работе» эксплуатационные скважины в виде волны. Согласно экспериментальным данным, приведенным в [1], [10], распространение волны разряжения, особенно в газожидкостной смеси с малым газосодержанием, сопровождается возникновением значительных перепадов давления на ее фронте, порой многократно превосходящих по величине абсолютное гидростатическое давление, что способствует созданию кратковременного эффекта «отрицательного давления» в жидкости внутри сепараторов, газопроводов-шлейфов и насосно-компрессорных труб скважин.

Вызванное распространяющимися в промышленной трубопроводной сети волнами импульсного разряжения «отрицательное давление» сопровождается образованием в находящейся в сепараторах жидкости свободных газовых пузырьков, интенсивным «броском» газожидкостных «пачек» в сторону выходного патрубка (аналогично опыту на рисунке 5) и уносом жидкости:

- из «кубовой» части через две сливные трубы (12 — рисунок 4), вызывая значительное повышение начального содержания жидкостной фазы в подаваемой в центробежные массообменные элементы «промывочных» тарелок (5) и (6) сепарируемой среде. Повышение жидкостной нагрузки сопровождается уносом из массообменных элементов тонкодисперсной капельной жидкости

вследствие дробления капель жидкости за оболочкой их вытеснителей [8], на вход в сетчатые сепарационные элементы секции концевой очистки (9);

- из канала подачи в аппарат «промывочной» жидкости с отбойной пластиной (7) и с полотном «промывочных» тарелок через «переливные карманы», увеличивая и без того высокую нагрузку сетчатых сепарационных элементов секции концевой очистки (9) по жидкости;
- из слоя «гидравлического затвора» в «переливном кармане» (11) через сливную трубу (10) с беспрепятственным уносом жидкости из аппарата через выходной патрубок.

Следует отметить «кратковременность» возникающего в жидкости при загрузке ГПА эффекта «отрицательного давления» с восстановлением после наступления «стабилизации» режима, что выражается в снижении давления на входе УКПГ, т.е. во входных коллекторах сепараторов, и уменьшении производительности ДКС вследствие компенсации «потери» давления за счет избыточной мощности ГПА. Однако, создающиеся при этом условия для беспрепятственного «трафика» между секциями внутренних устройств капельной жидкости имеют негативные последствия для функционирования сепарационного оборудования.

Так, повышение жидкостной нагрузки на сетчатые элементы (для сепараторов проекта ГП 1181.04.01) с насадкой, выполненной методом намотки полос плоской рукавной вязаной сетки на цилиндрический проволочный каркас, и имеющих схему подачи потока изнутри наружу, сопровождается ростом перепада давления на секции концевой очистки (9) вследствие заполнения жидкостью межслойного пространства сетчатой насадки, что является причиной

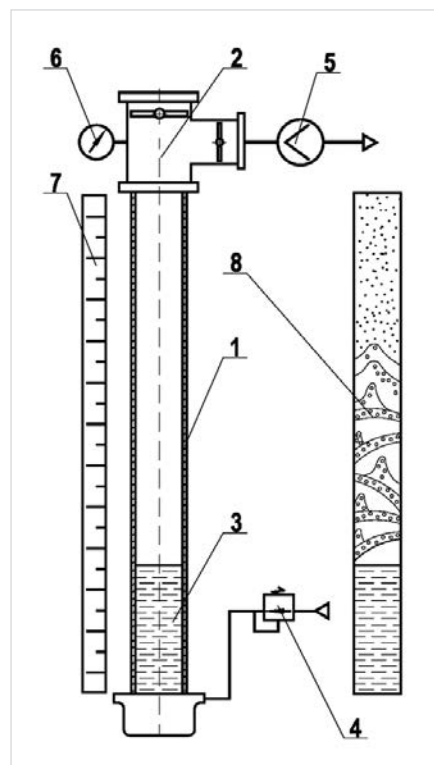


Рис. 5 — Схема экспериментальной установки для исследования импульсного разряжения

уменьшения площади сечения для движения газового потока, увеличения местных скоростей и уноса из сетчатых элементов с газовым потоком к выходному патрубку сепаратора диспергированной капельной жидкости. Результатом «транзита» через секции сепарационных элементов больших объемов неочищенной жидкости является накопление в межслойном пространстве сетчатых отбойников твердых отложений, достигая, порой, 80...90 процентов от общего объема насадки, что в конечном итоге приводит к значительному росту гидравлического сопротивления аппарата и снижению эффективности процесса промысловой очистки.

Вызванный «броском» газожидкостной «пачки» унос жидкости из слоя «гидравлического затвора» через сливную трубу (10) способствует образованию у среза оголившегося при этом башмака зоны пониженного давления при втекании в трубу (10) газа, что сопровождается подъемом жидкости по оси трубы вследствие понижения статического давления на поверхности жидкости в слое под трубой с последующим захватом жидкости газовым потоком и ее интенсивным эмульгированием при ускорении в зоне расширения газовой струи. Рост перепада давлений на тарелке (9), вызывая повышение расхода через сливную трубу (10) газожидкостной смеси, сопровождается увеличением количества уносимой из сепаратора капельной жидкости.

Другим примером негативного проявления эффекта «гидростатического растяжения» и явления кавитации жидкости

является интенсивный унос из сепаратора капельной жидкости при образовании на внутренних устройствах отложений газовых гидратов и льда.

В [9] приведено внедренное на Ямбургском месторождении техническое решение, являющееся практически единственным способом обеспечения эффективного процесса промысловой очистки переохлажденного потока добываемой газожидкостной смеси от капельной жидкости и твердой примеси с «промывкой» газа от солей в условиях гидрато- и льдообразования на внутренних устройствах входных сепараторов. Суть технического решения заключается в поддержании внутри сепараторов (1 — на рисунке 6) температуры на уровне, выше равновесной температуры гидратообразования, за счет ввода в подаваемый в сепараторы газожидкостный поток (в коллектор К) нагретого в процессе сжатия в компрессорах (6) ГПА горячего газа (поток VII), отбираемого из коллектора нагнетания (поток IV) промысловой ДКС, до установки охлаждения газа (5). В качестве жидкости для «промывки» газа от солей в сепараторы (1) подается водометанольный раствор с концентрацией, соответствующей создаваемым условиям температуры и давления в аппаратах. Главным условием эффективного функционирования системы «противогидратной» защиты является поддержание заданного расхода горячего газа, зависящего от перепада давлений на трубопроводе (поток VII) и рассчитываемого как разность перепадов давлений на трубных пучках параллельно работающих аппаратов

воздушного охлаждения газа (5) и внутренних устройствах параллельно работающих в линии высокого давления сепараторов (1).

При проведении опытно-промышленных испытаний сепаратора (1) в линии высокого давления с целью проверки эффективности очистки газожидкостной смеси в модернизированных внутренних устройствах, включающих в свой состав ряд насадок, в том числе «орошаемую» подаваемой в аппарат «промывочной» жидкостью сетчатую насадку, выполненную в виде скрученной в рулон рукавной вязаной сетки и перекрывающую все поперечное сечение аппарата, повышение производительности по газу производилось путем остановки параллельно работающих сепараторов (1). Слив жидкости с тарелки секции концевой очистки сепаратора производится в кубовую часть аппарата по сливной трубе, башмак которой погружен под уровень жидкости в кубе, создавая «гидравлический затвор». Значительное превышение нагрузки над расчетным значением производительности в определенный момент стало причиной резкого «всплеска» суммарного гидравлического сопротивления внутренних устройств работающих в линии высокого давления сепараторов (1), превысив суммарное гидравлическое сопротивление на трубных пучках аппаратов воздушного охлаждения газа (5). Прекращение подачи во входной коллектор (К) подогревающего газа от ДКС сопровождалось интенсивным развитием процесса «зародышеобразования» газовых гидратов в переохлажденной газожидкостной смеси вследствие резкого снижения температуры

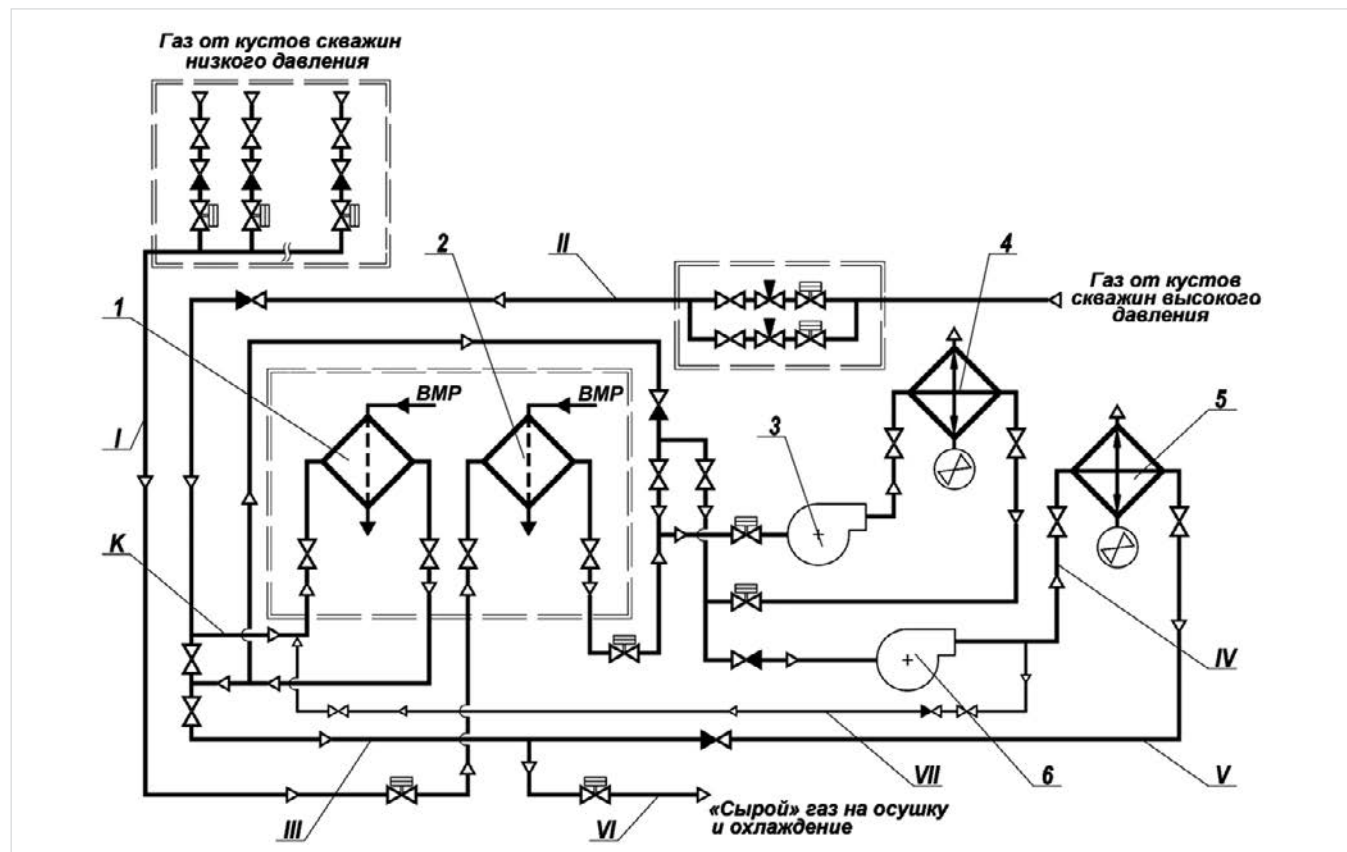


Рис. 6 — Схема промысловой очистки потоков газожидкостной смеси высокого и низкого давления и компримирования «сырого» газа: 1, 2 — входной газожидкостный сепаратор С-1; 3 — ГПА I-й ступени ДКС; 4 — АВО газа I-й ступени ДКС; 5 — АВО газа II-й ступени ДКС; 6 — ГПА II-й ступени ДКС; К — входной коллектор газожидкостных сепараторов (1); I...VII — потоки газа; BMP — поток жидкости для «промывки» газа от солей

в аппарате и недостаточной в сложившихся условиях концентрации в смеси ингибитора гидратообразования. Вызванное мгновенно возросшим гидравлическим сопротивлением при «закупоривании» газогидратной массой внутренних устройств и, прежде всего, сетчатой насадки импульсное разряжение и связанное с ним возникновение эффекта «отрицательного давления» в жидкости является причиной разгазирования жидкости с «выбросом» через сливную трубу в выходной патрубок газожидкостных «пачек» (аналогично процессу на рисунке 5). Как известно, основным условием для уноса жидкости из кубовой части к выходному патрубку сепаратора через сливную трубу высотой h является наличие перепада давлений ($\Delta p = \rho_{см} \cdot g \cdot h$), необходимого для преодоления веса столба газожидкостной смеси. С повышением на внутренних устройствах аппарата гидравлического сопротивления возрастает перепад давлений, вызывая в сливной трубе расход, что сопровождается местным снижением давления у «заполненного» жидкостью башмака сливной трубы, инициируя разгазирование пересыщенной жидкости. Выделение из жидкости газа способствует созданию выскодисперсной пузырьковой структуры, так как газ выделяется в виде мельчайших пузырьков, равномерно распределенных в объеме жидкости. Увеличение расходного газосодержания β в потоке приводит к снижению плотности газожидкостной смеси ($\Delta \rho_{см} = \rho_{ж} \cdot (1 - \beta) + \rho_{г} \cdot \beta$), создавая при определенном расходе условия для подъема жидкости.

Процесс гидратообразования на внутренних устройствах, сопровождающийся интенсивным уносом жидкости из кубовой части сепаратора регистрировался по показаниям штатных приборов в виде снижения температуры газа в аппарате, резкого «броска» перепада давлений на сепараторе с одновременным интенсивным снижением уровня жидкости в кубовой части по мерному стеклу и указателя уровня жидкости.

На рисунке 7 представлен один из вариантов запорного устройства, включающего в себя корпус (6), мембрану (5) со штоком, клапан (2) и снабженный фильтром (8) жиклер (7). Запорное устройство размещается в зоне (B) над полотном тарелки (4). В процессе очистки газожидкостной смеси давление во внутренней полости (A) корпуса (6) и в зоне

(B), сообщающихся между собой через жиклер (7), одинаковы, а клапан (2), закрепленный к штоку с мембраной (5), свободно подвешен над седлом (3), не препятствуя сливу отводимой из сепарационных элементов на полотно тарелки (4) жидкости по трубе (1) в сборник жидкости аппарата. Возникающее в аппарате импульсное разряжение, например, при загрузке ГПА ДКС, сопровождается резким снижением давления над полотном тарелки (4), т. е. в зоне (B). Используя эффект, когда давление в полости (A), соединенной с зоной (B) через жиклер (7), снижается с задержкой, продолжительность которой задается пропускной способностью жиклера, клапан (2) под действием перепада давлений на мембране (5) опускается вниз, «садая» на седло (3), и прикрывает сечение сливной трубы (1), что препятствует уносу жидкости из слоя «гидрозатвора» под воздействием эффекта «отрицательного давления». При «стабилизации» режима давления в полости «A» и в зоне «B» выравниваются, восстанавливая процесс слива жидкости с полотна тарелки (4) по трубе (1).

Итоги

Проявление таких «тесно связанных» между собой явлений в жидкостях, как «гидростатическое растяжение» и кавитация, оказывает негативное воздействие на процессы промышленной подготовки газа, вызывая как повреждение технологического оборудования вследствие кавитационной эрозии, так и технологические осложнения, проявляющиеся в снижении создаваемого насосами напора при перекачке газонасыщенных жидкостей, в уносах жидкости из газожидкостных сепараторов и др. Возникающий в присутствующей в сепараторах жидкости эффект «гидростатического растяжения», сопровождаемый явлением кавитации, проявляется в уносе жидкости из аппаратов через применяемые для отвода отсепарированной в сепарационных устройствах жидкости «переливные карманы», сливные трубы и коллекторы, слив через которые осуществляется самотеком под уровень жидкости, обеспечивая так называемый «гидравлический затвор» труб. Однако, как показывает практический опыт, создание «гидрозатвора» сливных «самотечных» устройств не является надежным средством для предотвращения уноса через них жидкости из аппарата,

так как возникающие в определенных условиях в жидкости вышеперечисленные явления, «инициируя» процесс эмульгирования жидкости вследствие интенсивного образования пузырьков свободного газа, способствуют «отсосу» жидкости «гидрозатвора» и «открывают» беспрепятственный путь для уноса жидкости из сепараторов.

Выводы

Учитывая интенсивность протекания возникающих в жидкости эффекта «гидростатического растяжения» и явления кавитации, для минимизации уноса с очищенным газом отводимой отсепарированной в сепарационных устройствах жидкости в кубовую часть сепараторов необходимо исключить применение в качестве сливных самотечных устройств «переливных карманов» с открытой верхней торцевой частью, а сливные трубы предлагается оснастить специальным запорным устройством. Суть идеи заключается в кратковременном, на период «действия» эффекта «отрицательного давления» в жидкости, прекращении «трафика» газожидкостной смеси через сливные трубы путем перекрытия их проходного сечения клапаном, что позволит предотвратить унос жидкости из слоя «гидравлического затвора», и восстановлению процесса слива автоматическим открытием клапана.

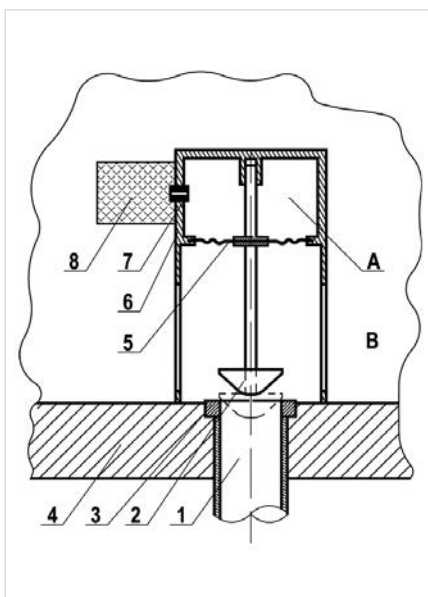


Рис. 7 — Схема отсекающего устройства

Список использованной литературы

1. Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов А.Л., Басниев К.С., Алиев З.С. «Основы технологии добычи газа». — М.: ОАО «Издательство «Недра», 2003. — 880с.: ил.
2. А. Эвас, А. Рафф, С. Видерхорн, У. Эдлер, Дж. Брантон, М. Рочестер, К. Прис, К. Мёрч, Б. Вайс, Д. Саммерс. «Эрозия»: Перевод с англ./ Под ред. К. Прис. — М.: «Мир», 1982. — 464 с., ил.
3. Истомин В.А., Якушев В.С. «Газовые гидраты в природных условиях» - М.: «Недра», 1992. — 235С.: ил.
4. «Прикладная гидродинамика газожидкостных смесей. М. Всероссийский научно-исследовательский природных газов и газовых технологий. Ивановский государственный энергетический университет. 1998г. 400с. Авт.: Г.Э. Одишария, А.А. Точигин.
5. «Движение газожидкостных смесей в трубах. М., «Недра», 1978, 270с. Авт.: В.А. Мамаев, Г.Э. Одишария, О.В. Клапчук и др.
6. «Новое оборудование для очистки природного газа перед промышленной ДКС на Ямсовейской месторождении». А.А. Пигарев, В.А. Толстов, М.В. Немцов, В.А. Соколов (ДАО ЦКБН), Ю.А. Кудояр (ОАО «Газпром»), М.А. Малышкин (ООО «Надымгазпром»). «Газовая промышленность». — 2008. — № 1. — стр. 79-81.
7. «Измеритель уноса жидкости. Паспорт ГПП 420.00.000ПС». Утверждено начальником «ЦКБН» И.К. Глушко. 1986. 20с.
8. «Совершенствование оборудования с высокоточными центробежными элементами». А.Г. Зиберт, Г.К. Зиберт, И.М. Валиуллин (ООО «УК «РусГазИнжиниринг»). «Газовая промышленность». — 2008. — № 9. — С. 72-74.
9. «Предупреждение образования газовых гидратов на элементах внутренних устройств входных сепараторов при промышленной подготовке газа сеноманской залежи Ямбургского НГКМ». В.В. Ефимов, Д.В. Халиулин (ООО «Газпром добыча Ямбург»). «Экспозиция Нефть Газ», № 1 (19) Февраль 2012. — стр. 17-20.
10. Рамазанова Э. Э., Велиев Ф. Г. «Прикладная термодинамика нефтегазоконденсатных месторождений». — М.: «Недра», 1986. - 223 с.