

Влияние технологических осложнений завершающей стадии разработки Ямбургского месторождения на качество промышленной очистки продукции сеноманской залежи

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 причин
снижения эффективности
функционирования
системы промышленной
очистки продукции скважин
сеноманской залежи на
заключительном этапе
разработки Ямбургского
нефтегазоконденсатного
месторождения.**

Материалы и методы

Метод наблюдения, прогнозирования и обобщения.

Ключевые слова

добыча и транспорт газа, гидрат, подготовка природного газа

The influence of the technological complications taking place at the final stage of the Yamburg Gas Field development on the quality of the field preparation of the gas coming from the senomansky gas field

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»

Продукция скважин, добываемая из газоносных залежей, представляет собой сложную смесь насыщенных парами влаги углеводородных газов, капельной воды и твердых частиц примеси, поэтому процесс очистки газожидкостной смеси является обязательным и очень важным в любом технологическом процессе промышленной подготовки природного газа к дальнему транспорту. Разработка месторождений природного газа «сопровождается» снижением пластового давления с изменением во времени физических свойств добываемого газа, увеличением концентрации в продукции скважин жидкой фазы и твердых частиц, снижением температуры при транспортировании газожидкостной смеси с небольшой скоростью от устья скважин к установкам промышленной подготовки, скоплением и периодическими «залпами» из промышленной газотранспортной сети больших объемов жидкости, значительным диспергированием жидкостной фазы турбулентным потоком газовой фазы во входных коллекторах промышленного сепарационного оборудования и др. Все это в сочетании с рядом других технологических и конструктивных факторов не могут не оказывать

негативного влияния на работу входных сепараторов, приводя к снижению эффективности процесса промышленной очистки газожидкостной смеси.

Целью настоящей статьи является анализ влияния на функционирование сепарационного оборудования как «сопутствующих» заключительному этапу разработки технологических осложнений, так и конструктивных недостатков отдельных элементов сепарационных устройств и процессов. В заключительной части статьи приведены выводы, сделанные авторами на основании многолетнего опыта эксплуатации сепарационного оборудования в условиях осложнений процесса промышленной очистки скважинной продукции сеномана Ямбургского месторождения. Авторы статьи выражают искреннюю благодарность сотрудникам ОАО «Институт ЮЖНИИГИПРОГАЗ» за плодотворное сотрудничество при написании данной статьи.

Одно из крупнейших по запасам газа месторождений Западной Сибири, Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение вступило в заключительную стадию разработки. Эксплуатация сеноманской продуктивной



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

залежи, к которой приурочены основные запасы газа Ямбургского месторождения, на завершающем этапе разработки «сопровождается» проявлением целого ряда технологических осложнений:

- существенным снижением (по сравнению с начальными) пластовых давлений;
- уменьшением дебита эксплуатационных скважин;
- значительными масштабами обводнения продуктивной залежи и, как следствие, активным разрушением призабойной зоны пласта (ПЗП);
- образованием на забое эксплуатационных скважин песчаных пробок, увеличивая при этом сопротивление и снижая производительность скважин, что отрицательно влияет на отбор газа из продуктивного разреза;
- 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.

Система сбора газа сеноманской залежи Ямбургского месторождения выполнена по децентрализованной схеме и включает в себя семь газовых промыслов. Добыча продукции газоносной залежи на газовом промысле производится через сгруппированные в кусты эксплуатационные скважины. Для сбора газа от эксплуатационных скважин принята лучевая схема, когда скважины одного куста работают в единый газопровод-шлейф большого диаметра. Перед подачей товарной продукции (природного газа) в магистральный газопровод добываемая газожижкостная смесь от кустов эксплуатационных скважин по промысловой газотранспортной сети транспортируется на специальные (в составе газовых промыслов) установки комплексной подготовки газа (УКПГ), для промышленной подготовки газа к дальнему транспорту. УКПГ представляет собой сложный комплекс технологически связанных между собой систем:

- одноступенчатой установки промышленной очистки транспортируемой на

- УКПГ продукции газоносной залежи от капельной влаги и твердой примеси перед подачей «сырого» газа к центробежным нагнетателям газоперекачивающих агрегатов (ГПА) промысловой дожимной компрессорной станции (ДКС);
- промысловой ДКС — для компримирования «сырого» газа и предварительного его охлаждения, обеспечивая при этом эффективность процесса гликолевой осушки;
- системы абсорбционной осушки — для удаления из газа паров воды с целью снижения температуры образования газовых гидратов в процессе дальнего транспорта;
- системы окончательного охлаждения товарного газа до параметров, предотвращающих процесс растепления многолетнемерзлых грунтов в процессе транспортирования «сухого» газа от УКПГ к головной компрессорной станции магистрального газопровода по подземному межпромысловому коллектору;
- вспомогательных систем регенерации абсорбента и ингибитора гидратообразования (метанола).

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 призабойной зоны пласта (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 промышленной подготовки газа, так как от эффективной работы сепарационного оборудования зависит надежная, безаварийная работа газопромыслового комплекса и качество товарной продукции.

Учитывая особенность коллекторной схемы подвода газожижкостной смеси к входным сепараторам, что связано с их неравномерной нагрузкой как по газу, так и по жидкости, 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 данного параметра, тем функционирование оборудования

Abstract

The analysis of the reasons of the decrease of the efficiency of the system of field purification of the gas coming from the senomansky gas field of the Yamburg oil and gas condensate field

Materials and methods

Gas production and transportation, hydrate, natural gas preparation.

Results

The analysis has revealed the factors causing the negative influence on the process of field preparation of the gas coming from the senomansky gas field of Yamburg oil and gas condensate field, occurring in the in-let separators of a one-step system of gas purification.

Conclusions

There is only a limited amount of technical decisions to overcome the negative influence on the quality purification of the gas coming from the senomansky gas field of Yamburg oil and gas condensate field.

Keywords

gas production and transportation, hydrate, natural gas preparation

References

1. "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. Malyshev ("Nadymgasprom"), "Gas Production Industry", 2008, N1, p.p.78-81.
2. Zilbert G.K., Sedykh A.D., Mikhailov N.V., Dyomin V.M. "Preparation of Hydrocarbon Gases and Gas Condensate. Technology and Equipment." A reference book. M., JSC "Nedra-Business Center", 2001, p.p. 316,il.
3. "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
4. Synaisky E.G., Lapyga E.Ya., Zaitzev Yu.V. "Separation of monocomponent systems" M., JSC "Nedra-Business Center", 2002, 621p.p.,il.
5. "Concise reference book on physical and chemical values", the 8-th improved edition, edited by A.A. Ravidelya and A.M. Ponomaryova, Leningrad, "Khimiya", 1983, p.p.232,il
6. "The principals of mass transmission", a manual for university students, M., "Vysshaya Shkola", 1972, p.p. 496,il.

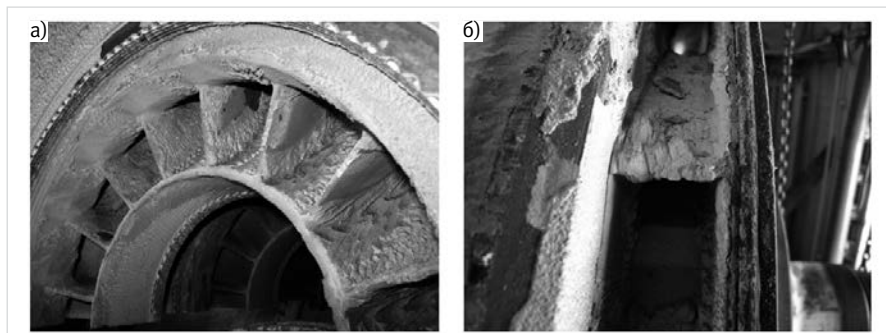


Рис. 2 — «Зарастание» элементов проточной части центробежных нагнетателей твердыми отложениями (а, б)

7. Chebotaryov V.V. "Calculations of the main technological processes taking place at well production, gathering and purification", a manual for university students, Ufa, USPTU, 1995 p.p.144
8. "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
9. Gritsenko A.I., Klapchuk O.V., Kravchenko Yu.A. "Gas and liquid mixtures hydrodynamics in wells and pipelines", M., "Nedra", 1994, p.p.238, il.
10. "Movement of gas and liquid mixtures in pipelines", M., "Nedra", 1978, 270p.p. Authors: V. A. Mamayev, G.E. Odisharia, O.V. Klapchuk
11. Bekirov T.M., Shatalov A.T. "Natural gas gathering and pre-transportation preparation", M., "Nedra", 1986, p.p. 261
12. Milstein L.M., Boiko S.I., Zaporozhets E.P. "Separation Equipment at oil and gas production", a reference book edited by L.M. Milstein, M., "Nedra", 1992, p.p.236, il.
13. Maslov V.M. "The concepts of analysis and improvement of the techniques and technologies used at gas field preparation and transportation", Tashkent, "Fan", 1997
14. "Hydrocarborene gases gathering, transportation and storage", a reference book, M., "Nedra", 1978, p.p.405. Authors: A.I. Guzhov, V.G. Titov, V.F. Medvedev, V.A. Vasilyev

признается более эффективным.

Поступающая к входным сепараторам от эксплуатационных скважин добываемая газо-жидкостная смесь характеризуется, в настоящее время, высоким содержанием капельной жидкости ($3...5 \text{ г/нм}^3$) и твердых частиц примеси ($\sim 5...8 \text{ мг/нм}^3$, в том числе по фракционному составу: до 20 мкм $\sim 15\%$ вес., $20...40 \text{ мкм}$ $\sim 20\%$ вес., более 40 мкм $\sim 65\%$ вес.).

В результате неудовлетворительной работы промышленного сепарационного оборудования наблюдается значительное повышение в прошедшем очистку во входных сепараторах «сыром» газе концентрации твердых частиц и капельной жидкости с растворенными в ней солями и применяемыми для интенсификации процесса добычи газа из эксплуатационных скважин химическими реагентами, поступление которых в технологические системы промышленной подготовки газа оказывают негативное воздействие на их работу.

Так, поступление в нагнетатели 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). «Зарастанию» 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, 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 промышленной 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;

Очистка продукции газоносной залежи производится в газожидкостных сепараторах,

осаждение капель жидкости и твердых частиц в которых происходит за счет воздействия на сепарируемую среду гравитационных, центробежных и инерционных сил.

Приведем краткую характеристику процесса промышленной очистки продукции сеноманской залежи Ямбургского месторождения.

Очистка добываемой продукции от капельной жидкости и твердых частиц до параметров, удовлетворяющих требованиям к качеству газа на входе в центробежные нагнетатели ГПА, осуществляется на установке очистки газа, укомплектованной параллельно работающими входными сепараторами с проектными внутренними устройствами ГП 1181.04.01 «ЦКБН» и производительностью $10 \text{ млн. нм}^3/\text{сут}$ (и $20 \text{ млн. нм}^3/\text{сут}$). На УКПГ принята коллекторная схема с подачей газожидкостной смеси к расположенным один за другим входным сепараторам, причем подача осуществляется из двух ветвей входного коллектора установки очистки газа и по входным коллекторам сепараторов. На тупиковом

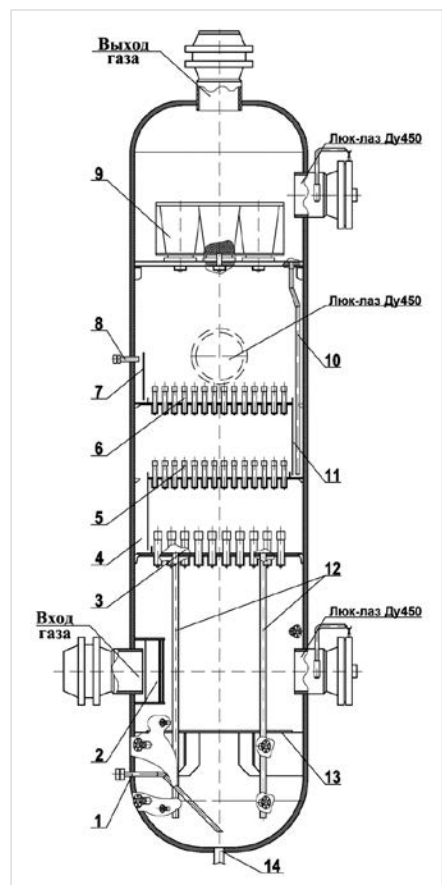


Рис. 3 — Схема сепаратора С-1 с проектными внутренними устройствами ГП 1181.04.01

1 — штуцер слива жидкости из кубовой части; 2 — тангенциальное входное устройство с сетчатым коагулятором; 3 — тарелка с прямоточными сепарационными центробежными элементами типа ГПР 353; 4, 11 — «переливной карман»; 5, 6 — тарелка с центробежными массообменными элементами типа ГПР 340; 7 — отбойная пластина; 8 — штуцер для подачи в аппарат жидкости для «промывки» газа от солей; 9 — секция концевой очистки с сетчатыми сепарационными элементами типа ГПР 667; 10, 12 — сливные трубы; 13 — защитный лист; 14 — штуцер дренажа

участке каждой из двух ветвей входного коллектора установки очистки газа установлены горизонтальные емкости, для улавливания поступающих на УКПГ из промышленной газотранспортной сети «жидкостных» пробок и сбора твердых частиц примеси. Каждая емкость-пробкоуловитель представляет собой горизонтальный аппарат с патрубком для подачи газожидкостной смеси. Внутренний объем каждого аппарата разделен перегородкой на два отсека: один для улавливания жидкости, а другой, оборудованный контейнером, предназначен для сбора мехпримеси. Разряжение во внутренних полостях при работе каждого аппарата обеспечивается соединяющими их с выходным коллектором установки очистки газа «уравнительными» линиями.

Конструктивные особенности сепаратора ГП 1181.04.01 производительностью 10 млн. $\text{м}^3/\text{сут}$ приведены в [1]. Сепаратор представляет собой вертикальный цилиндрический корпус диаметром 1800 мм с двумя патрубками диаметром 426 мм для ввода в аппарат газожидкостной смеси и выхода отсепарированного «сырого» газа; тремя люк-лазами диаметром 450 мм, приваренными к обечайке корпуса на разных уровнях, для обеспечения внутреннего осмотра и обслуживания внутренних устройств аппарата в процессе его эксплуатации; комплектом штуцеров различного назначения: для подачи в сепаратор жидкости «промывки» газа от солей, слива жидкости из «кубовой» части аппарата и др. Схема проектных внутренних устройств сепаратора приведена на рисунке 3.

Очистка подаваемого через входной патрубок на отбойную пластину тангенциального входного устройства (2) газожидкостного потока от наиболее крупной фракции капельной жидкости и твердых частиц производится под воздействием центробежных сил. При этом сепарируемые на стенках аппарата жидкость и твердые частицы в виде жидкостно-песчаной пульпы отводятся в кубовую часть под собственным весом через кольцевой зазор между защищающим сборник жидкости от возмущения потоком газа листом (13) и стенкой аппарата. Отделенная из газожидкостной смеси в сепарационных элементах под воздействием центробежных и инерционных сил капельная жидкость с твердыми частицами отводится на полотна и далее: с тарелок (5) и (6) самотеком по «переливным карманам» (11) и (4) отводится на тарелку (3), а с полотна секции концевой очистки (9) также самотеком отводится на тарелку (3) по сливной трубе (10). Для обеспечения «гидравлического затвора» нижние срезы отбойных пластин «переливных карманов» (11) и (4) и башмак трубы (10) должны быть погружены под образованный на тарелках (3), (5), и (6) слой жидкости. При этом отвод жидкостно-песчаной смеси с полотна тарелки (3) производится самотеком по двум сливным трубам (12) под уровень жидкости в кубовой части, защищенной от возмущения потока газа листом (13), что обеспечивает надежный «гидравлический затвор» сливных труб. Автоматическое регулирование уровня жидкости в кубовой части осуществляется по сигналам от приборов регулирования и сигнализации верхнего и нижнего предельных уровней. Отвод жидкости из «куба» осуществляется без образования воронки через штуцер (1) в

дренажную систему УКПГ, для разгазирования и последующей ее утилизации. В аварийных ситуациях слив жидкости из аппарата осуществляется вручную.

Для защиты компрессоров газоперекачивающих агрегатов ДКС и оборудования систем гликолевой осушки и регенерации абсорбента от поступления в них с уносимой с «сырым» газом капельной жидкостью растворов солей и нежелательных реагентов, в сепараторах организован процесс «промывки» газа от солей. Через штуцер (8) по каналу, образованному приваренной к обечайке корпуса аппарата пластиной (7), на полотно тарелки (6) сверху подается жидкость «орошения». Система переливных карманов и перегородок обеспечивает образование на полотнах «промывочных» тарелок (5) и (6) слоя жидкости высотой 50 мм, создавая условия для подвода жидкости в контактные устройства центробежных массообменных элементов типа ГПР 340 и обеспечивая «гидравлический затвор». Циркулирующий при перетекании самотеком с тарелки на тарелку в аппарате поток жидкости обеспечивает непрерывный отвод с полотен «промывочных» тарелок (5) и (6) на тарелку (3) и далее в кубовую часть аппарата отводимой на полотно из элементов типа ГПР 340 и ГПР 353 отделенной из потока минерализованной жидкости. При этом отводимая из прямооточных сепарационных элементов типа ГПР 353 твердая примесь смывается с полотна тарелки (3) в «куб» аппарата, а отводимые из центробежных массообменных элементов типа ГПР 340 твердые частицы за счет имеющихся «барьеров» в виде «переливных порожков», оседая, образуют на полотнах «промывочных» тарелок (5) и (6) слой твердых отложений (рисунок 5 «б»).

Принцип «промывки» газа от солей заключается в снижении в уносимой из сепаратора жидкости концентрации растворенных в ней солей и химических реагентов при разбавлении содержащейся в газожидкостном потоке капельной жидкости подаваемой в контактно-сепарационные массообменные элементы типа ГПР 340 (рисунок 4) пресной водой.

Закрученный на щелевых [2] прорезях в стенке корпуса тангенциального завихрителя (5 — рисунок 4) поток газожидкостной смеси поступает внутрь корпуса (2) контактно-сепарационного элемента. Присутствующий на опорном полотне (7) жидкостный слой (а) обеспечивает подачу за счет создаваемого при закрутке разряжения по каналу и через прорезь в поперечной балке (4) в приосевую зону корпуса (2) «промывочной» жидкости с последующим диспергированием и интенсивным турбулентным перемешиванием тонкодисперсной жидкостной фазы с сепарируемой средой, что способствует уменьшению концентрации растворенных в содержащейся в газожидкостной потоке капельной влаге минеральных солей и химических реагентов. При контакте капель жидкости с обращенной к потоку выпуклой поверхностью закрепленного на поперечной балке (4) параболического расщекателя (3) происходит смачивание поверхности оболочки с последующим движением жидкостной пленки от оси к периферии расщекателя под воздействием закрученного потока в

виде расширяющейся спирали. При этом движение неизменной в объеме жидкостной пленки, вследствие увеличения площади поверхности параболической оболочки от оси к периферии, сопровождается утонением слоя жидкости, что приводит к уменьшению диаметра срывааемых с торца расщекателя турбулентным потоком капель, обеспечивая большую площадь для контактирования газовой фазы с тонкодисперсной жидкостью в газожидкостном потоке. Дальнейшее восходящее движение газожидкостного потока в поле центробежных сил сопровождается сепарированием жидкостной фазы и твердых частиц примеси на стенке корпуса (2) элемента с образованием винтового течения жидкости с отводом жидкостно-песчаной смеси за пределы элемента через кольцевую щель между корпусом (2) и капльсъемным «козырьком» (1) вместе с небольшой частью газа. Отводимая из центробежных массообменных элементов минерализованная жидкость, смешиваясь с подаваемой на опорное полотно (7) «промывочной» жидкостью, увеличивает в ней концентрацию растворенных солей и нежелательных реагентов, снижая при этом эффективность процесса «промывки» газа. Основной же поток отсепарированного газа выводится из элемента через центральный канал в «козырьке» пленкосъемника (1).

Завершающий период разработки Ямбургского месторождения характеризуется значительным снижением эффективности функционирования сепарационного оборудования, что связано с проявлением целого ряда технологических осложнений.

Одним из главных факторов негативного воздействия на процесс промышленной очистки газа является высокое содержание в сепарируемой среде механической примеси, вызывая накопление твердых отложений:

- на поверхности «промывочных» тарелок (рисунок 5 «б»), ухудшая, а в иных случаях и полностью прекращая процессы «промывки» газа от минеральных солей и сепарирования газожидкостной смеси в центробежных массообменных элементах типа ГПР 340. На рисунке 6 показано «чистое» состояние полотна «промывочной» тарелки сепаратора после ревизии, а на рисунке 7 — состояние той же тарелки с «внушительным» слоем твердых отложений на полотне после 180 суток работы сепаратора;
- в зоне перегиба «козырьков» капльсъемников центробежных сепарационных и массообменных элементов, что способствует резкому снижению эффективности, а в иных случаях прекращает процесс сепарирования жидкости в центробежных сепарационных и массообменных элементах;
- на стенках сепарационных элементов, вследствие прилипания к ним твердых частиц, искажая при этом поверхность и ухудшая обтекание стенок, что способствует «дополнительному» диспергированию капель жидкости с последующим их уносом из элементов;
- в кубовой части сепараторов, выше уровня патрубков сливных труб, прекращая как отвод жидкости с полотен тарелок внутренних устройств, так и удаление жидкости из кубовой части аппарата;

- в сетчатых сепарационных элементах типа ГПР 667, вызывая повышение гидравлического сопротивления на сепарационной секции.

Существует ряд других факторов негативного воздействия на процесс промышленной очистки газожидкостной смеси.

Согласно приведенным в [3] результатам анализа функционирования устаревших конструкций прямоточных сепарационных и массообменных центробежных элементов, по мнению авторов настоящей статьи, повышенный унос жидкости из сепараторов ГП 1181.04.01 обусловлен следующими конструктивными недостатками центробежных элементов типа ГПР 340 и ГПР 353 проектных внутренних устройств:

1. Мелкодисперсное дробление капель жидкости за рассекателем (3 — рисунок 4) вследствие чрезмерного утонения слоя жидкости при движении жидкостной пленки по выпуклой поверхности в условиях неизменности объема жидкости и увеличении площади поверхности параболической оболочки от оси к периферии. Это обстоятельство вызывает уменьшение диаметра капель жидкости, срываемых с торца рассекателя турбулентным потоком, и последующий их унос из элемента. Уносимые вместе с капельной жидкостью из сепарационных и массообменных элементов частицы твердой примеси, оседая в виде твердых отложений в межслойном пространстве выполненных способом намотки полос плоской рукавной сетки на каркас сетчатых элементов типа ГПР 667, вызывают повышение гидравлического сопротивления аппарата;
2. вторичный унос жидкости вследствие дробления капель турбулентным потоком газа, отводимым из элемента по кольцевому каналу между корпусом и каплесьемником вместе с жидкостью на выходе из пленко-съемника (1);
3. дробление капель жидкости при обтекании турбулентным газожидкостным потоком поперечных балок для подачи в сепарационные и массообменные элементы по каналам в балках рециркулирующего газа и «промывочной»

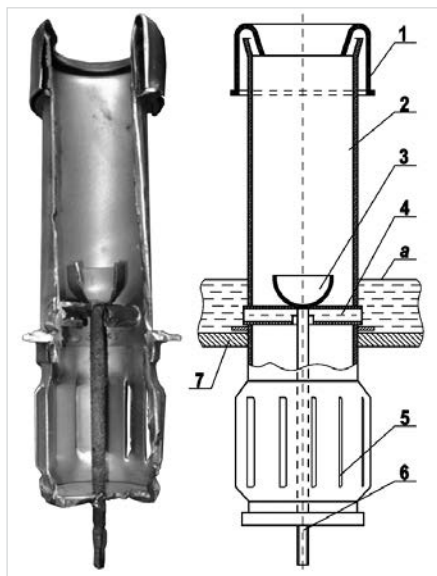


Рис. 4 — Схема центробежного массообменного элемента типа ГПР 340

жидкости, соответственно.

Малоэффективен, по мнению авторов настоящей статьи, и организованный в сепараторе процесс «промывки» газа от солей. Данный недостаток связан с многократным смешиванием в образуемом на поверхности полотна (7 — рисунок 4) тарелки жидкостном слое (а) подаваемой в аппарат «промывочного» раствора с отводимой из центробежных массообменных элементов ГПР 340 на полотно отсепарированной высококонцентрированной жидкости, что влечет за собой повышение концентрации в «промывочной» жидкости солей и снижение эффективности процесса «промывки».

Необходимо отметить, что эффективное функционирование сепарационного оборудования и связанное с ним качество промышленной очистки газожидкостной смеси во многом зависит от формирующейся в подводящих коллекторах сепараторов структуры двухфазного газожидкостного потока [4]. В связи с этим следующим важным фактором технологического осложнения процесса промышленной очистки газожидкостной смеси, безусловно, следует признать тонкодисперсное распыление содержащейся в скважинной продукции капельной жидкости вследствие высокого уровня скоростей турбулентного потока в подводящих коллекторах входных сепараторов, а также периодическое «залповое» поступление в сепараторы из промышленной газосборной сети больших объемов жидкости.

Структура течения жидкостной фазы в двухфазном газожидкостном потоке во многом определяется скоростью течения среды в газопроводе, а также количественным соотношением газовой и жидкостной фаз. Для определения величины средней скорости потока в трубопроводе диаметром d (см) воспользуемся следующей эмпирической формулой:

$$w_{CP} = 0,01247 \cdot \frac{Q \cdot z_{CP} \cdot T_{CP}}{d^2 \cdot p_{CP}}, \quad (1)$$

где Q — величина среднечасового расхода газа в газопроводе ($\text{м}^3/\text{ч}$); T_{CP} — средняя температура транспортируемой среды ($^{\circ}\text{К}$); p_{CP} — среднее давление в газопроводе ($\text{кг}/\text{см}^2$); z_{CP} — средний коэффициент сжимаемости в газопроводе, определяется по формуле:

$$z_{CP} = 1 - \frac{0,0241 \cdot P_{ГП}}{1 - 1,68 \cdot T_{ГП} + 0,78 \cdot T_{ГП}^2 + 0,107 \cdot T_{ГП}^3} \quad (2)$$

Для рабочих условий газопровода диаметром 1020 мм — входного коллектора установки очистки газа, $Q = 115000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $z_{CP} = 0,992$, $T_{CP} = 273 \text{ К}$, $p_{CP} = 7 \text{ кг}/\text{см}^2$, значение средней скорости потока составляет $w_{CP} \sim 56 \text{ м}/\text{с}$.

Для рабочих условий в коллекторе диаметром 426 мм, по которому газожидкостная смесь подается к входному патрубку сепаратора, $Q = 115000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $z_{CP} = 0,992$, $T_{CP} = 273 \text{ К}$, $p_{CP} = 7 \text{ кг}/\text{см}^2$, значение средней скорости потока составляет $w_{CP} \sim 37 \text{ м}/\text{с}$.

Принимая под понятием «газожидкостная смесь» двухфазную среду с высоким газовым фактором, в которой сплошной фазой является газ, а жидкостная фаза, условно — водометанольный раствор с 10% концентрацией

метанола, движется в газом потоке в виде тонкодисперсных капель, средневзвешенное значение радиуса капель жидкости, формирующихся в турбулентном потоке, можно определить, используя формулу [4]:

$$R_{av} = 0,12 \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{4/7} We^{-3/7} \quad (3)$$

где ρ_L — значение плотности водометанольного раствора ($\sim 981,5 \text{ кг}/\text{м}^3$);

$We = \rho_G \cdot w_{CP} \cdot d / \sigma$ — число Вебера,

σ — коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела «газ — вода». Для рабочих условий транспортируемой среды коэффициент поверхностного натяжения [5] для воды (H_2O)

$\sigma_1 \sim 74,5 \text{ мН}/\text{м}$, для метанола (CH_3OH) $\sigma_2 \sim 24,5 \text{ мН}/\text{м}$.

Величина коэффициента поверхностного натяжения на границе раздела «газ — водометанольный раствор» определяется по эмпирическому соотношению [6]:

$$\sigma_{CM} = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_1 \cdot x_2 + \sigma_2 \cdot x_1} \quad (4)$$

ρ_G — плотность газа в рабочих условиях ($\text{кг}/\text{м}^3$), определяется по формуле [7]:

$$\rho_G = \frac{\rho_H \cdot z_H \cdot T_H \cdot p_P}{p_H \cdot z_P \cdot T_P} \quad (5)$$

где ρ_H — плотность газа в нормальных условиях ($\rho_H = 0,678 \text{ кг}/\text{м}^3$); p_H, p_P — нормальное и рабочее давление, соответственно ($p_H = 0,102 \text{ МПа}$);

T_H, T_P — нормальная и рабочая температура, соответственно ($T_H = 293 \text{ К}$); z_H, z_P — коэффициент сжимаемости в газопроводе при нормальных и рабочих условиях, соответственно ($z_H = 1$)

Для рабочих условий газопровода диаметром 1020 мм — входного коллектора установки очистки газа $\rho_G \sim 5,13 \text{ кг}/\text{м}^3$, $w_{CP} \sim 56 \text{ м}/\text{с}$, $\sigma_{CM} \sim 61,87 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$, $We = 2,6 \cdot 10^5$ средневзвешенное значение радиуса капель жидкости, сформированных в турбулентном потоке составляет $R_{av} \sim 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, или средневзвешенное значение диаметра капель $\sim 50 \text{ мкм}$.

Для рабочих условий в коллекторе диаметром 426 мм, по которому газожидкостная смесь подается к входному патрубку сепаратора $\rho_G \sim 5,13 \text{ кг}/\text{м}^3$, $w_{CP} \sim 37 \text{ м}/\text{с}$, $\sigma_{CM} \sim 61,87 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$,

$We = 4,54 \cdot 10^4$ средневзвешенное значение радиуса капель жидкости, сформированных в турбулентном потоке составляет $R_{av} \sim 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, или средневзвешенное значение диаметра капель $\sim 44 \text{ мкм}$.

Согласно современным представлениям академической науки [8], [9], [10] о тении в трубопроводах двухфазных газожидкостных смесей с небольшим содержанием в потоке жидкостной фазы, но при больших скоростях газовой среды, течение газожидкостного потока в коллекторах установки очистки газа имеет явно выраженную дисперсную структуру, представляя собой движение тонкодисперсных капель жидкости в ядре потока газовой фазы, что наглядно подтверждается приведенными выше расчетами средневзвешенного значения диаметра капель.

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

промышленной 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 установочных на тупиковых участках ветвей коллектора емкостей-пробкоуловителей, делая их функционирование неэффективным. Более того, открытые на проток «уровневые» линии открывают для газожидкостной смеси с высоким содержанием капельной влаги и твердых частиц беспрепятственное поступление на вход компрессоров ДКС, минуя газожидкостные сепараторы. Однако, повышение уровня жидкости в емкостях-пробкоуловителях иногда все же наблюдается, и происходит это в моменты поступления на УКПГ из промышленной газосборной сети больших объемов жидкости, что сопровождается колебаниями давления во входном коллекторе установки очистки газа с весьма высокой амплитудой. Поступление из промышленной 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.

Не углубляясь, в рамках настоящей статьи, в перипетии формирования структуры транспортируемого потока на различных участках профильных газопроводов, отметим, что течение газожидкостной смеси в восходящих участках со скоростями ниже скорости реверса жидкостной пленки «инициирует» процесс накопления в пониженных местах трассы (перед подъемом) больших объемов жидкости, и способствует при этом значительно возраставанию гидравлических потерь и снижению пропускной способности шлейфа.

Любые изменения установившегося режима, которые могут быть вызваны целым рядом факторов, таких как: повышение производительности промышленной ДКС при пуске ГПА; закачка в шлейфы ингибитора гидратообразования; пуск в работу 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, поступающая 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 и более, промышленное 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 ОАО «Институт ЮНГГ» предусмотрена предварительная очистка газожидкостной смеси в проточной емкости-пробкоуловителе большого объема (диаметра). Однако, по мнению авторов настоящей статьи, использование пустотелого аппарата для равитационного осаждения жидкостной фазы не эффективно. 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. 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.

В качестве альтернативного авторами статьи был предложен вариант применения для первичной сепарации многопатрубкового устройства по типу трубного конденсатоотделителя, представляющего собой «трубную гребенку», в которой подача газожидкостной смеси к наклонным патрубкам осуществляется через верхний горизонтальный манифольд. Данное устройство позволило бы обеспечить безопасное улавливание из газосборной сети жидкостных пробок больших объемов, так как хорошо зарекомендовало себя в нефтяной [12] и в газовой промышленности [13]. Предложенный авторами настоящей статьи вариант тангенциального ввода газожидкостной смеси с закруткой потока в наклонных патрубках конденсатоотделителя вокруг центральной трубы, аналогично конструкции противоточного циклонного газосепаратора, позволит значительно повысить эффективность отделения из сепарируемой среды жидкости и твердых частиц за счет использования воздействия на частицы жидкости и твердой примеси центробежных сил.

Итоги

В результате проведенного анализа определен круг факторов негативного воздействия на процесс функционирования промышленного сепарационного оборудования:

1. большая концентрация в продукции скважин твердых частиц, что вызывает образование на внутренних устройствах входных сепараторов слоя твердых отложений;
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. несовершенство конструкции примененных в составе проектных устройств сепарационных ГПР 353 и массообменных ГПР 340 элементов, а также конструктивные недостатки организованного в сепараторах процесса «промывки» газа от солей;
5. «захлебывание» сепараторов, сопровождающееся интенсивным уносом из аппаратов с отсепарированным газом капельной жидкости, при прохождении из промышленной газосборной сети «жидкостных» пробок больших объемов;

6. процесс гидрато- и льдообразования на внутренних устройствах входных сепараторов, сопровождающийся повреждением элементов конструкции внутренних устройств.

Негативное воздействие вышеперечисленных факторов значительно снижает качество очистки скважинной продукции во входных сепараторах, результаты неэффективной работы которых 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.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что для преодоления воздействия негативных факторов при промышленной очистке продукции скважин Ямбургского сеномана существует весьма небольшой набор технических решений. Это, прежде всего, увеличение производительности входных сепараторов с одновременным повышением эффективности промышленной очистки добываемой продукции, за счет проведения модернизации внутренних сепарационных устройств в существующем корпусе сепараторов, заключающегося в применении 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;

- наиболее полную очистку сепарируемой среды от частиц твердой примеси;
- эффективный процесс «промывки» со снижением в уносимой из сепаратора с подготовленным газом капельной жидкости концентрации растворенных солей и химических реагентов;
- 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.

Выводы

Для преодоления негативного воздействия на качество промышленной очистки продукции скважин Ямбургского месторождения существует весьма небольшой набор технических решений.

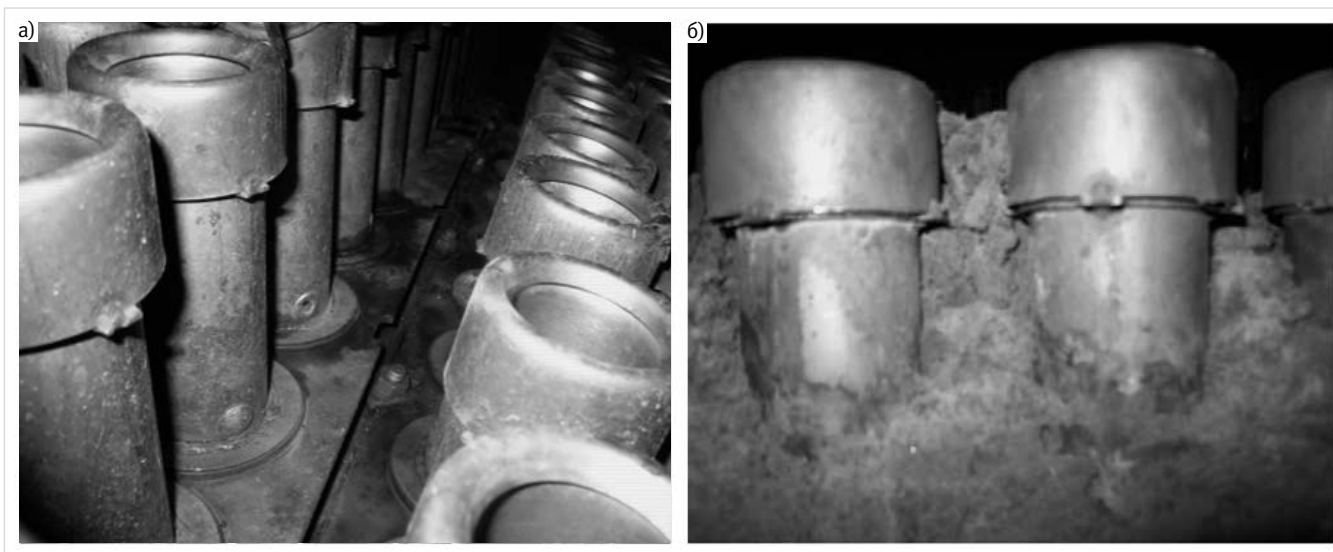


Рис. 5 — «Чистое» состояние промывочной тарелки после ревизии (а) сепаратора и накопление твердых отложений (б) на той же тарелке после 180 дней работы сепаратора ГП 1181.04.01.

Список использованной литературы

1. «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 (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 пособие. — 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 «РусГазИнжиниринг») «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, перераб./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 газо-жидкостных смесей. М. Всероссийский научно-исследовательский природных газов и газовых технологий. Ивановский государственный энергетический университет. 1998г. 400с. Авт.: Г.Э. Одишария, А.А. Точигин.
9. Гриценко А.И., Клапчук О.В., Харченко Ю.А. «Гидродинамика газо-жидкостных смесей в скважинах и трубопроводах». М.: «Недра», 1994. — 238с.: ил.
10. «Движение газо-жидкостных 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 природных газов». — М.: «Недра», 1986. — 261с.
12. Мильштейн Л.М., Бойко С.И., Запорожец Е.П. «Нефтегазопромышленная 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 технологии промышленных подготовок 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.