

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ПРОМЫСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОСУШКИ ГАЗА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ АППАРАТОВ

А.Н. Гурбанов, А.Я. Джомардов

НИПИ «Нефтегаз», AZ1012, г. Баку, ул. Г. Зардаби, 88а; тел: 373 53 93;
e-mail: qabdulaga@mail.ru

За результатами проведених експериментів для існуючих апаратів осушення газу розроблено методику моделювання процесу осушення процесу.

З метою вивчення комплексного впливу основних фізичних параметрів на процес осушення газу НГВУ "Гум Адаси" були виконані спеціальні промислові дослідження, основою яких є метод планування багатofакторного експерименту. На основі експериментальних даних отримано регресійну модель процесу осушення газу, що дає змогу обчислити значення температури точки роси залежно від витрат ППГ, газу і температури контакту.

Було розроблено модель утворення гідратів при течії в каналах сирого газу, що базується на рівняннях гідродинаміки і теплообміну в осесиметричній постановці. Облік двомірних ефектів утворення гідратів дає змогу уточнити початок утворення гідратів у трубопроводах.

Розроблено методику оцінювання випадіння конденсованої фази при русі природного газу, що використовує результати сумісного чисельного рішення рівнянь для газової і конденсованої фаз у двовимірній постановці. Розрахунок траєкторій частинок в технологічній апаратурі вказує на можливість або абразивного зношення деталей, що перебувають в потоці, або інтенсивного налипання та накопичення конденсованої фази.

Ключові слова: масообмін, гідратоутворення, поліпропіленгліколь, експеримент, природний газ.

По результатам проведенных экспериментов для существующих аппаратов осушки газа разработана методика моделирования процесса осушки газа.

С целью изучения комплексного влияния основных физических параметров на процесс осушки газа НГДУ "Гум адасы" были выполнены специальные промышленные исследования, основой которых является метод планирования многофакторного эксперимента. На основе экспериментальных данных получена регрессионная модель процесса осушки газа, позволяющая вычислить значение температуры точки росы в зависимости от расходов ППГ, газа и температуры контакта.

Разработана модель образования гидратов при течении в каналах сырого газа, основанная на уравнениях гидродинамики и теплообмена в осесимметричной постановке. Учет двумерных эффектов образования гидратов позволил уточнить начало образования гидратов в трубопроводах.

Разработана методика оценки выпадения конденсированной фазы при движении природного газа, использующая результаты совместного численного решения уравнений для газовой и конденсированной фаз в двумерной постановке. Расчет траекторий частиц в технологической аппаратуре показал возможность либо абразивного износа деталей, находящихся в потоке, либо интенсивного налипания и накопления конденсированной фазы.

Ключевые слова: массообмен, гидратообразование, полипропиленгликоль, эксперимент, природный газ.

According to the results of conducted experiments for current devices in the gas-drying process the methodology of modeling certain process has been developed.

Aimed to complex studying influence of the main physical characteristics on the gas-drying process special field researches were carried out by Oil and Gas Production Department "Hum Adasy" using designing multifactor experiment. Based on experimental data the regression model of gas-drying was obtained which allows to calculate the dew point temperature using previously processed gas and gas consumption as well by means of contact temperature.

The model of forming hydrates has been developed while raw gas flowing in the channels which is based on the hydrodynamics equations and heat exchange in the axisymmetrical arrangement. The accounting of two-dimension effects of hydrates formation enables to give the precise beginning of hydrates formation in the pipe lines.

The evaluation methodology of condensed phase precipitation in natural gas transmission which uses the results of joint numerical solutions of the equations for gas and condensed phases in two dimensional arrangements. Particles trajectory in technological equipment indicated the possibility of abrasive wear of elements being in the stream or in intensive sticking and accumulation of the condensed phase.

Keywords: mass exchange, formation of hydrates, polypropylene glycol, experiment, natural gas.

Развитие газодобывающей промышленности связано с эксплуатацией и сооружением крупных промыслов и строительством мощных магистральных газопроводов. На газовых промыслах организуется комплексная подготовка газа к дальнему транспорту, в схеме которой основную роль играют массообменные аппараты. Усилия

специалистов направлены на разработку технических решений, позволяющих интенсифицировать процесс массообмена, увеличить производительность и уменьшить унос из абсорбента из аппаратов. В последние годы в связи с более жесткими требованиями к качеству подготовки газа, появилась необходимость создания аппара-

тов более совершенных конструкций с высокой производительностью и эффективностью [1, 2]. По технико-экономическим соображениям требуется модернизация существующих аппаратов для их эксплуатации на завершающей стадии разработки месторождений при пониженных давлениях, повышенных температуре и влагосодержании газа без ввода дополнительного технологического оборудования.

На основании полученных промышленных экспериментальных данных разработаны технологические режимные карты по эксплуатации основного технологического оборудования подготовки газа к транспорту. Обоснованы технологические и конструкторские решения модернизации системы подготовки природного газа в промышленных условиях. На основании анализа экспериментальных данных установлено, что вышеуказанные контактные устройства имеют широкий диапазон устойчивой работы, обеспечивают минимальное гидравлическое сопротивление. При снижении нагрузки по жидкости регулярные насадки работали стабильно, слив жидкости с насадок был равномерным. Влажность газа снижается по мере связывания воды гидратами. Неоднородное распределение содержания гидратов по сечению трубы, полученное вследствие двумерных газодинамических расчетов, существенно влияет на характер отложений гидратов на стенках трубы. Гидраты в первую очередь образуются в непосредственной близости к стенке трубы, чему способствуют низкая скорость движения газа в ламинарном подслое и высокое содержание гидратов в газе.

Проведен анализ абсорбционных технологий осушки газа и современного состояния оборудования, показавший необходимость оптимизации параметров технологических процессов и оборудования с целью подготовки продукции с требуемым качеством и минимальными затратами материально-технических ресурсов.

Осушка газа при его подготовке в промышленных условиях направлена на предотвращение гидратообразования. Основными факторами интенсификации технологических процессов, влияющими на конструкцию насадок и связанные с гидродинамикой двухфазных потоков в аппарате, являются равномерное распределение потоков по поперечному сечению аппарата; интенсивное взаимодействие фаз на уровне элементарного объема аппарата, обеспечивающее непрерывное обновление поверхности контакта фаз; исключение байпасного движения потоков – возвратного движения стекающей жидкости, уноса жидкости с потоком газа и прохождения его без контакта с жидкостью в элементарном объеме слоя и на поверхности насадки.

Разработка регулярных насадок позволила отказаться от строительства дополнительных технологических линий, сократить эксплуатационные затраты при обслуживании оборудования, повысить в целом технико-экономические показатели производства. За последние годы накоплен большой опыт эксплуатации

колонного оборудования с применением регулярных насадок, обеспечивающих снижение гидравлического сопротивления аппарата, сохранение производительности оборудования при пониженных давлениях, при минимальных уносах абсорбента из абсорберов осушки газа и при сохранении качества подготовки газа.

Образование газовых гидратов обусловлено термобарическими условиями в трубопроводах и аппаратах, наличием свободной капельной влаги, образованием центров кристаллизации. Разработка современных технологических процессов переработки природного углеводородного сырья и оптимальная эксплуатация действующих производств невозможна без применения моделирующих программ, позволяющих без значительных материальных и временных затрат производить исследования этих процессов. Такие модельные исследования имеют огромное значение не только для проектирования, но для функционирования существующих производств, так как позволяет учесть влияние внешних факторов (изменение состава сырья, изменение требований к конечным и промежуточным продуктам и т.д.) на показатели действующих производств. Анализ подготовки и переработки природного углеводородного сырья, экспериментальное и численное моделирование физических процессов подготовки промышленного газа являются актуальными и важными задачами обеспечения требуемых потребительских свойств природного газа [3,4].

Цель работы состоит в разработке и научном обосновании математических моделей термогазодинамических процессов современных технологий подготовки природного газа в промышленных условиях, обеспечивающих товарные показатели газа при эксплуатации действующих производств. Характерной особенностью течения является существование условий для образования гидратов в пристенной области, даже в начальном участке трубы. С увеличением расстояния зона образования гидратов расширяется и распространяется на все поперечное сечение трубы. Влажность газа снижается по мере связывания воды гидратами. Неоднородное распределение содержания гидратов по сечению трубы, полученное по результатам двумерных газодинамических расчетов, существенно влияет на характер отложений гидратов на стенках трубы. В первую очередь гидраты образуются в непосредственной близости от стенки. Массовая скорость перехода воды в гидраты и скорость образования гидратов задается источниками членами J_w , J_g . Возможность образования гидратов (при содержании в газе свободной воды, то есть при условии, что температура газа меньше температуры точки росы T_r и больше температуры фазового перехода T_f) увеличивается с повышением давления и понижением температуры газа. Массовая скорость образования гидратов принимается пропорциональной разности температуры газа и температуры начала гидратообразования T_g .

$$J_w = \begin{cases} -A_w W \frac{T_g - T}{T_g - T_f}, \\ 0 \end{cases} \quad \begin{cases} T < T_g, T < T_r, T > T_f; \\ \end{cases} \quad (1)$$

$$J_g = \begin{cases} A_g W \frac{T_g - T}{T_g - T_f}, \\ 0 \end{cases} \quad \begin{cases} T < T_g, T < T_r, T > T_f. \\ \end{cases}$$

Для поставленной цели необходимо провести анализ абсорбционных процессов осушки газа и осложнений, возникающих в процессе гликолевой осушки на нефтегазоконденсатном месторождении НГДУ "Гум адасы".

На основании полученных промысловых экспериментальных данных разработаны технологические режимные карты по эксплуатации основного технологического оборудования подготовки газа к транспорту на НГДУ "Гум адасы". Выявлены технологические и конструкторские решения модернизации системы подготовки природного газа в промысловых условиях. С целью изучения комплексного влияния основных физических параметров на процесс осушки газа НГДУ "Гум адасы" были выполнены специальные промысловые исследования, основой которых является метод планирования многофакторного эксперимента. Основная задача при проведении экспериментов заключалась в построении интерполяционной зависимости в заданном факторном пространстве при минимальном числе опытов, необходимых и достаточных для достижения поставленной цели с требуемой точностью.

Одним из главных технологических параметров подготовки природного газа к дальнему транспорту является его показатель – температура точки росы по влаге [5]. Этот параметр выбран в качестве искомой функции отклика, имеет четкий физический смысл и измеряется при любой возможной комбинации факторов с помощью стационарных и переносных автономных влагомеров. Из анализа проведенных однофакторных экспериментов следует, что на процесс осушки газа и температуру точки росы в значительной степени влияют: расход ППГ ($Q_{\text{ппг}}$), температура контакта «газ-ППГ» (t_k), давление контакта «газ-ППГ» (p_k) и расход газа (Q_r) по технологической нитке УКПГ. В компрессорный период эксплуатации давление контакта «газ-ППГ» является величиной постоянной на протяжении достаточно длительного периода эксплуатации, поэтому на данном этапе этот параметр из числа факторов исключается. Остальные факторы являются определяющими в процессе подготовки газа. Они отвечают требованиям управляемости и однозначности, что означает возможность устанавливать и поддерживать определенные значения факторов в течение проведения экспериментов с необходимой точностью. Факторы $Q_{\text{ппг}}$, t_k и Q_r отвечают требованию совместимости, что означает осуществимость и технологическую безопасность их комбинаций.

Независимость факторов, т.е. возможность устанавливать факторы на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов подтверждается корреляционным анализом. Для этого по выборке данных результатов предварительных экспериментов между возможными парами факторов были определены коэффициенты парной корреляции. Обозначая первый фактор $Q_{\text{ппг}}$ через X_1 , второй фактор – t_k – X_2 и третий фактор – X_3 , получаем расчетное значение коэффициентов парной корреляции: $r_{1,2} = -0,03$, $r_{1,3} = -0,21$ и $r_{2,3} = -0,4$. Как видно, абсолютная величина всех коэффициентов далека от единицы, что свидетельствует об отсутствии линейной связи между факторами и подтверждает их независимость друг от друга.

Выбор экспериментальной области факторного пространства основан на анализе информации предварительных экспериментов. Для первого фактора X_1 с расходом полипропиленгликоля менее 5 кг/тыс.м^3 при текущих параметрах подготовки газа объема абсорбента недостаточно для эффективного процесса абсорбции. Если расход ППГ превышает 11 кг/тыс.м^3 , то избыток этого компонента приводит к перерасходу реагента при значительном превышении требуемого значения температуры точки росы. Второй фактор X_2 (температура контакта «газ-ППГ») в общем случае необходимо поддерживать на низком уровне. Однако, нижний предел температуры порядка $8-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ограничивается температурой гидратообразования сырого газа. При существующих давлениях в аппаратах осушки в компрессорный период эксплуатации верхний предел температуры нерационально поднимать выше $13-14 \text{ }^\circ\text{C}$, т.к. при этом не обеспечиваются требуемые показатели качества газа. Для третьего фактора X_3 (расход газа) верхний уровень $134 \text{ тыс.м}^3/\text{час}$ соответствует номинальной загрузке абсорберов типа ПП 365 (по фактору скорости) при текущих термобарических параметрах осушки. В дальнейшем, при снижении отборов газа из пласта прогнозируется снижение этого фактора до $100 \text{ тыс. м}^3/\text{час}$. Более низкие расходы приведут к снижению скорости газа в аппаратах осушки менее допустимого предела по фактору скорости.

Эксперименты проводились на действующей технологической схеме НГДУ "Гум адасы". Искомую зависимость температуры точки росы от определяющих факторов с учетом эффектов их взаимодействия представим в виде полинома второй степени без членов, содержащих квадраты факторов:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3, \quad (2)$$

где $x_j = (\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0})/I_j$ – кодированное значение фактора;

b_0, \dots, b_{23} – коэффициенты уравнения регрессии;

\tilde{x}_{j0} – натуральное значение фактора;

\tilde{x}_j – натуральное значение основного уровня;

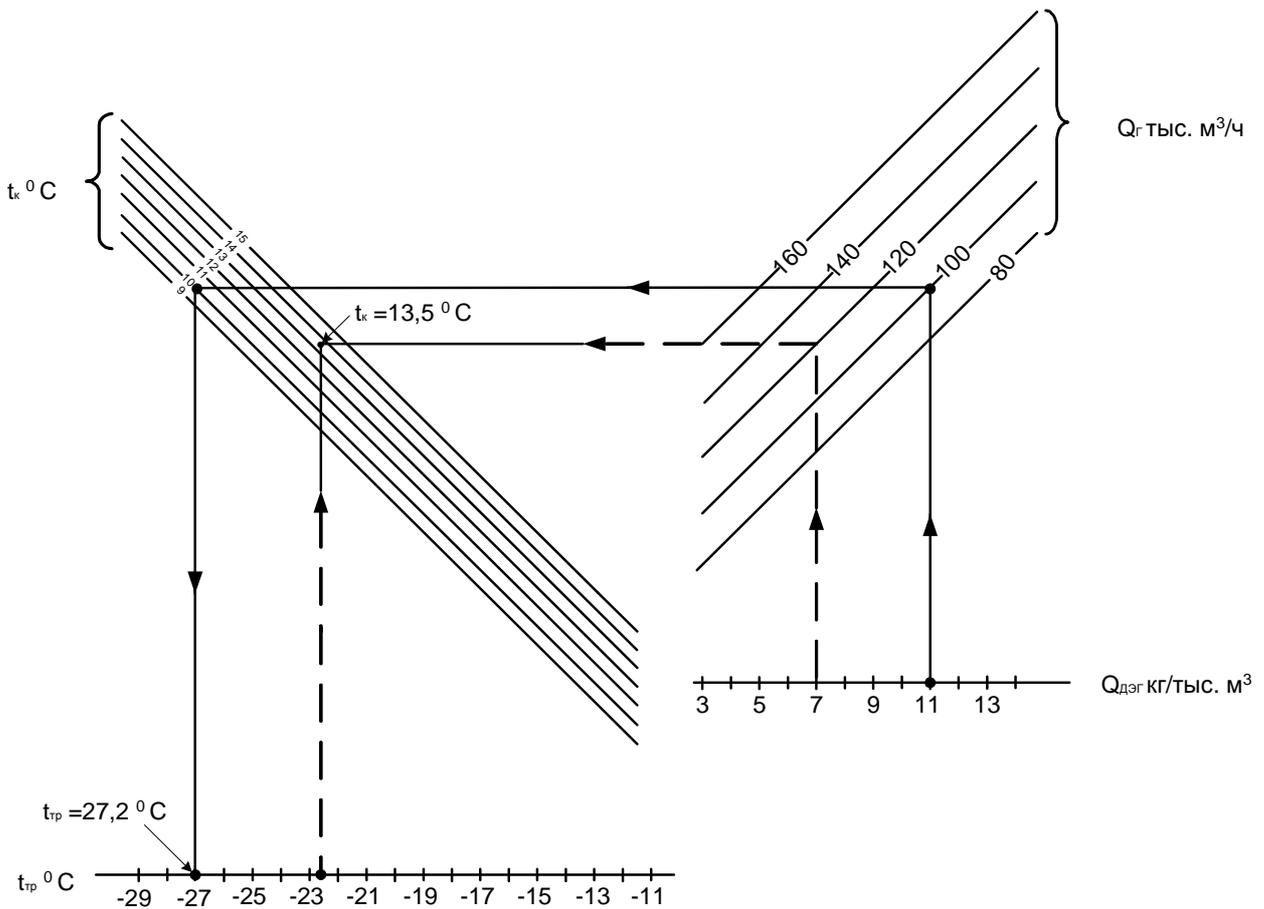


Рисунок 1 – Номограмма для оперативного определения параметров осушки газа НГДУ "Гум адасы"

I_j – интервал варьирования фактора;
 j – номер фактора.

Абсолютная величина линейных коэффициентов регрессии превышает величину доверительного интервала, что свидетельствует об их значимости. Коэффициенты эффектов взаимодействия меньше величины доверительного интервала, поэтому гипотеза об их значимости отвергается, и уравнение регрессии имеет вид $y = -25,2 - 3,01x_1 + 1,26x_2 - 1,71x_3$. С увеличением подачи ППГ и расхода газа происходит снижение температуры точки росы, а увеличение температуры приводит к росту ТТР, что не противоречит известным литературным данным.

Приведем полученное уравнение регрессии к натуральным значениям факторов

$$t_{TP} = - (13,1 + Q_{\text{ппг}} + 0,1Q_{\text{газа}} - 0,63t_k) \quad (3)$$

В эмпирическом уравнении (3), справедливом для выбранной области факторного пространства, размерности входящих параметров соответствуют ранее принятым: $[Q_{\text{ппг}}] = \text{кг/тыс. м}^3$, $[t_k] = \text{°C}$, $[Q_{\text{газа}}] = \text{тыс. м}^3/\text{час}$. Это линейное уравнение имеет простое графическое решение (рис. 1).

Решение начинаем с оси $Q_{\text{ппг}}$, где откладываем соответствующий расход – 11 кг/тыс. м³ (точка 1), и из этой точки проводим нормаль к данной оси до пересечения в правой части ква-

драта с линией, соответствующий заданному расходу газа (точка 2). Полученную точку горизонтально соединяем с линией, принадлежащей температуре контакта (точка 3), из которой опускаем перпендикуляр к оси температуры точки росы (точка 4). Относительная погрешность графического способа решения не превышает 3%, что соответствует достаточной точности при проведении инженерных расчетов. Номограмма позволяет решать любую обратную задачу, например, когда по заданной температуре точки росы, расходу газа и удельному расходу ППГ необходимо определить температуру контакта.

Перспективным направлением достижения требуемых показателей качества подготовки газа в период падающей добычи является повышение эффективности работы массообменных частей аппаратов осушки газа. Аппарат работает следующим образом: сырой газ, поступая в кубовую часть абсорбера через сетчатый отбойник, направляется на сепарационную тарелку с центробежными элементами, находящуюся под газораспределительной тарелкой и далее через четыре газовых патрубка равномерным потоком поступает в массообменную секцию, состоящую из 25-ти слоев регулярной пластинчатой насадки. Жидкая фаза подается на массообменную секцию через распределитель жидкости, выполненный в виде трубчатого коллектора и стекает вниз в виде

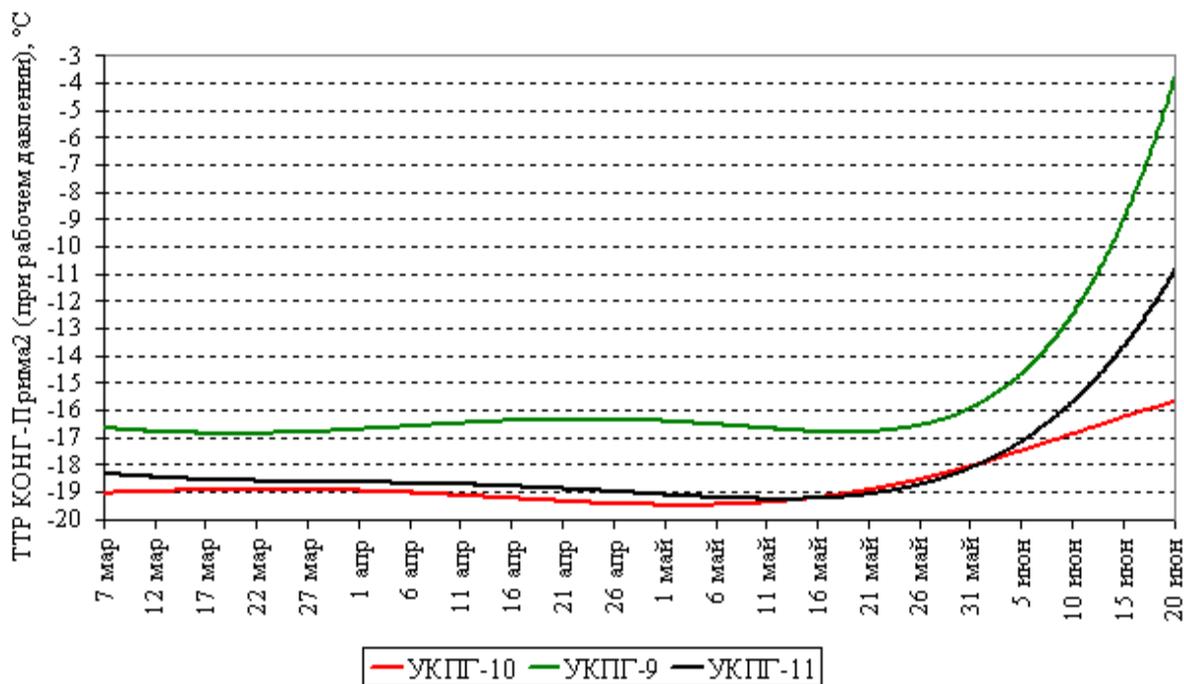


Рисунок 2 – Температура точки росы по влаге, измеренная преобразователем температуры точки росы

пленки по поверхности пластин, взаимодействуя с восходящим потоком газа. Далее газ, минуя распределитель жидкости, поступает на газораспределительную секцию, предназначенную для выравнивания скоростей и частичной сепарации потока осушенного газа, а также для создания благоприятных условий поступления газа на тарелку с фильтрующими элементами. Насыщенный влагой ППГ собирается на газораспределительной тарелке в нижней части колонны и выводится из аппарата.

В ходе промысловые исследований выполнялись замеры следующих технологических параметров: расход газа по аппарату; температура и давление контакта «газ-ППГ»; перепад давления по аппарату; количество ППГ, подаваемого в аппарат; унос ППГ в капельном виде с осушенным газом из аппарата; температура точки росы по влаге.

Для замеров термобарических параметров применялись регистраторы технологических параметров, расход газа определялся устройством ДСС, унос ППГ с осушенным газом определялся прибором конструкции Гухмана гравиметрическим методом, температура точки росы по влаге определялась индикатором и анализатором температуры точки росы по влаге и углеводородам. Производился отбор проб РППГ (общий), НППГ с абсорбера.

Особенность всех аппаратов осушки – сохранение массообменных характеристик при рабочем диапазоне расхода газа и расхода регенерированного гликоля, а также возможность резкого изменения (ухудшения) массообменных характеристик при выходе за пределы этих рабочих параметров. Например, для абсорберов с пластинчатой насадкой важным моментом является достаточно равномерное распределе-

ние гликоля по сечению аппарата. Это оказывается возможным, начиная с некоторых минимальных значений расхода гликоля. С другой стороны, при достаточно больших расходах газа может происходить зависание гликоля в абсорбере с резким изменением характера массообмена в аппарате. Поэтому из общих соображений следует, что использование только одного параметра – удельного расхода гликоля – целесообразно только при определенном диапазоне скоростей газа в аппарате и расходов гликоля. Одна из задач промысловых исследований процесса абсорбции заключается в определении диапазона параметров, когда характеристики массообмена практически не зависят от этих двух параметров в отдельности, а только от комплексного параметра – удельного расхода полипропиленгликоля.

На графиках (рис. 2) представлена температура точки росы по влаге, измеренная преобразователем температуры точки росы по влаге на НГДУ "Гум адасы".

Из данных, представленных на графиках (рис. 2), следует: средняя температура точки росы по влаге УКПГ-10 ниже, чем на УКПГ-9 и УКПГ-11 на разных секциях аппарата. Если сравнивать работу абсорберов по типу аппарата, то разница в ТТР составляет в среднем 5-7 °С; в летний период, когда температура окружающего воздуха достигала +35 °С, модернизированные аппараты обеспечивали требуемое качество газа. В то же время следует отметить, что аппараты также обеспечивали требуемое качество газа, но ТТР при этом была на 3-5 °С выше, чем при работе модернизированных абсорберов на аппаратах.

Анализ результатов исследования работы модернизированного абсорбера показал: на

всех режимах модернизированный аппарат осушки газа показал устойчивую работу, уносов ППГ с осушенным газом практически не наблюдалось, температура точки росы газа на выходе из абсорбера соответствовала требованиям ОСТ 51.40-93 и была ниже на 5-7 °С, чем на выходе с аппаратов с проектной массообменной секцией; по результатам замеров ТТР осушенного газа по влаге на выходе абсорбера понижается от минус 20,2 °С до минус 27,1 °С при повышении расхода газа от 106 до 175 тыс. м³/час; вынос ППГ в фильтрационную секцию, начиная с $Q_r = 157$ тыс. м³/час (0,72 г/тыс. м³) при $Q_r = 175$ тыс. м³/час составил 2,97 г/тыс. м³; перепад давления по аппарату возрастал от 4,5 до 11 кПа при увеличении расхода газа от 118 до 175 тыс. м³/час; по отдельным секциям аппарата максимальный перепад давления на всех режимах зафиксирован по сепарационной секции, а минимальный по фильтрационной; уносы ППГ с осушенным газом из абсорбера при проведении эксперимента не превышали 50 г/тыс. м³.

Систематизация результатов промышленных экспериментов позволила научно обосновать технологические схемы и характеристики процессов подготовки природного газа к дальнему транспорту. Разработаны модели образования и движения гидратов в газопроводах и массообменных аппаратах абсорбционной осушки природного газа. По результатам проведенных исследований получены следующие выводы.

Проведенный анализ абсорбционных технологий осушки газа и современного состояния оборудования показал, что необходима оптимизация параметров технологических процессов и оборудования для подготовки продукции с требуемым качеством и минимальными материально-техническими затратами.

С целью изучения комплексного влияния основных физических параметров на процесс осушки газа НГДУ "Гум адасы" были выполнены специальные промышленные исследования, основой которых является метод планирования многофакторного эксперимента. На основе экспериментальных данных получена регрессионная модель процесса осушки газа, позволяющая вычислить значение температуры точки росы в зависимости от расходов ППГ, газа и температуры контакта.

Результаты промышленных экспериментов на НГДУ "Гум адасы" позволили научно обосновать технологические схемы и характеристики процессов подготовки природного газа к дальнему транспорту. Разработаны модели образования и движения гидратов в газопроводах и массообменных аппаратах абсорбционной осушки природного газа.

ВЫВОДЫ

Разработана модель образования гидратов при течении в каналах сырого газа, основанная на уравнениях гидродинамики и теплообмена в осесимметричной постановке. Учет двумерных эффектов образования гидратов позволяет у-

считать начало образования гидратов в трубопроводах.

Разработана методика оценки выпадения конденсированной фазы при движении природного газа, использующая результаты совместного численного решения уравнений для газовой и конденсированной фаз в двумерной постановке. Расчет траекторий частиц в технологической аппаратуре показывает возможность либо абразивного износа деталей, находящихся в потоке, либо интенсивного налипания и накопления конденсированной фазы.

В технологическом плане выявлены следующие перспективные решения для предупреждения гидратообразования в аппаратах воздушного охлаждения: подача абсорбента в нижний ряд теплообменных трубок секции и рециркуляция его через АВО; распределение расхода газа с увеличением от верхнего к нижнему ряду при сохранении среднего расхода по секции.

По результатам промысловых исследований модернизированных абсорберов выявлено следующее: средняя температура точки росы на НГДУ "Гум адасы" с модернизированными абсорберами ниже на 5-7 °С, чем температура точки росы по влаге осушенного газа на выходе с абсорберов, а именно снижается от минус 20,2 °С до минус 27,1 °С при повышении расхода газа от 118 до 175 тыс. м³/час; уносы ППГ с осушенным газом из абсорбера при проведении эксперимента не превышали 50 г/тыс. м³.

Литература

- 1 Саттаров Р.М. Научно-техническое прогнозирование развития систем трубопроводного транспорта Апшеронской сети / Р.М. Саттаров, С.Л. Каплан, Т.В. Джафаров // *Хəzərneftqazıyataq-2002. Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları.* – 2002. – s.283-285.
- 2 Məlikov Ə.S., Səmədzadə N.H., Əliyeva E.Y., Abdullayev Ə.Ə., Sultanov N.N. *Qaz sənayesində axın aparatlarının istifadəsi.* – Bakı, Nafta Pres nəşriyyatı, 2007.
- 3 Гурбанов А.Н. Выбор и исследование нового ингибитора для подготовки газа к транспорту // *Нефтепромышленное дело.* – 2008. – №7. – С. 56-57.
- 4 Гурбанов А.Н. Промышленные испытания монопропиленгликоля в качестве осушителя природного газа // *Нафтогазова енергетика.* – 2011. – №1. – С. 29-33.
- 5 Истомин В.Н. Предупреждение гидратообразования в системах сбора и внутривнепромыслового транспорта углеводородного сырья / В.Н. Истомин, А.Г. Бурмистров, Б.В. Дегтярев и др. – М.: ВНИИЭГазпром, 1991. – 37 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 16.01.13

Рекомендована до друку професором Кондратом Р.М. (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) професором Расуловим А. (НИПИ «Нефтегаз», м. Баку)