

УДК 622.279

А.В. Елистратов, Ю.А. Лаухин, В.В. Миронов, Л.Г. Чикалова, Т.А. Проценко

Реконструкция установок регенерации гликоля Ямбургского НГКМ

Подготовка сеноманского газа Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) к магистральному транспорту осуществляется абсорбцией влаги высококонцентрированным раствором диэтиленгликоля (ДЭГ). Для регенерации ДЭГ используется несколько типов установок вакуумной регенерации. На УКПГ-2 (установке комплексной подготовки газа), введенной в эксплуатацию в 1986 г., регенерация абсорбента принята с паровым нагревом. На УКПГ-1, -3-7 восстановление концентрации ДЭГ производится в регенераторах колонного типа со встроенным теплообменником. Тепло в систему вносится в трубчатых печах с U-образными вертикальными трубами.

Проблемы эксплуатации установок регенерации Ямбургского НГКМ ранее рассматривались в публикациях специалистов ООО «Газпром добыча Ямбург» и ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ» [1-4].

При эксплуатации установок регенерации гликолей всех типов (в том числе с паровым нагревом) выявилась проблема коррозионно-эрозионного износа теплопередающих поверхностей и внутренних устройств испарителей, колонн регенерации, теплообменников, трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, изготовленных из углеродистых конструкционных сталей.

Конструкция печей с вертикальными трубами в качестве испарителей оказалась не совсем надежной и технологичной:

- испарение воды и гликоля в трубах печи вызывает усиленную эрозию конечных участков змеевика и трубопровода-коллектора от печи до колонны. Замена части труб и соединительных калачей необходима через 1-1,5 года, коллектора – каждые 3-4 года;
- вертикальный змеевик не позволяет полностью удалить продукт не только для ревизии, но и в случае аварии, что сказывается на надежности и безопасности установки;
- вследствие низких скоростей на внутренней поверхности труб (на начальных участках) образуется слой твердого осадка продуктов деструкции гликоля и солей.

При эксплуатации колонн регенерации выявились следующие проблемы:

- коррозия внутренних элементов колонны;
- коррозионно-эрозионный износ встроенных в колонны теплообменников (на УКПГ-1, -3-7), ремонт которых затруднен.

Для снижения деструкции гликоля и уменьшения коррозионно-эрозионного износа оборудования регенерации абсорбента ООО «Газпром добыча Ямбург» были реализованы следующие технические решения:

- в 2002-2005 гг. на УКПГ-1-5, -7 внедрен разработанный ООО НПП «ОКСИТ» осушитель природного газа марки «К» по ТУ 2422-003-45913229-2005, который представляет раствор ДЭГ с комплексом антикоррозионных, антивспенивающих и антиокислительных присадок и применяется в качестве добавки к основному осушителю в объемном соотношении 1/9. Использование осушителя уменьшило разложение ДЭГ и снизило коррозию конструкционных материалов в разных точках технологической схемы от 3 до 100 раз (на УКПГ-1 – в среднем с 0,624 до 0,011 мм/год, на УКПГ-2 – с 0,103 до 0,001 мм/год);

- в 2002-2003 гг. на УКПГ-4, -5, -7 внедрен процесс рециркуляции раствора гликоля через печь с жидкофазным нагревом под давлением выше упругости паров на выходе из печи и с последующим адиабатическим расширением и выпаривани-

Ключевые слова:
абсорбционная
осушка природного
газа,
установки
регенерации
гликоля,
деструкция гликоля,
эффективность
оборудования,
реконструкция.

Keywords:
natural gas glycol
dehydration,
glycol regeneration
unit,
glycol degradation,
equipment efficiency,
retrofit.

ем воды в колонне при снижении давления, что позволило избежать эрозии змеевика печи, соединительных трубопроводов, а также исключить перегрев осушителя и уменьшить его разложение;

- в 2007–2008 гг. выполнена замена U-образных змеевиков печей УКПГ-3–6 на вытые змеевики заводского изготовления;

- на УКПГ-4, -7 установлены выносные кожухотрубчатые теплообменные аппараты разработки ДОО «ЦКБН ОАО «Газпром»;

- для предотвращения коррозионно-эрозийного износа АВО (конденсаторов) внутренняя поверхность теплообменных трубок обрабатывается антикоррозионной мастикой «МЕТАКОР-Викор».

В 2011 г. для уточнения научно-инженерных решений и объемов реконструкции технологии и оборудования регенерации гли-

колей сотрудниками ООО «Газпром добыча Ямбург», ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ» были проведены исследования технологии и оборудования огневой регенерации ДЭГ на УКПГ-1, -4, -6, -7, -9 Ямбургского НГКМ.

Рассмотрим результаты проведенных исследований.

Деструкция гликоля

На всех УКПГ рН регенерированного гликоля (РДЭГ) больше 7 (рис. 1), что обусловлено добавками в гликоль присадки марки «К» или буры. На УКПГ, где применяются установки регенерации с жидкофазным нагревом абсорбента в печи (УКПГ-4, -5, -7, -9), рН рефлюкса в основном более 7. На УКПГ с установками регенерации с испарением в печи (УКПГ-1, -6) рН рефлюкса менее 5,5 (рис. 2). Аналогичный

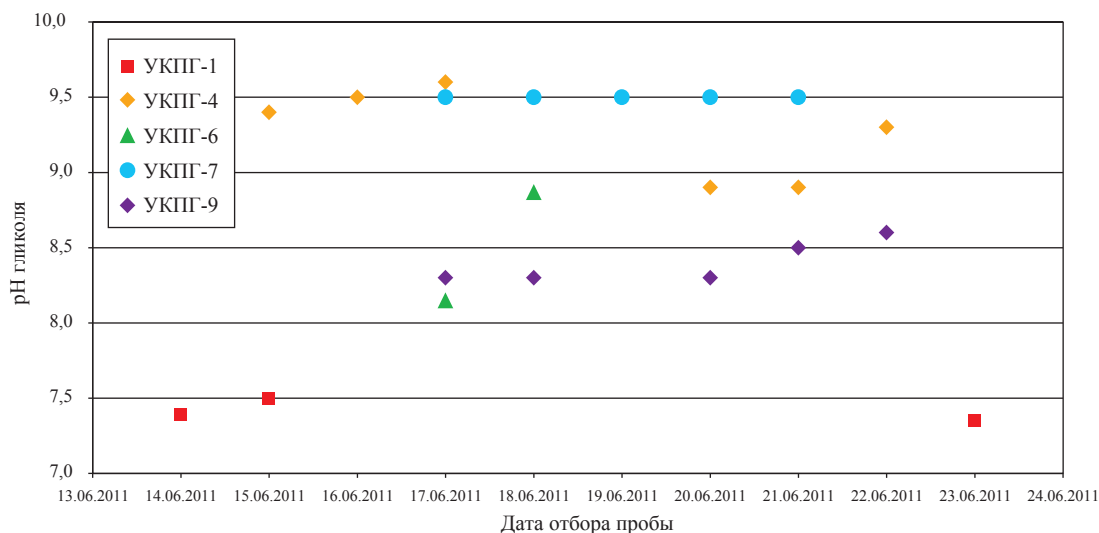


Рис. 1. pH регенерированного гликоля на УКПГ Ямбургского НГКМ

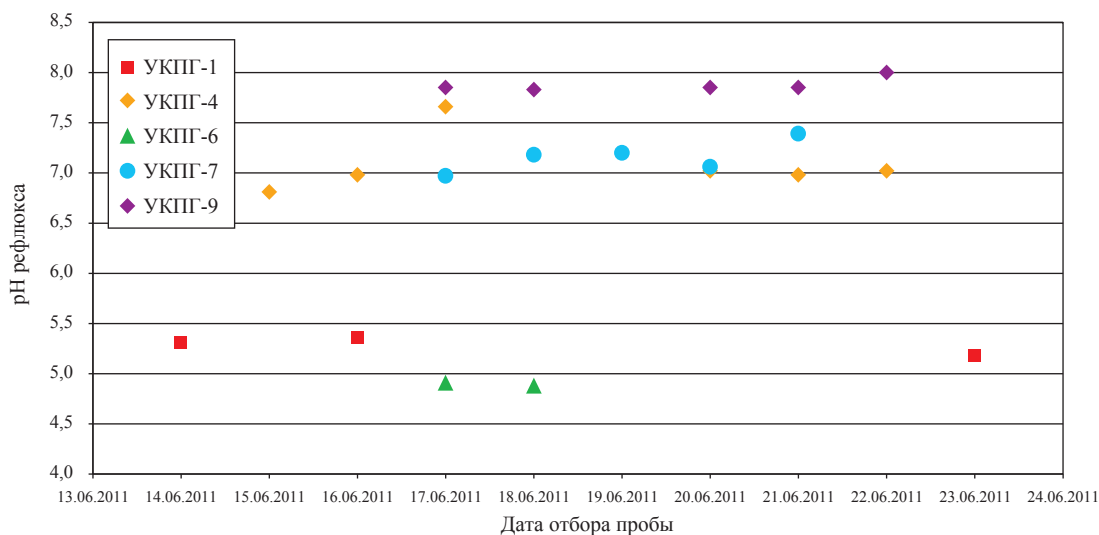


Рис. 2. pH рефлюкса на установках регенерации гликоля УКПГ Ямбургского НГКМ

эффект с рН гликоля более 7 за счет ингибирования и рН рефлюкса менее 7 имел место на установках регенерации с испарением в печах на Комсомольском месторождении [5]. Таким образом, на установках регенерации с испарением в печи происходит более интенсивная деструкция гликоля в сравнении с установками с жидкофазным нагревом. Часть продуктов деструкции при этом отгоняется вместе с водой. Добавки в гликоль ингибитора только нейтрализовали НК продукты деструкции, не отогнанные в процессе регенерации.

Более интенсивная деструкция гликоля на установках с испарением в печи обусловлена тем, что абсорбент подвергается более длительному воздействию более высоких температур в сравнении с установками с жидкофазным нагревом абсорбента [6]:

- при испарении в печи происходит общий перегрев гликоля выше значения температуры на выходе печи, по которой контролируется процесс регенерации;

- при жидкофазном нагреве ДЭГ в печи изменение температуры и давления по длине змеевика носит равномерный линейный характер. Поэтому максимальные значения температуры раствора достигаются на конечном участке, а за счет повышения коэффициента теплоотдачи (при повышенной скорости однофазного раствора гликоля в трубчатке) температура стенки со стороны продукта минимальна в сравнении с другими типами установок регенерации.

Деструкция гликоля на установках регенерации с испарением воды в печи приводит к следующим последствиям:

- отгоняемые при регенерации продукты деструкции оказывают коррозионное воздействие на внутренние устройства колонн регенерации, воздушные холодильники, трубопроводы и запорно-регулирующую арматуру;

- более интенсивный расход присадки марки «К» (буры) в сравнении с установками регенерации с жидкофазным нагревом, что подтверждается более низкими значениями рН гликоля.

Колонна регенерации

По проекту насыщенный гликоль (НДЭГ) нагревается во встроенном рекуперативном теплообменнике, частично регенерируется в колонне регенерации и с полуглухой тарелки направляется в печь, откуда после нагрева попадает в куб колонны, где происходит разделе-

ние парожидкостной смеси на РДЭГ и паровую фазу, поступающую через полуглухую тарелку в колонну.

При обследовании колонн регенерации выявлены следующие проблемы:

- на большинстве УКПГ колонны работают с перегрузкой по пару, так как количество орошения превышает количество воды, отгоняемой из гликоля, притом что колонны рассчитаны на рефлюксное число менее 0,3;

- на УКПГ-4 концентрация воды в НДЭГ на входе в печь меньше концентрации воды в НДЭГ на входе в колонну. На УКПГ-1, -7 концентрация воды в НДЭГ, направляемом в печь (на выходе из колонны), больше концентрации воды в НДЭГ на входе в колонну на 0,5–1,0 % мас. Таким образом, на УКПГ-1, -7 в колонне вместо частичной регенерации происходит обводнение гликоля и, как следствие, для установок регенерации с жидкофазным нагревом гликоля – увеличение перепада температур между выходом печи и кубом колонны и уменьшение концентрации РДЭГ;

- при приблизительно равных значениях температуры в кубе колонны регенерации концентрации воды в РДЭГ на установках регенерации с жидкофазным нагревом гликоля в печи (УКПГ-4, -7) более чем на 0,1 % мас. превосходят концентрации на установках с испарением в печи.

Основными причинами перегрузки по пару и обводнения гликоля в колонне регенерации являются:

- низкая эффективность массообменной части колонн регенерации;

- низкая эффективность теплообмена в теплообменниках установок регенерации УКПГ-1, -6, -7, температура питания колонны на которых на 10–40 °С меньше температуры питания колонны УКПГ-4.

На рис. 3–5 для одного из режимов работы установки регенерации УКПГ-7 показаны фактически замеренные рефлюксное число, разница концентраций воды в гликоле, направляемом в печь, и НДЭГ, разница температур на выходе печи и кубе колонны и расчетное изменение этих параметров в зависимости от числа теоретических тарелок (т.т.) в массообменной части колонны. Для оценки влияния рекуперации тепла на работу колонны показано изменение указанных параметров при увеличении температуры питания колонны на 10 °С. Расчеты выполнены с применением термодинамического

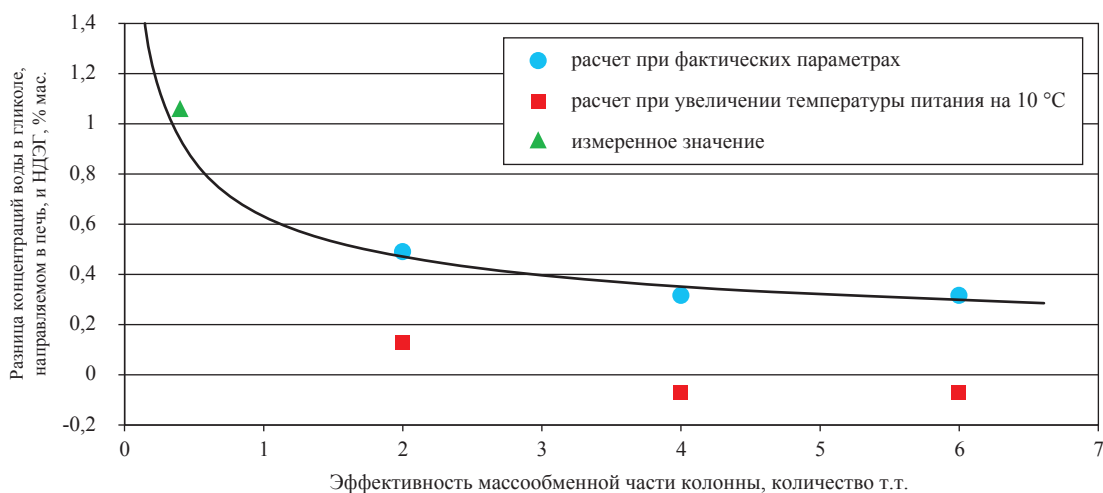


Рис. 3. Изменение разницы концентраций воды в гликоле, направляемом в печь, и насыщенном гликоле в зависимости от эффективности массообменной части колонны и рекуперации тепла (число тарелок в укрепляющей и отгонной секциях одинаково)

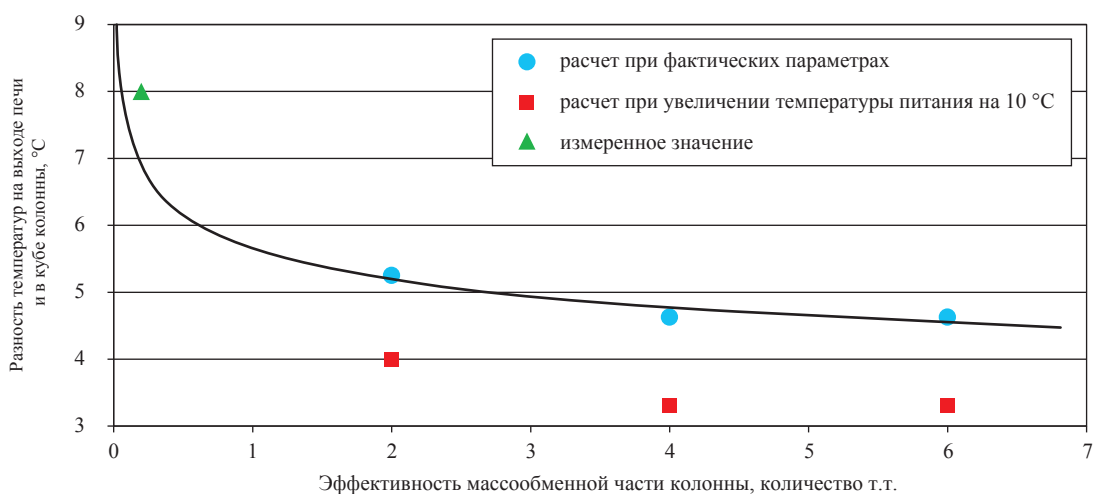


Рис. 4. Изменение разницы температур на выходе печи и в кубе колонны в зависимости от эффективности массообменной части колонны и рекуперации тепла (число тарелок в укрепляющей и отгонной секциях одинаково)

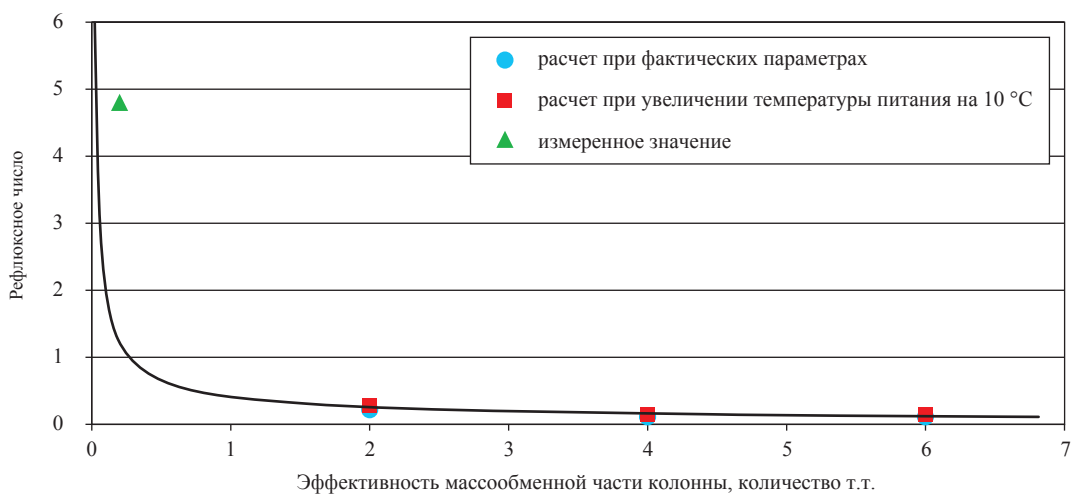


Рис. 5. Изменение рефлюксного числа в зависимости от эффективности массообменной части колонны и рекуперации тепла (число тарелок в укрепляющей и отгонной секциях одинаково)

метода для расчета фазового равновесия в системе «природный газ – вода – метанол – гликоли» [6].

Как следует из приведенных данных:

- разница концентраций воды в НДЭГ и гликоле, направляемом в печь, разница температур на выходе печи и в кубе колонны, рефлюксное число зависят от массообменной эффективности колонны регенерации и температуры питания колонны регенерации;
- эффективность массообменной части колонн на установках регенерации – менее 2 т.т. (менее 1 т.т. в укрепляющей и отгонной секциях);
- при увеличении температуры питания колонны на 10 °С разница концентраций воды в НДЭГ и гликоле, направляемом в печь, уменьшается на 0,4 % мас., а перепад температур между выходом печи и кубом колонны – на 1,2 °С.

Таким образом, по причине низкой эффективности колонны регенерации и рекуперативного теплообменника температура в кубе колонны регенерации снижается на 3–4 °С, и, соответственно, концентрация воды в РДЭГ увеличивается на 0,1 % мас.

Кроме того, в установках с жидкофазным нагревом концентрация воды в РДЭГ увеличивается на 0,1 % мас. по причине недостаточной эффективности разделения жидкой и паровой фаз в кубе колонны регенерации.

На основании результатов исследований и с учетом опыта эксплуатации в рабочей документации приняты следующие технические решения по реконструкции установок регенерации гликоля:

- перевод на жидкофазный нагрев установок регенерации на УКПГ-1, -3, -6, что позволит избежать эрозии змеевика печи и уменьшить деструкцию гликоля. При этом концентрация воды в гликоле увеличится на 0,3–0,4 % мас. в сравнении с установками с испарением в печи, но получаемые концентрации позволят обеспечить нормативное качество подготовки газа. Для минимизации осаждения солей на поверхности теплообмена скорость принудительного движения нагреваемой жидкости по литературным данным [7] должна составлять 1,5–2,5 м/с. При указанных значениях скорости обеспечиваются также минимальная температура теплопередающей

поверхности и, соответственно, минимальная деструкция гликоля в сравнении с другими типами установок регенерации гликоля;

- изготовление АВО (конденсаторов), арматуры и насосов из коррозионно-стойких конструкционных сталей для предотвращения коррозионно-эрозионного износа;
- отглушение встроенных теплообменников и установка выносных стандартных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов на УКПГ-1, -2, -3, -5, -6, как это уже реализовано на УКПГ-4, -7, что позволит:
 - улучшить теплообмен, увеличить температуру питания колонны регенерации и уменьшить концентрацию воды в РДЭГ;
 - снизить степень осаждения солей и мехпримесей и, следовательно, увеличить межревизионный и межремонтный периоды;
 - обеспечить возможность чистки и проведения ремонтных работ теплообменников;
- монтаж в кубовой части колонн узлов ввода потока из печи для улучшения разделения парожидкостной смеси, что позволит уменьшить концентрацию воды в РДЭГ.

Список литературы

1. Киченко Б.В. Проблемы коррозии и результаты коррозионного контроля в линии регенерации диэтиленгликоля на установке осушки газа УКПГ-2 Ямбургского ГКМ / Б.В. Киченко, П.Н. Пинчук, В.В. Демущкин и др. // НТИС. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – М.: ВНИИОЭНГ, 1992. – № 3. – С. 1–5.
2. Елистратов В.И. Основные технические решения для проекта реконструкции и модернизации объектов Ямбургского ГКМ / В.И. Елистратов // Проблемы повышения качества осушки газа: матер. НТС ОАО «Газпром». – М.: ИРЦ Газпром, 2000. – С. 59–78.
3. Салихов З.С. Работа установки регенерации ДЭГа в условиях падающего давления на УКПГ ЯГКМ / З.С. Салихов, Р.Х. Сулейманов, С.Д. Шиняев и др. // Технические решения по подготовке газа к транспорту на газовых и газоконденсатных месторождениях с падающей добычей: матер. НТС ОАО «Газпром». – М.: ИРЦ Газпром, 2001. – Т. II. – С. 16–22.

4. Салихов З.С. Основные проблемы промышленной подготовки газа и пути их решения в ООО «Ямбурггаздобыча» / З.С. Салихов, С.Д. Шиняев, А.А. Ершов и др. // Актуальные вопросы и научно-технические решения по технике и технологии добычи, извлечения и подготовке углеводородного на газоконденсатных месторождениях: матер. НТС ОАО «Газпром». – М.: ИРЦ Газпром, 2006. – С. 94–108.
5. Дуденков Е.В. Опыт промышленного применения триэтаноламина в системе регенерации триэтиленгликоля и использования установки дозирования химреагентов для снижения коррозии оборудования / Е.В. Дуденков // Проблемы и пути решения в добыче и подготовке углеводородного сырья к транспорту на месторождениях вступивших в стадию падающей добычи: матер. НТС ОАО «Газпром». – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – С. 159–167.
6. Истомин В.А. Применение гликолей для абсорбционной осушки природных газов. Физико-химические аспекты / В.А. Истомин, М.В. Елистратов, А.В. Елистратов. – М.: ИРЦ Газпром, 2004. – 168 с. – (Серия «Подготовка и переработка газа и газового конденсата»).
7. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / под общ. ред. Б.Н. Голубкова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1979. – 544 с.