УДК 502.3:[622.691.4+628.52]

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ВЫБРОСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Белоглазова Т.Н., Романова Т.Н.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: botinkin@yandex.ru

Система магистральных газопроводов представляет комплекс, в результате работы которого в атмосферу выбрасываются газы и пары. Дальность транспортирования увеличивает количество выбросов. Снижение и нейтрализация выбросов в атмосферу позволяет увеличить эффективность работы системы транспортирования газа по магистральным трубопроводам, уменьшить негативное влияние на окружающую среду. В статье представлены результаты анализа основных технологических процессов и оборудования при эксплуатации магистральных газопроводов, которые являются источниками выбросов в атмосферу. Выбросы вредных веществ характеризуются разным составом, переменным объемом. В статье рассмотрены наиболее характерные выбросы оборудования и дана характеристика вредных веществ. В статье представлен комплекс технологических, организационных мероприятий, которые способствуют уменьшению выбросов в атмосферу. Произведен анализ современных методов очистки выбросов в атмосферу для объектов транспортирования газа по магистральным газопроводам. Методы очистки выбросов для конкретных веществ учитывают особенности технологического процесса, их количество и состав. Представлены перспективные направления использования утилизируемой тепловой энергии.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, выбросы, атмосфера, защита атмосферы, технологические мероприятия по защите атмосферы, факельная система, термическая нейтрализация, адсорбция, каталитическая очистка

PROTECTION OF ATMOSPHERE FROM EMISSIONS DURING THE OPERATION OF TRUNK GAS PIPELINES

Beloglazova T.N., Romanova T.N.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: botinkin@yandex.ru

The system of trunk gas pipelines represents a complex, by work of which gases and vapors are emitted into the atmosphere as a result. The transportation distance leads to increasing emissions. The reduction and neutralization of emissions into the atmosphere allows increasing the efficiency of the system of gas transportation through trunk pipelines, reducing the negative impact on the environment. The article presents the results of analysis of the main technological processes and equipment during operation of trunk gas pipelines, which are sources of emissions into the atmosphere. Emissions of harmful substances are characterized by different composition and variable volume. In the article the most characteristic emissions of equipment are considered and the characteristic of harmful substances is given. The paper presents a complex of technological and organizational measures, which helps to reduce emissions. An analysis is made of modern methods for cleaning emissions into the atmosphere for gas transportation facilities along trunk gas pipelines. Methods for purification of emissions for specific substances take into account the features of the technological process, their number and composition. Perspective directions of the utilized thermal energy are presented.

Keywords: trunk gas pipelines, emissions, atmosphere, protection of the atmosphere, technological measures for the protection of the atmosphere, flare system, thermal neutralization, adsorption, catalytic purification

Процесс транспорта газа по магистральным газопроводам является важным этапом всей технологической системы газоснабжения. Комплекс технологических сооружений включает магистральные газопроводы, установки по очистке и осушке газа, компрессорные и газораспределительные станции. Система магистрального трубопроводного транспорта состоит из газопроводов и отводов, установок редуцирования, очистки газопровода оборудования компрессорных станций, запорной арматуры. Для безопасной эксплуатации предусматриваются контроль, система автоматики, телемеханизации и оперативного оповещения. Предотвращение или снижение выбросов в атмосферу при эксплуатации магистральных газопроводов приводит к улучшению состояния окружающей среды и уменьшению затрат при транспортировке газа.

Основным источником загрязнения атмосферы при транспортировке газа по магистральным трубопроводам является оборудование, предназначенное для сбора, подготовки и транспортировки газа. В состав сооружений магистральных газопроводов входят промысловый пункт сбора газа, головные сооружения, компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС), подземные хранилища газа (ПХГ), линейные сооружения [1, с. 107]. Пары углеводородов, углеводороды в газообразном состоянии попадают в атмосферу в результате технологических процес-

сов стабилизации давления в резервуарах, вследствие утечек, испарения через уплотнения и в местах соединений технологических аппаратов, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры. В результате технологических операций очищения природным газом емкостного оборудования, технологических коммуникаций, линейных участков газопровода при пуске, наладке и эксплуатации осуществляется продувка и выброс газа через свечи в атмосферу. Залповые выбросы газа в атмосферу через свечи осуществляются при остановке и пуске оборудования или отключении участков газопровода. При обслуживании технологического оборудования и систем в атмосферу имеют место выбросы углеводородов, входящих в состав природного газа, поскольку в ряде технических процессов отсутствует возможность их сбора и использования. При работе дизельных, газотурбинных установок (ГТУ), котельных агрегатов, подогревателей углеводородные выбросы в атмосферу поступают с продуктами сгорания. Выбросы углеводородов в атмосферу в результате неполного сгорания газов наблюдаются при сжигании на факельных установках горючих газов и паров. В больших количествах углеводороды поступают в атмосферу при аварийных ситуациях. Выбросы при нарушении нормального эксплуатационного режима в результате аварийных ситуаций значительно влияют на окружающую среду.

Основные способы защиты от аварийных выбросов определяются техническими решениями при разработке вновь проектируемых и реконструируемых объектов, а также обеспечиваются проведением регламентных работ по обслуживанию.

При транспортировании по магистральным газопроводам до 10% газа расходуется на технологические нужды КС. Для повышения давления в магистральных газопроводах КС устанавливаются на расстоянии до 150 км. В настоящее время общая мощность газоперекачивающих устройств КС достигает 45,9 млн кВт. ГТУ крупных КС являются источником загрязнения оксидами азота (до 140 тыс. т/год по РФ) [2]. При запуске газопререкачивающих аппаратов (ГПА) также осуществляются выбросы в атмосферу углеводородных газов. Количество природного газа, необходимого для одного запуска ГПА и выбрасываемого в атмосферу определяется на основе опытно-статистических данных, по методике СТО Газпром 11-2005.

Для защиты от гидратообразования при эксплуатации используют метанол. Резервуары для хранения метанола, одоранта, керосина являются источниками загрязнения атмосферного воздуха. На станциях охлаждения газа источником загрязнения являются пары хладагентов, аммиака.

Из резервуаров хранения газового конденсата в атмосферу углеводороды поступают вследствие испарения при изменении суточной температуры и давления наружного воздуха. Также углеводородные пары и газы выбрасываются в процессе заполнения и опорожнения резервуаров хранения при вентиляции свободного пространства емкости и через негерметичные крыши резервуаров. При длительном хранении в резервуарах выбросы наблюдаются в основном при «малых дыханиях». Максимальное выделение паров имеет место в июне – июле с 8–00 до 11–00. Резервуары оборудуются системами сокращения выбросов: синтетические понтоны, диски-отражатели, газоуравнительные системы. Выбросами заглубленных резервуаров пренебрегают. Для снижения выбросов в атмосферу сбор продуктов очистки газопровода, дренаж из аппаратов и технологических трубопроводов осуществляется в резервуары.

Вопросы защиты атмосферы связаны с технологическими характеристиками производственного процесса, химическими, физическими и токсикологическими характеристиками вредных веществ, природно-климатическими условиями, экономическими затратами на эксплуатацию систем очистки и обезвреживания выбросов.

Оксид углерода относится к 4 классу опасности. Для оксида углерода предельно допустимая максимальная разовая концентрация ($ПДК_{мр}$) составляет 5 мг/м^3, предельно допустимая концентрация среднесуточная ($ПДК_{сс}$) –3 мг/м^3. Оксид углерода образуется при неполном сжигании топлива. Диоксид углерода, образующийся при полном сжигании органического топлива, усваивается растениями, при повышении содержания в атмосфере приводит к парниковому эффекту.

Диоксид азота (NO_2) относится ко второму классу опасности, $ПДК_{мр}$ составляет 0,085 мг/м^3, $ПДК_{сс}$ – 0,04 мг/м^3. Оксиды азота относятся к токсичным веществам. Монооксид азота окисляется до диоксида азота, обладающего высокой фотохимической активностью. В атмосфере оксиды азота могут находиться достаточно долгое время и переноситься на значительные расстояния. При взаимодействии с атмосферной влагой об-

разуются азотная и азотистая кислоты. В цикле химических превращений оксидов азота в атмосфере участвуют углеводороды.

Углеводороды алифатические предельные (в пересчете на углерод) относятся к 4 классу опасности, $ПДК_{рз}$ составляет 300 мг/м^3. Метан обладает слабой реакционной способностью, легче атмосферного воздуха, относится к парниковым газам. Другие углеводороды, в присутствии оксидов азота подвергаются фотоокислению и образуют оксиданты. Углеводороды и оксиды азота при ультрафиолетовом излучении являются причиной фотохимического смога.

Выбросы перечисленных выше веществ в результате транспортировки газа по магистральным газопроводам оказывают локальное воздействие. Поэтому для защиты атмосферы широко предусматриваются мероприятия планировочного характера и технологические [3]. Места для размещения объектов выбираются в соответствии с нормативами по размерам санитарно-защитных зон (СЗЗ), благоприятного взаиморасположения предприятия и жилых массивов с учетом господствующих направлений ветров. Учитывается наличие естественных и искусственных преград между зоной жилой застройки и промышленной. При совместном выбросе углеводородов и оксидов азота необходимо предусматривать рассеивание таким образом, чтобы предотвратить возможность фотохимического смога вдоль автомобильных дорог. Планировочные мероприятия способствуют уменьшению вредных последствий выбросов, особенно имеющих циклический характер, но не приводят к снижению валовых выбросов в атмосферу.

К прогрессивным мероприятиям технологического характера относятся безотходные и малоотходные технологии на основе кооперации с различными объектами в целях уменьшения количества производственных выбросов. Данные мероприятия применяются к организованным выбросам. Наибольший эффект по нейтрализации организованных выбросов проявляется при увеличении единичной мощности агрегатов и постоянном режиме их работы. На объектах дальнего транспортирования газа предусматривается централизация источников выбросов, например объединение воздушников, свечей, сбросов от предохранительных клапанов, установка общей дымовой трубы на несколько печных агрегатов. Системы централизованного сбора выбросов загрязняющих веществ в атмосферу оборудуются системами обезвреживания. Сбор, перемещение и очистка выбросов от разрозненных объектов с небольшим количеством и незначительной концентрацией вредного вещества экономически не всегда оправдывают затраты, связанные с их обезвреживанием. Поскольку подобные выбросы являются частью технологического процесса, необходимо предусматривать совершенствование технологии, материалов, оборудования.

Для сокращения выбросов от резервуаров применяются синтетические понтоны, диски-отражатели, газоуравнительные системы, непримерзающие дыхательные клапаны. Контроль температурного режима резервуаров, укрытия над открытыми поверхностями очистных сооружений стоков и на водоблоках, максимально возможное исключение промежуточных резервуаров и сокращение операций перекачки снижает неорганизованные выбросы.

Технологические выбросы на объектах магистральных газопроводов характеризуются неравномерностью по времени и значительным изменением состава выброса. Одним из способов уменьшения вредных выбросов в атмосферу является применение современных герметичных типов арматуры, материалов фланцевых соединений; соблюдение требований норм при установке заглушек, мембран. Применяются насосы с уплотнениями, герметичные насосы; предусматривается организация герметичного налива продуктов на эстакадах, системы налива оборудуются автоматическими ограничителями уровня налива. Удаление газа от ГПА осуществляется с помощью свечей от сальников компрессорных цилиндров, из фонаря компрессорных цилиндров, из картера газомоторного двигателя. Система, объединяющая выбросы в атмосферу от рабочих предохранительных клапанов, может предусматривать сепаратор или дренажную емкость [4].

Методы улавливания и очистки газов и паров рассмотрены в работе [2]. Для обезвреживания углеводородных выбросов широко распространён метод термической нейтрализации. Для термического способа обезвреживания применяются установки факельного типа и камерные.

Организация системы термической нейтрализации для нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий разнообразна. Факельные системы применяются для сбора и нейтрализации выбросов углеводородов, поступающих при срабатывании

предохранительных клапанов, а также во время сбросов при продувке оборудования и трубопроводов. Обязательной для предприятия является общая факельная система. Необходимость устройства отдельных и специальных факельных систем определяется для конкретного оборудования при технико-экономическом обосновании [3–5]. Факельные системы обеспечивают высокую эффективность очистки при условии обеспечения температуры разложения углеводородов, достаточного времени пребывания продуктов сгорания в зоне реакции. В процессе разложения углеводородов могут образовываться вещества, которые имеют более высокую температуру разложения, чем исходные. Процесс сжигания требует определенного соотношения горючих компонентов и воздуха. Состав же компонентов, поступающих в факельную установку, не является постоянным и не имеет постоянного количества. Поэтому без использования автоматического контроля процесса сжигания эффективность термической нейтрализации может снижаться. Если в состав выброса ходят вещества, например фтор и хлор, которые в процессе термической нейтрализации могут привести к образованию токсичных продуктов реакции, необходимо предусматривать установки очистки выбросов на основе абсорбционных или адсорбционных методов. Значительному повышению эффективности процесса разложения углеводородных выбросов и предотвращению образования промежуточных вредных веществ способствует применение катализаторов. При использовании катализаторов уменьшается температура разложения, увеличивается эффективность очистки. Ограничением широкого использования термокаталитического окисления является значительная стоимость веществ, обладающих наиболее эффективными каталитическими свойствами. Одним из примеров реализации термического метода является факельный оголовок, разработанный НГДУ «Сарапул», который предназначен для сжигания попутных нефтяных газов и уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Конструкция факельной установки обеспечивает полное бездымное сгорание углеводородных газов и паров [5].

Выбор оборудования факельных систем при термической нейтрализации определяется в соответствии с нормативными документами [3, 4]. В связи с ростом цен на энергетические ресурсы на предприятиях предусматривается утилизация выбросов, содержащих углеводороды, в установках камерного типа, печах и котлах. Применение выбросов в качестве топлива дополнительного или основного приводит к необходимости модернизации газогорелочных устройств, организации топочного пространства существующего оборудования либо приобретения нового. Технологически организация экологически безопасного процесса термической нейтрализации в устройствах камерного типа и топках не представляет затруднений. Экономическая эффективность данных установок не всегда оправдана, но существенно повышается с ростом цен на энергоресурсы и платежей за выброс вредных веществ в атмосферу. Сдерживающим фактором является также отсутствие достаточного объема потребления тепловой энергии на объекте. Собственные нужды потребления тепловой энергии, как правило, ограничиваются отопительно-вентиляционной нагрузкой и нагрузкой на горячее водоснабжение. Для технологических нужд утилизация требует сложных конструктивных решений по использованию разных видов топлива, что связано с существенными экономическими затратами.

Внедрение жидкостных и каталитических нейтрализаторов, фильтрующих элементов приводит к уменьшению выбросов в атмосферу до 3,5 раз. Дополнительно можно отметить, что оксиды азота также подвергаются эффективной очистке каталитическими методами.

Для очистки промышленных выбросов в атмосферу от оксидов азота находят применение абсорбционные, адсорбционные, каталитические методы. Поскольку оксиды азота имеют низкую химическую активность и растворимость, для абсорбционной очистки промышленных выбросов применяются следующие способы: абсорбция водой с использованием для утилизации разбавленных растворов пероксида водорода с получением азотной кислоты, физическая абсорбция оксидов азота в азотной кислоте с применением катализаторов, хемосорбция щелочными растворами, селективными абсорбентами. Эффективность данных методов для слабоокисленных нитрозных газов мала. Адсорбционные методы с использованием активированных углей, имеющих высокую поглотительную активность при улавливании оксидов азота, для выбросов с высокой температурой должны учитывать возможность возгорания и малую механическую прочность. В качестве адсорбентов

для оксидов азота также применяются силикагели, алюмогели, цеолиты. Применение данных методов для оксидов азота в промышленности ограничено из-за низкой эффективности и высоких затрат. Для очистки выбросов от оксидов азота применяются каталитические и некаталитические методы: высокотемпературное каталитическое восстановление, селективное каталитическое восстановление, разложение гетерогенными восстановителями. При высокотемпературном каталитическом восстановлении используются палладий, рутений, родий, платина. Менее эффективны, но дешевле составы, содержащие никель, хром, медь, цинк, ванадий, церий. В процессе реализации данного метода образуются оксиды углерода 0,1–0,15 %. Метод применяется для низкоконцентрированных газов (до 0,5 % NO_x). Селективное каталитическое восстановление оксидов азота протекает избирательно. Восстановитель (аммиак) реагирует с оксидами азота. Продуктами реакции являются азот и вода [3]. Метод восстановления оксидов азота без катализатора, основанный на избирательном поглощении NO_x в присутствии аммиака или карбамида при температуре 900–1000 °C, достигает эффективности 90 %. Метод может широко применяться на энерготехнологическом оборудовании. При небольших объемах слабоокисленных газов метод высокотемпературного разложения NO_x является более выгодным.

В целом на объектах хранения и транспортирования по трубопроводам газа, продуктов переработки газа, нети и нефтепродуктов применяются адсорбционные и абсорбционные методы очистки выбросов от углеводородов, их паров и CO. На насосных станциях и КС для очистки выбросов местных вентиляционных систем от сальниковой арматуры применяется абсорбционный метод. В качестве абсорбера используется полый форсуночный газопромыватель, абсорбентом является вода.

Технологические и организационные мероприятия по уменьшению выбросов в атмосферу должны иметь комплексный и системный характер. Во-первых, применение современного оборудования, своевременный ремонт и реконструкция снижают опасность аварийных ситуаций и загрязнения окружающей среды. Во-вторых, применение методов очистки выбросов должно осуществляться не только из условия уменьшения вредных выбросов, но и с учетом безопасности эксплуатации, использования вторичных тепловых ресурсов, экономической эффективности. Совершенствование методов очистки выбросов и разработка очистного оборудования должны осуществляться на основе современных материалов и технологий. В-третьих, автоматизация технологических процессов, оборудование для автоматического и дистанционного контроля загазованности, комплексная автоматизация и телемеханизация позволяют повысить экологическую безопасность при эксплуатации магистральных газопроводов, газораспределительных станций, подземных хранилищ газа, способствуют снижению аварийных ситуаций. Например, применение систем автоматизации, обеспечивающих максимальную полноту сгорания в печах, на факеле обеспечивает минимальное количество вредных выбросов. В-четвертых, необходимо предусматривать утилизацию тепла, выделяемого при термической нейтрализации, а также тепла выхлопных газов ГТУ для снижения теплового загрязнения.

Перспективным направлением утилизации тепловой энергии при эксплуатации КС на магистральных газопроводах является использование тепла попутных и отходящих продуктов технологических процессов для собственных нужд и внешних потребителей. Для реализации технологии утилизации тепла ГТУ необходимо определить объекты, для которых транспортировка тепловой энергии была экономически обоснованной. Собственные нужды не позволяют в полной мере использовать потенциал утилизации тепла. Удаленные потребители требуют существенных затрат на строительство и эксплуатацию тепловых сетей. Одним из направлений утилизации тепловой энергии может являться устройство тепличных хозяйств и других объектов сельского хозяйства на минимальном нормируемом расстоянии от КС. С одной стороны, растения поглощают диоксид углерода в процессе роста и развития и нейтрализуют выбросы оксидов азота, с другой, эффективно используется тепло выхлопных газов, становится выгодным производство сельскохозяйственной продукции.

Представленный комплексный подход анализа технологии, оборудования, выбросов, современных методов очистки позволяет выявить рациональные решения по уменьшению негативного влияния магистральных газопроводов на атмосферный воздух.

Список литературы

1. Тетельмин В.В. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе: учебное пособие / В.В. Тетельмин, В.А. Язев. – Долгопрудный: Интеллект, 2009. – 351 с.

2. Сокращение выбросов оксидов азота в атмосферу на предприятиях газовой промышленности / О.Н. Кулиш [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 1. – С. 8–12.

3. ВНТП 81-85 Нормы технологического проектирования предприятий по переработке нефти и производству продуктов органического синтеза [Электронный ресурс]. – URL: http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294847/4294847589.htm (дата обращения: 16.11.17).

4. ВНТП 3-85 Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений [Электронный ресурс]. – URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/VNTP_385_Normy_texnologichesko.html (дата обращения: 16.11.17).

5. Миндуллин И.Р. Снижение выбросов загрязняющих веществ на факелах / И.Р. Миндуллин, Н.И. Зарубин // Территория Нефтегаз. – 2008. – № 10. – С. 96–99.

References

1. Tetelmin V.V. Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse: uchebnoe posobie / V.V. Tetelmin, V.A. Jazev. Dolgoprudnyj: Intellekt, 2009. 351 p.

2. Sokrashhenie vybrosov oksidov azota v atmosferu na predprijatijah gazovoj promyshlennosti / O.N. Kulish i dr. // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2010. no. 1. pp. 8–12.

3. VNTP 81-85 Normy tehnologicheskogo proektirovanija predprijatij po pererabotke nefti i proizvodstvu produktov organicheskogo sinteza [Jelektronnyj resurs]. URL: http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294847/4294847589.htm (data obrashhenija: 16.11.17).

4. VNTP 3-85 Normy tehnologicheskogo proektirovanija obektov sbora, transporta, podgotovki nefti, gaza i vody neftjanyh mestorozhdenij [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/VNTP_385_Normy_texnologichesko.html (data obrashhenija: 16.11.17).

5. Mindullin I.R. Snizhenie vybrosov zagrjaznjajushhih veshhestv na fakelah / I.R. Mindullin, N.I. Zarubin // Territorija Neftegaz. 2008. no. 10. pp. 96–99.