

**RATIONAL USE OF ASSOCIATED  
PETROLEUM GAS AND BENEFITS OF  
ELECTROSTATIC GAS CLEANING**

VALIHAN BISHIMBAEV, PH.D  
South-kazakhstan State University, Kazakhstan

FATIMA ERMAHANOVA, PH.D  
Eurasian National University, Kazakhstan

**Title:** ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА И ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗА

**UDC:** 665.0.642:547.313

**Key words:** Associated petroleum gas, electrostatic gas cleaning, ecological safety.

**Abstract:** Despite the fact that gas in the energy sector in Kazakhstan is of considerable importance, and its production scale is gradually extending, processing of associated gas has not reached an adequate dynamic. There is a need to find new ways of utilization of associated gas, introduction of new capacities enabling its processing and use. Therefore, the application of technological scheme with the use of modern compact gas turbine units for gas utilization, in conjunction with electrostatic precipitator for cleaning exhaust gas from the turbine, appears nowadays as the optimal option. This utilization of associated gas should not be a matter of prohibitions or task only of subsoil users, but should become a national priority. Only this complex approach could provide expected positive outcome.

ISSN: 1804-0527 (online) 1804-0519 (print)

PP. 134-138

Экологическая безопасность страны и улучшение условий жизни граждан в значительной мере связаны с глубокими социально-экономическими преобразованиями, происходящими в стране, количественными и качественными изменениями воздействия на окружающую среду основных отраслей экономики.

На протяжении многих десятилетий в Казахстане складывалась преимущественно сырьевая система природопользования с экстремально высокими техногенными нагрузками на окружающую среду. Поэтому кардинального улучшения экологической ситуации пока не произошло, и она по-прежнему характеризуется деградацией природных систем, что ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее способности поддерживать качество окружающей среды, необходимое для жизнедеятельности общества.

В настоящее время, в среднем по Республике Казахстан, в расчете на одного жителя, в атмосферу выбрасывается порядка 200 кг различных химических соединений в год, в то время как в 2000 году этот показатель был равен 163 кг. (Концепция, 2003).

Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются предприятия обрабатывающей промышленности, их удельный вес в общем объеме выбросов составляет 45.9%, предприятия производства и распределения электроэнергии, газа и воды - 29.1%, предприятия горнодобывающей промышленности - 14.8%, прочие предприятия - 10.2%.

Большое количество вредных веществ в воздухе в значительной степени обусловлено недостаточной оснащенностью источников загрязнения сооружениями по очистке воздуха, удельный вес оборудованных источников на сегодня составляет, в целом по республике, 9.1%. (Концепция, 2003).

Из общего объема выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ 75.4 % составляют газообразные и жидкие вещества, 24.6% - твердые. В составе газообразных и жидких выбросов 59.2% приходится на сернистый ангидрид, 20.2% - на окись углерода, 9.4% -

на окислы азота, 5.2% - на углеводороды (без летучих органических соединений), 6% - прочие газообразные вещества. (Концепция, 2003; Программа, 2004)

Загрязнение воздушного бассейна в нефтяных регионах связано с разработкой старых и освоением новых месторождений углеводородного сырья, что приводит к увеличению загрязнения атмосферы сероводородом, меркаптанами. Сжигание на факелах попутного газа сопровождается выбросом в атмосферу большого количества парниковых газов, оксидов серы и азота, вокруг месторождений формируется повышенный тепловой фон.

По результатам инвентаризации парниковых газов в Казахстане, выполненной в рамках программы "Охрана окружающей среды Республики Казахстан на 2005 - 2007 годы", установлено, что за последние 5 лет среднегодовое увеличение эмиссий парниковых газов в атмосферу составило 6.7%. Основным источником эмиссий парниковых газов в Казахстане остается энергетическая деятельность, доля которого практически не изменилась и составила в 2005 году 78.0% (АРКС, 2007ж 2008).

Ухудшение экологической обстановки в нефтедобывающих регионах страны во многом связано с ростом содержания сероводорода в попутном газе. При этом содержание сероводорода H<sub>2</sub>S в газах колеблется в широких пределах от нескольких долей до нескольких десятков процентов. Такой газ перед подачей потребителю подвергают очистке ввиду ядовитости сероводорода и его коррозионной активности. Он является также ядом для катализаторов, применяемых в различных химических процессах переработки газа.

В ряде случаев оно настолько высоко, что серьезно осложняет разработку месторождений, а в нашей стране и во все запрещается промышленная разработка нефтегазовых месторождений без утилизации попутного и (или) природного газа.

Практически все крупные разрабатываемые нефтегазовые месторождения республики имеют в

составе добываемой нефти растворенный газ с повышенным содержанием сероводорода и других сернистых соединений. К примеру, по Жанажол - Урихтауской группе месторождений содержание этого ядовитого газа колеблется от 2 до 6 %, на Карачаганакском месторождении - от 3 до 5 %, а на Тенгизском месторождении концентрация сероводорода достигает порядка 19%. (Концепция, 2003; Программа, 2004).

Поэтому, одной из главных проблем дальнейшего развития газовой отрасли является проблема очистки добываемой нефти и газа от сернистых соединений с последующей утилизацией получаемой серы, с доведением до товарного состояния и реализация на внешних рынках сбыта.

Для очистки попутных нефтяных газов используются различные методы. Его переработка в условиях роста добычи нефти и ужесточения экологических норм становится очень актуальным и ведется многими государствами. Это происходит не только из-за штрафов за сжигание попутного газа, специфика заключается в том, что попутный газ является побочным продуктом нефтедобычи, в который уже вложены затраты труда, энергии и других ресурсов, поэтому это не самый дорогой, но очень эффективный вид топлива, источник получения дешевой электрической и тепловой энергии (одна тысяча кубометров попутного газа по теплотворной способности соответствует 1,07 тонны нефтяного эквивалента) (Концепция, 2003; АРКС, 2007).

Также попутный газ является ценным химическим сырьем, из которого перерабатываются такие дефицитные вещества как: этан, пропан, бутаны, метан и другие углеводороды, являющиеся сырьем для производства нефтехимической и газохимической продукции. К примеру: из 1 тыс. м<sup>3</sup> попутного газа получается примерно 820 м<sup>3</sup> сухого газа, 200 кг ШФЛУ, до 60 кг стабильного бензина (Концепция, 2003; АРКС, 2007).

При этом переработка попутного газа - это сложный высокотехнологический процесс, требующий применения современных технологий и оборудования, интеллектуальных ресурсов и вложения значительных финансовых средств.

Промышленные способы очистки газовых выбросов от газо- и парообразных токсичных примесей можно разделить на три основные группы:

- абсорбция жидкостями;
- адсорбция твердыми поглотителями;
- каталитическая очистка.

В меньших масштабах применяются термические методы сжигания (или дожигания) горючих загрязнений, способ химического взаимодействия примесей с сухими поглотителями и окисление примесей озоном.

Выбор процесса очистки природного газа от сернистых соединений зависит от многих факторов, основными из которых являются: состав и параметры сырьевого газа, требуемая степень очистки и область использования товарного газа, наличие и параметры энергоресурсов, отходы производства и др.

Анализ мировой практики, накопленной в области очистки природных газов, показывает, что основными процессами для обработки больших потоков газа являются абсорбционные с использованием химических и физических абсорбентов и их комбинации. Окислительные и адсорбционные процессы применяют, как правило, для очистки небольших потоков газа, либо для тонкой очистки газа. (Салех и Юркив, 1997; Салех и др, 1998).

В процессах химической абсорбции применяют водные растворы поглотителей, которые вступают в обратимую реакцию с кислыми компонентами природного газа. В качестве химических поглотителей используют моноэтаноламин, диэтаноламин, дигликольамин, растворы солей щелочных металлов, растворы солей аминокислот и др. (Берлин, 1981; Середа и Муравьев, 1980).

Абсорбционные методы характеризуются непрерывностью и универсальностью процесса, экономичностью и возможностью извлечения больших количеств примесей из газов. Недостаток этого метода в том, что насадочные скрубберы, барботажные и даже пенные аппараты обеспечивают достаточно высокую степень извлечения вредных примесей (до ПДК) и полную регенерацию поглотителей только при большом числе ступеней очистки. Поэтому технологические схемы мокрой очистки, как правило, сложны, многоступенчатые и очистные реакторы (особенно скрубберы) имеют большие объемы.

Любой процесс мокрой абсорбционной очистки выхлопных газов от газо- и парообразных примесей целесообразен только в случае его цикличности и безотходности. Но и циклические системы мокрой очистки конкурентоспособны только тогда, когда они совмещены с пылеочисткой и охлаждением газа.

Адсорбционные методы применяют для различных технологических целей - разделение парогазовых смесей на компоненты с выделением фракций, осушка газов и для санитарной очистки газовых выхлопов. В последнее время адсорбционные методы выходят на первый план как надежное средство защиты атмосферы от токсичных газообразных веществ, обеспечивающее возможность концентрирования и утилизации этих веществ.

Недостатки большинства адсорбционных установок - периодичность процесса и связанная с этим малая интенсивность реакторов, высокая стоимость периодической регенерации адсорбентов. Применение непрерывных способов очистки в движущемся и кипящем слое адсорбента частично устраняет эти недостатки, но требует высокопрочных промышленных сорбентов, разработка которых для большинства процессов еще не завершена.

Каталитические методы очистки газов основаны на реакциях в присутствии твердых катализаторов, т.е. на закономерностях гетерогенного катализа. В результате каталитических реакций примеси, находящиеся в газе, превращаются в другие соединения, т. е. в отличие от рассмотренных методов примеси не извлекаются из газа, а трансформируются в безвредные соединения, присутствия которых допустимо в выхлопном газе, либо в соединения, легко удаляемые из газового потока. Если образовавшиеся вещества подлежат удалению, то

требуются дополнительные операции (например, извлечение жидкими или твердыми сорбентами).

Недостаток многих процессов каталитической очистки - образование новых веществ, которые подлежат удалению из газа другими методами (абсорбция, адсорбция), что усложняет установку и снижает общий экономический эффект. Каталитические методы применяют часто для предварительной очистки технологических газов.

Существующее многообразие методов очистки сероводорода – не только свидетельство актуальности проблемы, но и показатель того, что универсальный реагент-нейтрализатор и приемлемая технология очистки для использования непосредственно на месторождениях углеводородного сырья еще не найдены.

В последние годы наиболее эффективное и безопасное использование природных ресурсов связывают с концепцией безотходного производства, которое представляет собой такой метод производства продукции, при котором всё сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно, а любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.

Промежуточным этапом создания безотходного производства является малоотходное производство, при котором воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами, а только часть сырья и материалов может переходить в отходы. Во многих отраслях промышленности именно газоочистительная аппаратура совместно с другим технологическим оборудованием обеспечивает малоотходное производство.

Как мировой опыт показывает выше, основные традиционные методы очистки попутных газов предполагают применение невозобновляемых водных растворов различных химических поглотителей, что не столько не отвечает на современном этапе требованиям экологической безопасности, но и ввиду отсутствия их промышленного производства у нас и высокой стоимости являются затратными для любого участника нефтедобычи.

Поэтому нефтяникам, сегодня выгоднее заплатить штраф за сверхнормативное сжигание попутного газа, чем утилизировать или перерабатывать его.

По данным МООС РК, несмотря на запрет промышленной разработки нефтегазовых месторождений без утилизации попутного и (или) природного газа из 58 работающих нефтедобывающих компаний 30 еще сжигают газ на факелах (АРКС, 2008).

Это связано с тем, что многие нефтегазовые разработки осуществляются на удаленных и мелких нефтяных месторождениях. Недропользователь, получив разрешение на эксплуатацию месторождения, прежде чем начать добычу нефти, должен будет решить вопрос утилизации газа. Организация сбора и очистка попутного газа традиционными методами на таких месторождениях являются капиталоемким мероприятием, со значительными эксплуатационными затратами, размер которых делает его переработку экономически нерентабельным.

Все это обуславливает необходимость решения ряда задач, связанных с поиском новых путей утилизации добываемого попутного газа, введением новых мощностей стимулирующих его переработку и использования.

С учетом вышеизложенного, применение технологической схемы с использованием современных компактных газотурбинных установок для утилизации попутного газа совместно с электрофильтрами для очистки выхлопного газа из турбины, на сегодня является оптимальным вариантом. Современные установки предоставляют возможность полностью утилизировать попутный нефтяной газ прямо на месторождениях, обеспечить полностью электроэнергией и теплом собственные нужды, получить углеводородные газомоторные топлива и сжиженный углеводородный газ.

При этом, электрофильтры являются универсальными аппаратами для очистки промышленных газов от твердых и жидких частиц. (Ужов и Вальдберг, 1972; Ужов, 1962).

К числу преимуществ электрофильтра относятся:

- эффективно работает почти во всех промышленных процессах;
- широкий диапазон производительности - от сотен до миллионов м<sup>3</sup>/ч
- высокая степень очистки вплоть до 99,9 % и выше;
- возможность улавливания частиц размером 100-0,01 мкм и менее при их концентрации в газовом потоке от долей грамма до 50 г/куб. м и более;
- возможность совмещения с улавливанием оксидов серы;
- низкие энергетические затраты порядка 0,1-0,5 кВт/ч на 1000 куб. м газа;
- низкое гидравлическое сопротивление - 0,2 кПа;
- уловленный материал сохраняет свое первоначальное состояние;
- возможность полной автоматизации процесса улавливания.

Электростатическая очистка газов служит универсальным средством, пригодным для любых аэрозолей, включая туманы кислот, и при любых размерах частиц. Метод основан на ионизации и зарядке частиц аэрозоля при прохождении газа через электрическое поле высокого напряжения, создаваемое коронирующими электродами. Осаждение частиц происходит на заземленных осадительных электродах. Промышленные электрофильтры состоят из ряда заземленных пластин или труб, через которые пропускается очищаемый газ. Между осадительными электродами подвешены проволочные коронирующие электроды, к которым подводится напряжение 25- 100 кВ. Теоретическое выражение для степени улавливания аэрозолей в трубчатых электрофильтрах имеет вид

$$\eta = 1 - e^{-\gamma}$$

$$\gamma = \frac{2ul}{r\omega_r}$$

где  $u$  - скорость дрейфа частиц к электроду;  $l$  - длина электрода;  $r$  - радиус осадительного электрода;  $\omega$  - скорость очищаемого газа.

На рис. 1 приведены идеальные кривые зависимости степени улавливания аэрозолей в электрофилт্রে от размеров частиц. Кривые на этом рисунке отвечают разным значениям произведения  $p \cdot E \cdot EO$ , где  $p$  - коэффициент, для непроводящих частиц  $p = 1.5 \div 2$ , для

проводящих частиц  $p=3$ ;  $E$  - напряженность электрического поля;  $EO$  - критическое значение напряженности поля. Фактическая зависимость степени улавливания аэрозолей  $\eta$  от диаметра частиц  $d$  для промышленных электрофилтров определяется экспериментально. (Мутушев и Санаев, 2004; Ужов и Вальдберг, 1972; Ужов, 1962).

РИСУНОК 1. КРИВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ УЛАВЛИВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОФИЛТРЕ ОТ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ: 1 -  $pEE_o = 160$ ; 2 -  $pEE_o = 80$ ; 3 -  $pEE_o = 40$

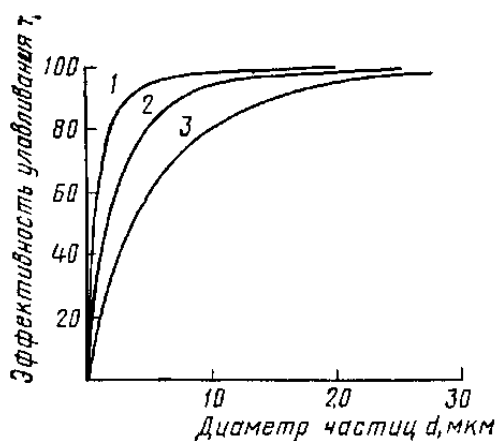
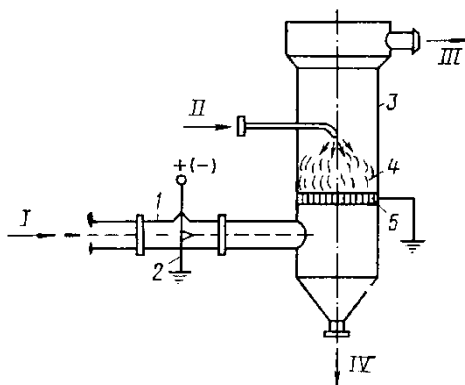


РИСУНОК 2. СХЕМА МОКРОГО ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИЕЙ:  
1 - камера электризации; 2 - коронирующий электрод; 3 - пенный аппарат; 4 - газожидкостный (пенный) слой;  
5 - заземленная решетка; I - очищаемый газ; II - вода; III - очищенный газ; IV - слив шлама



При очистке от пыли сухих газов электрофилтры могут работать в широком диапазоне температур (от 20 до 500°C) и давлений. Их гидравлическое сопротивление невелико - 100-150 Па. Степень очистки от аэрозолей - выше 90, достигая 99.9% на многопольных электрофилтрах при  $d > 1$  мкм.

Звуковая и ультразвуковая коагуляция, а также предварительная электризация пока мало применяются в промышленности и находятся в основном в стадии разработки. Они основаны на укрупнении аэрозольных частиц, облегчающем их улавливание традиционными методами. Аппаратура звуковой коагуляции состоит из генератора звука, коагуляционной камеры и осадителя.

Звуковые и ультразвуковые методы применимы для агрегирования мелкодисперсных аэрозольных частиц (тумана серной кислоты, сажи) перед их улавливанием другими методами. Начальная концентрация частиц аэрозоля для звуковой коагуляции должна быть не менее  $2 \text{ г/м}^3$  (для частиц  $d = 1\div 10 \text{ мкм}$ ).

Коагуляцию аэрозолей методом предварительной электризации производят, например, пропуская газ через электризационную камеру с коронирующими электродами, где происходит зарядка и коагуляция частиц, а затем через мокрый газоочиститель, в котором газоожидкостный слой служит осадительным электродом (Рисунок 2). Осадительным электродом может служить пенный слой в пенных аппаратах, слой газоожидкостной эмульсии в насадочных скрубберах и других мокрых газопромывателях, в которых решетки или другие соответствующие детали должны быть заземлены. (Мутушев и Санаев, 2004; Ужов и Вальдберг, 1972; Ужов, 1962).

Недостатками электростатической очистки газов являются большие затраты средств на сооружение и содержание очистных установок и значительный расход энергии на создание электрического поля. Расход электроэнергии на электростатическую очистку - 0.1-0.5 кВт на 1000 м<sup>3</sup> очищаемого газа.

Но эти недостатки можно исключить, если предусмотреть специальные мобильные электрофильтры, не требующие больших затрат на сооружение, расход электроэнергии покрыть за счет выработанных электроэнергии газотурбинной установкой.

Таким образом, кроме экологического и экономического аспектов газоочистка имеет еще один перспективный аспект - ее развитие способствует созданию новых, малоотходных совершенных технологий, технологий будущего.

Однако без государственного участия не только ограничениями и ужесточениями экологических требований к предприятиям, но и без поддержки в области нормативного обеспечения, стандартизации, субсидирования в дальнейшем трудно будет достигнуть решение вышеуказанных проблем и планомерного снижения ущерба экологии.

Многие страны сталкиваются с аналогичными проблемами, связанными с загрязнением воздуха, воды и почвы по причине схода источников загрязнения. Ключевые директивы Европейского Союза могут служить ориентиром при осуществлении реформирования природоохранной политики в Казахстане.

В последние десятилетия в странах Европейского Союза достигнуты серьезные успехи по борьбе с выбросами загрязняющих веществ, в частности, в рамках Конвенции "О трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния" от 13 ноября 1979 года. За 27 лет существования данной Конвенции наиболее важным достижением в Европе является внедрение политики снижения выбросов загрязняющих веществ. В результате осуществления протоколов данной Конвенции качество воздуха в Европе существенно улучшилось. По сравнению в 1980 г. выбросы серы уменьшились более чем на 60% по сравнению с уровнем 1990 года, выбросы оксидов азота сократились

на 25%, летучих органических соединений - на 35%, а аммиака - на 20%.

Вывод однозначен - утилизация попутного газа не должно быть следствием запрещающей нормы или задачей только недропользователей, а должно становиться общегосударственной задачей не только в решении экологических проблем, но и в создании современных малоотходных технологий. Только тогда мероприятия, нацеленные на улучшение сложившейся ситуации в совокупности должны дать положительный эффект.

#### Литература

- АРКС, 2007. Агентство по статистике РК. "Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана," Статистический сборник. Алматы, 2007.
- АРКС, 2008. О состоянии охраны атмосферного воздуха. Том 2, за 2007 год, Статистический сборник. Подготовлен Агентством РК по статистике. Алматы.
- Берлин, А., Горечейков, Г., Волков, П... 1981. Переработка нефтяных и природных газов, Москва.
- Караханов, А., 1997. "Синтез-газ как альтернатива нефти," Соросовский Образовательный Журнал, № 3, с.69-74.
- Концепция, 2003. Концепция экологической безопасности Республики Казахстан на 2004-2015 годы, 3 декабря 2003 года.
- МООС, 2008. Аналитическая справка о деятельности Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан за 2007 год, Астана.
- Мутушев, А., Санаев, И., 2004. "Снижение токсичности отработанных газов дизелей с помощью электрофильтров," Химическое и нефтяное машиностроение, № 2.
- Программа, 2004. Программа "Охрана окружающей среды Республики Казахстан на 2005-2007 годы."
- Салех, Ш., Юркив, И., 1997. Очистка низконапорных нефтяных газов от сероводорода в промышленных условиях, Волгоград: Труды ВолгоградНИПИнефть, вып. 54, с.162-73.
- Салех, Ш., Юркив, И., Диденко, Г., 1998. "Очистка углеводородных газов от сероводорода и защита окружающей среды. Поиск оценка и рациональное использование природных ресурсов. Наука, практика и перспективы," 2-я международная конференция по проблемам экологии и безопасности жизнедеятельности, Тула, с. 113-117.
- Середа, Г., Муравьев, М., 1980. Основы нефтяного и газового дела, Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп., Москва, Недра.
- Ужов, Н., Вальдберг, Ю., 1972. Очистка газов, мокрыми фильтрами. Москва, Химия.
- Ужов, В., 1962. Очистка промышленных газов электрофильтрами, Москва, Госхимиздат.