

CARBON LIMITS

Потенциал сокращения объемов выбросов метана от нефтегазовых систем Казахстана



Данный отчет подготовлен компанией Carbon Limits AS.

Название:

Потенциал сокращения объемов выбросов метана от нефтегазовых систем Казахстана

Работа завершена:

28/03/16

Проект:

Программа по сокращению выбросов метана в Казахстане

Финансирование:

ClimateWorks

Руководитель проекта:

Stephanie Saunier

Участники проекта:

Hesam Darani, Irina Isakova, Martin Gallardo Hipólito

Существующее понимание масштабов и особенностей выбросов метана в нефтегазовом секторе за пределами Северной Америки довольно ограничено. Данный факт считается общепризнанным барьером на пути разработки стратегий по снижению объемов выбросов метана. Данный отчет представляет результаты проекта по повышению качества сведений о выбросах метана и возможностях сокращения их объема в одном из значимых нефтедобывающих государств – Казахстане. Приведенный анализ основан на большом объеме данных, специфических для данной страны, а именно: (i) на результатах проведенных кампаний обнаружения и измерения выбросов метана на нефтегазодобывающих и перерабатывающих объектах, а также (ii) результатах проведенного опроса относительно распространенных практик и количества применяемого оборудования среди компаний отрасли.

По результатам проведенного исследования общая оценка объема выбросов метана на нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятиях Казахстана составляет 6,6 миллионов тонн СО₂-экв или приблизительно 12,7 миллиардов куб. футов метана в год. Данный объем может быть сокращен, по наименьшей оценке, на 1,6 миллионов тонн СО₂-экв ежегодно при негативных издержках (то есть, экономическая выгода от сбереженного газа превышает затраты на реализацию проекта).

Благодарность:

Команда проекта благодарит казахстанские организации, сотрудничавшие с проектом, за оказание всесторонней поддержки, предоставление информации и экспертного мнения при подготовке данного отчета. В частности, хотелось бы выразить особую благодарность сотрудникам КазМунайГаз, которые внесли неоценимый вклад в исследование благодаря содействию на всех стадиях реализации данного проекта.

Используемые сокращения

Bcf	Billion cubic feet	миллиард кубических футов
Bcm	Billion cubic meters	миллиард кубических метров
CAPEX	Capital expenditure	капитальные затраты
CCAC	Climate and Clean Air Coalition	Коалиция сохранения климата и чистоты воздуха
EF	Emission factor	коэффициент выброса
EPA	US Environment Protection Agency	Агентство защиты окружающей среды США
ETS	Emission Trading System	система торговли квотами на выбросы
GHG	Greenhouse gas	парниковый газ
GWP	Global warming potential	потенциал глобального потепления
IEA	International Energy Agency	Международное энергетическое агентство
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis	Международный институт прикладных системных исследований
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Межправительственный комитет по изменениям климата
KMG	KazMunayGas	КазМунайГаз
KtCO ₂ e	Thousands tons of CO ₂ equivalent	тысяча тонн CO ₂ эквивалента
MMscf	Million standard cubic feet.	миллион стандартных кубических футов
MtCO ₂ e	Million tons of CO ₂ equivalent	миллион тонн CO ₂ эквивалента
nmVOC	non-methane volatile organic compound	неметановые летучие органические частицы
OPEX	Operating expenditure	операционные расходы
tCO ₂ e	Tons of CO ₂ equivalent	тонна CO ₂ эквивалента
VRU	Vapor recovery unit	установка улавливания паров

1. Введение

1.1 Краткие сведения и обоснование проекта

Исследование, результаты которого представлены в данном отчете, проведено на средства гранта, предоставленного фондом ClimateWorks, и обусловлено существующим недостатком информации о выбросах метана и возможностях снижения их объема в нефтегазовом секторе. Несмотря на довольно высокие современные оценки объемов метановых выбросов отрасли – приблизительно 20-30% от суммарного объема выбросов метана всех секторов мировой экономики (Источники 28 и 4), а также существующий потенциал снижения данных выбросов, принято считать достаточно высоким (Источник 28) количество проведенных эмпирических исследований за пределами Северной Америки, в которых бы проводился анализ данных утверждений, остается существенно ограниченным.

Казахстан был выбран объектом данного исследования по нескольким причинам:

- Это один из крупнейших производителей нефти и газа, расположенный на стыке Европы и Азии, что благоприятствует поставкам газа в оба региона.
- Нефтегазовая отрасль Казахстана уделяет большое внимание вопросу технологических потерь и экологического ущерба, наносимых выбросами метана и демонстрирует свою готовность использовать полученные данные при разработке стратегии по снижению выбросов метана.
- Руководство Республики Казахстан также выразило интерес к данному вопросу и отметило, что проекты по снижению выбросов метана, возможно, будут включены в предстоящую программу национально определенных вкладов (NDC).

Данное исследование является частью более обширной программы, которая направлена на снижение объемов метановых выбросов в нефтегазовой отрасли Казахстана.

1.2 Краткие сведения о нефтегазовой отрасли и существующей инфраструктуре, а также климатической политике Республики Казахстан

На сегодняшний день подтвержденные запасы сырой нефти в Казахстане оценены на уровне 30 тысяч миллионов баррелей (Источник 32). Таким образом, Казахстан является вторым государством в Евразии по объему существующих запасов (после России), а также двенадцатым в мире, следуя за Соединенными Штатами. По данным 2014 года, подтвержденные запасы газа Казахстана составляют 1,5 триллионов м³ (Источник 32), большая их часть расположена на нефтяных или газоконденсатных месторождениях.

Казахстан является крупным мировым производителем нефти. Так, в 2014 году, объем добычи нефти составил около 1,7 миллионов баррелей в сутки, продолжая тенденцию последних нескольких лет (Источник 32). На сегодняшний день в Казахстане 172 нефтяных и 42 газоконденсатных месторождения, однако, добыча углеводородов сконцентрирована на двух крупнейших месторождениях – Тенгиз и Караганак. Совместно эти два месторождения поставляют на рынок около половины общего объема добываемых в стране углеводородов (Источник 32). В течение последнего десятилетия объемы производства газа в Казахстане увеличились примерно на 50% и достигли 19,3 миллиардов м³ в 2014 году.

Казахстан экспортирует природный газ в Россию напрямую с месторождения Караганак, а также посредством газопровода Центральная Азия – Центр. Казахстан также является крупной транзитной страной для углеводородного экспорта из Туркменистана и Узбекистана. Объемы

международного транзита газа, проходящего через Казахстан, в 2014 году составили 78,6 миллиардов м³ (Источник 13). Все процессы по транспортировке газа осуществляются ОАО «КазТрансГаз» (дочернее предприятие ОАО «КазМунайГаз») и аффилированными компаниями. В стране насчитывается более пятнадцати газоперерабатывающих предприятий, однако большая часть производственных мощностей сконцентрирована на нескольких из них.

Казахстан является региональным лидером по снижению антропогенного климатического воздействия. Государство приняло обязательство к 2020 году сократить выбросы парниковых газов на 15% по сравнению с уровнем 1990 года. В январе 2013 года, в Казахстане была запущена система торговли квотами на выбросы, которая включила в себя выбросы углекислого газа от энергетического сектора (в т.ч. нефтегазовую отрасль), горной и химической промышленности. В рамках данной системы, проекты, направленные на снижение выбросов метана, могут быть разработаны в качестве внутренних проектов по сокращению выбросов парниковых газов.

1.3 Цель исследования

Основываясь на результатах проведенных замеров выбросов метана, информации, предоставленной операторами Казахстана, а также данных вторичных источников информации, данное исследование направлено на разработку достоверных оценок следующих параметров:

- Объем выбросов метана от объектов добычи и переработки нефти и газа Казахстана,
- Потенциал снижения данных выбросов метана,
- Затраты на снижение выбросов метана с использованием ряда проверенных технологических решений.

Ожидается, что данный проект позволит компаниям и руководству Республики Казахстан: а) оценить значимость выбросов метана, б) определить наиболее привлекательные потенциальные проекты по снижению выбросов метана, и в) содействовать внедрению крупномасштабных технологических решений для устранения наиболее значимых источников выбросов. Кроме того, одной из целей проекта было использование примера Казахстана для того, чтобы положить начало разработке методологии по повышению качества инвентаризации выбросов метана и описанию потенциала сокращения его выбросов за пределами стран Северной Америки.

Данный отчет состоит из трех основных частей:

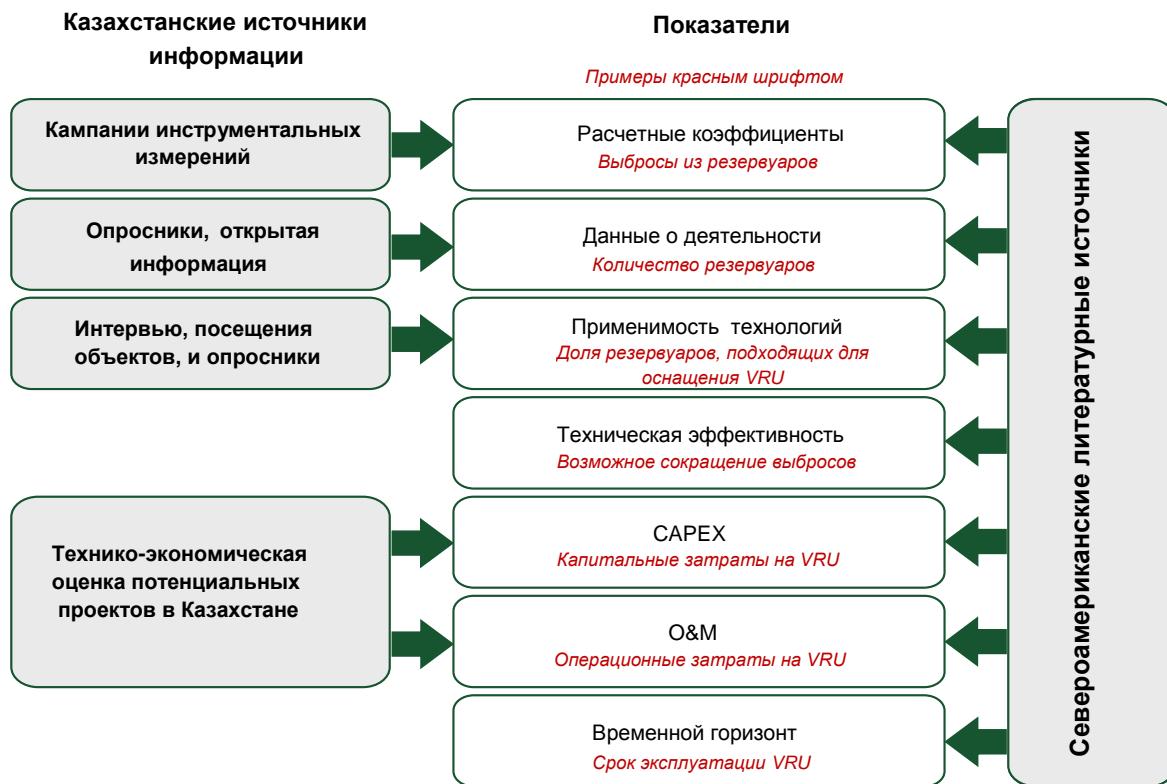
- Глава 2 поясняет источники информации, использованных в исследовании.
- Глава 3 описывает применяемую в анализе методологию.
- Глава 4 представляет основные выводы и заключения.

2. Источники информации

2.1 Краткий обзор использованных источников информации

Анализ выбросов метана и потенциала сокращения его выбросов в Казахстане опирается на новые эмпирические данные, собранные посредством кампаний по проведению инструментальных измерений, существующие казахстанские данные а также результаты международных, в первую очередь североамериканских, исследований. Кроме того, работа опирается на знания и опыт отраслевых экспертов Казахстана, обобщённые с помощью опросников, официальных и неформальных интервью. На рисунке 1 схематически представлены основные технические показатели, примененные для оценки потенциала мероприятий по сокращению выбросов метана и их затратности, а также основные источники информации, использованные для их расчета. Дополнительные источники информации описаны далее в последующих разделах этого отчета.

Рисунок 1: Схема источников информации



2.2 Казахстанские источники информации

Инструментальные измерения выбросов метана и ЛОС

Первоочередным источником национальных данных были кампании прямых полевых измерений. Осенью 2015 года компания Carbon Limits провела мероприятия по обнаружению утечек и ремонту на объектах добывающих (буровые площадки, УКПГ), перерабатывающих (компрессорные станции) и транспортных (ГРС) предприятий Казахстана. В течение двух недель команда проекта непосредственно обнаруживала, измеряла и количественно определяла потери метана и неметановых ЛОС на объектах Казахстана. Инструментальные измерения позволили лучше понять существующую инфраструктуру, общепринятые практики и техническую применимость решений по сокращению выбросов метана. Измерения охватили в общей сложности шесть крупных установок и ряд небольших рассредоточенных объектов (например, небольшие буровые площадки, газораспределительные станции и блоки). Данные измерений характеризуются несколькими ограничениями: (i) установки, охваченные измерительной кампанией не обязательно отражают всю совокупность установок в Казахстане, (ii) число охватываемых установок не позволяет использовать полученные коэффициенты выбросов как статистические наблюдения. Тем не менее, эти измерительные кампании обеспечили уникальное понимание реальных коэффициентов выбросов для различных видов оборудования, используемого в Казахстане (например, измерения охватили семь резервуаров для хранения нефти).

Интервьюирование экспертов и операторов

Тесное сотрудничество с КазМунайГаз (КМГ) предоставило возможность провести дальнейшую оценку данных о деятельности и применимости различных технологий по сокращению выбросов. Опрос и интервью с Казахстанскими экспертами и операторами позволили собрать информацию о деятельности и практиках 12 различных компаний, охватывающих более 80% транспортировки газа и переработки нефти в стране, а также около 25% добычи нефти и 14% переработки газа. Разработанный в рамках исследования опросник охватывает широкий круг вопросов, в том числе о количестве компрессоров с влажными и сухих уплотнениями, частоте продувки и гидроразрыве скважин, типах используемых контроллеров и т.д. Ответы на вопросы были обсуждены в ходе телефонных интервью или при личном общении с техническими экспертами в Казахстане, чтобы подтвердить предположения относительно существующих в стране практик.

Технико-экономическая оценка проектов по сокращению выбросов в Казахстане

В рамках сотрудничества с КМГ, Carbon Limits была проведена технико-экономическая оценка проектов по сокращению выбросов в Казахстане. Подробный технико-экономический анализ позволил получить реалистичную оценку инвестиционных и эксплуатационных затрат на внедрение технологий по сокращению выбросов. Были получены расценки ведущих поставщиков на ряд технологических решений для расчета достоверных допущений относительно капитальных затрат, а также расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Другие источники информации

Данные о деятельности были проверены на основе углубленного анализа общедоступной информации (на английском и русском языках). Она включала в себя статистические и аналитические отчеты Министерства энергетики Республики Казахстан и его департаментов (Департамент недропользования, развития нефтяной и газовой промышленности), годовые отчеты нефтегазовых компаний (КазМунайГаз, КазТрансГаз, Тенгизшевройл), а также статьи и другие публикации отраслевых ассоциаций (KAZENERGY).

2.3 Обзор литературы о факторах выбросов и лучших практиках, за пределами Казахстана

Несмотря на предпочтительность национальных данных, отражающих действительность Казахстана, существующая информация не всегда была достаточной, чтобы достоверно оценить каждое допущение. Чтобы заполнить подобные пробелы была также использована информация из литературы по Северной Америке. Среди прочих были использованы следующие источники информации:

- Сокращение выбросов парниковых газов (кроме CO₂) в мире, 2010-2030, EPA, 2014.
- Количественная оценка экономической эффективности систематического обнаружения и устранения утечек с помощью ИК-камер, Carbon Limits, 2014
- Экономический анализ возможностей сокращения выбросов метана в США на береговых месторождениях нефти и природного газа, ICF, 2014

Хотя для получения некоторых факторов выбросов использовались данные по Северной Америке, в то время как в Казахстане было проведено всего несколько таких измерений, команда проекта старалась чтобы коэффициенты основывались на информации, полученной в Казахстане и не полагалась на американские индикаторы (например, среднее количество осушителей на скважину в США).

Полный перечень предположений и источников информации, используемой для каждого предположения представлены в Приложении 1.

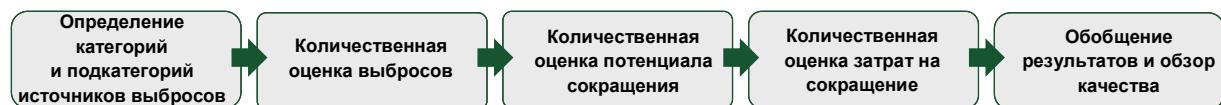
3. Подход и методология

3.1 Обзор

На рисунке ниже представлен обзор методологии данного исследования. На первом этапе процесса команда проекта определила категории выбросов и подкатегории, имеющие значение для Казахстана. Затем выбросы были количественно оценены для каждой подкатегории с учетом как деятельности, так и коэффициентов выбросов.

Ключевая часть исследования состояла в том, чтобы максимально точно задокументировать выбросы в стране, используя ответы на вопросы анкет, результаты измерительных кампаний, а также консультаций с экспертами нефтегазовой отрасли страны. При необходимости, технологии сокращения выбросов, если такие были доступны, были согласованы для каждой подкатегории выбросов. Также были оценены потенциал снижения выбросов и затратность их сокращения. Наконец, результаты были обобщены, а их качество – проверено.

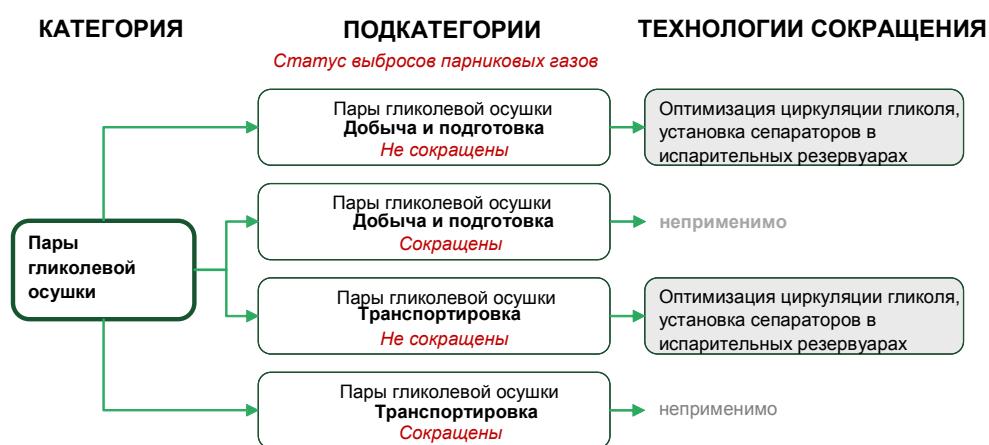
Рисунок 2: Обзор использованной методологии



3.2 Определение категорий и подкатегорий источников выбросов

В ходе первого этапа, источники выбросов метана были разделены на категории и подкатегории. Существующие типологии источников выбросов – ССАС, например, определяет девять основных источников выбросов – были использованы в качестве отправной точки. Такой же уровень сегрегации был впоследствии адаптирован к данным Казахстана. В соответствующих случаях (например, если выбросы ещё не были сокращены), технология сокращения была согласована для каждой подкатегории выбросов. (См. рисунок ниже)

Рисунок 3: Определение категорий и подкатегорий источников выбросов – на примере осушителя



3.3 Количественная оценка выбросов

Для каждой подкатегории выбросов i , величина объема выбросов в Казахстане была оценена (в милл. ст. футах) следующим образом:

$$\text{Выбросы}_i = \text{Коэффициент активности}_i * \text{Коэффициент выбросов}_i$$

Для каждой подкатегории источника выбросов оценивались коэффициенты деятельности, такие как количество резервуаров хранения сырой нефти или объем сжигаемого газа в газовых двигателях. Оценка коэффициентов активности была проведена, как правило, на основании (i) общего обзора литературы по Казахстану, (ii) ответов на вопросы анкет, и (iii) общего наблюдения за состоянием существующих источников выбросов во время выездной кампании и в процессе экспертных консультаций.

Информация о количестве оборудования (например, насосов и компрессоров) на многих объектах Казахстана была получена из ответов на вопросы анкетирования. Информация об объектах, не указанных в анкетах, была экстраполирована исходя из анкетных данных и типа объекта (размер, срок эксплуатации и т.д.).

Коэффициенты выбросов (объем метана, выделяемого от вида деятельности, например, млн. куб. футов на резервуар для хранения сырой нефти) были получены на основании комбинации результатов измерений и коэффициентов выбросов в современной литературе. Проведённые измерения позволили получить критически важное представление об объеме выбросов, не смотря на то, что типы объектов, затронутых исследованием были немногочисленны и не все виды категорий выбросов могли быть измерены непосредственно (например, измерительная кампания не охватила случаи утечки жидких веществ). В таких случаях были использованы коэффициенты выбросов из литературных источников и базы данных Carbon Limits (Источник 10).

3.4 Количественная оценка потенциала сокращения выбросов

Для каждой подкатегории i потенциал сокращения был оценен на основе следующего уравнения:

Потенциал сокращения $_i$ = выбросы $_i$ * применимость технологии $_i$ * эффективность сокращения,

где

Применимость технологии (в %) представляет долю общего объема выбросов отдельной подкатегории, для которой может применяться отдельная технология сокращения выбросов. Применимость была оценена экспертами на основе производственного опыта и консультаций с профессионалами нефтегазовой отрасли¹.

Эффективность сокращения (в %) представляет собой процент технически достижимого для конкретной технологии сокращения выбросов после ее внедрения. Эффективность сокращения была оценена на основе доступной литературы (Источники 3, 4 и 5).

3.5 Количественная оценка затрат на сокращение выбросов

Наконец, затратность сокращения выбросов, с точки зрения недропользователя, была оценена для каждой подкатегории i следующим образом:

$$\text{Затратность сокращения выбросов}_i = -\frac{\text{Дисконтированная сумма денежного потока на объекте}}{\text{Дисконтированные сокращения выбросов на объекте}}$$

Дисконтированный денежный поток объекта был рассчитан следующим образом:

¹ Консервативные оценки (низкая применимость) были предпочтительными и, как следствие, потенциал сокращения был, скорее всего, недооценён.

$$-CAPEX + \sum_{t=1}^T \frac{-OPEX + \text{Сэкономленный объём газа * Цена газа}}{(1 + \text{кредитная ставка})^t}$$

Наконец, сэкономленный объем газа был оценен следующим образом:

$$\text{Сэкономленный объем газа} = \frac{\text{Выбросы метана * Эффективность сокращения}}{\text{Доля метана в газовом потоке}}$$

Где

- **CAPEX** представляет собой капитальные затраты на внедрение технологии сокращения выбросов, а **OPEX** включает все изменения в операционных затратах по сравнению с предыдущими показателями. Когда это было целесообразно, оценки капитальных и операционных затрат были рассчитаны на основе данных проектов сокращения выбросов в Казахстане. Также использовалась оценка затрат из международной литературы.
- **Доля метана в газовом потоке** была оценена на основании (i) измерительных кампаний и (ii) информации о типичном составе газа в Казахстане (см. ниже).
- **Цена газа** была рассчитана для каждого под-сегмента (см. таблицу ниже) и принята за ноль, в случаях, когда сэкономленный газ не мог быть извлечён. Данные по чувствительности к цене газа представлены в конце этого документа.
- **T** обозначает срок эксплуатации технологии, который, как правило, оценивался на основе доступных международных источников (Источники 3, 4 и 5).

Таблица 1: Обзор допущений относительно цены газа и доли метана в газовом потоке

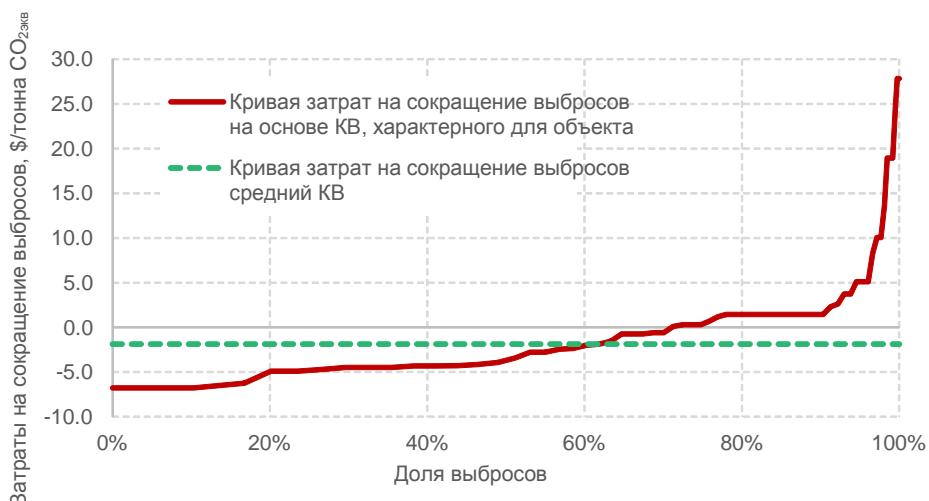
	Цена газа (долл. США/млн. ст. куб. футов)	Доля метана (%)
Добыча	2	80%
Подготовка и переработка	3	96%
Транспортировка	3	87%

Врезка: Вариативность затрат на сокращение выбросов – описание применимой методологии

Затраты на сокращение выбросов метана в нефтегазовом секторе, по своей природе, специфичны для конкретного объекта и зависят от (i) фактических коэффициентов выбросов для конкретного оборудования или объекта и (ii) затрат на реализацию проекта на конкретном объекте.

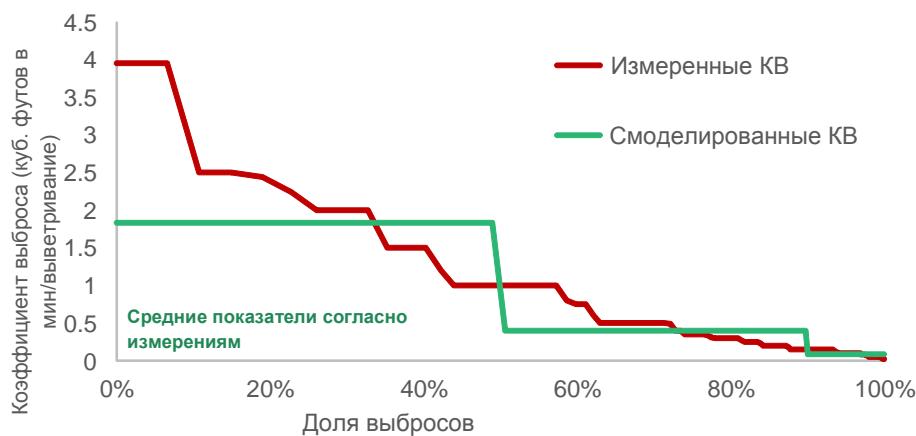
Рисунок ниже демонстрирует вариативность затрат на сокращение выбросов для 62 нагнетательных насосов в США и Канаде. Затраты на сокращение выбросов были оценены на основе средних коэффициентов выбросов и не дают представления о затратах на сокращение выбросов, характерных для значительной доли объектов. На этом примере затраты на сокращение положительны для почти 60% насосов, для которых была проведена оценка, а затраты на сокращение выбросов, рассчитанные на основе среднего коэффициента выбросов – отрицательны.

Рисунок 4: Затраты на сокращение выбросов на примере нагнетательных насосов – Северная Америка – Иллюстрация.



Для решения этой проблемы для проекта были смоделированы три разных коэффициента выбросов (KB) – средний, высокий и низкий. На графике ниже показан смоделированный KB по сравнению с измеренным KB. Значимость каждого из трёх KB (т.е. доля общего объёма выбросов, соответствующая KB) была оценена на основе типичного распределения KB в Северной Америке.

Рисунок 5: Распределение KB – реальные данные по сравнению со смоделированными – иллюстрация на основе 152 измерений штоковых уплотнений в Северной Америке²



Вариативность капитальных затрат также была смоделирована для трёх уровней (среднего,

² Подход был опробован на восьми распределениях KB согласно измерениям, проведённым в США и Канаде.

низкого и высокого), которые были приняты за равновероятностные.³

Таким образом была построена кривая затрат на сокращение выбросов для каждой подкатегории выбросов. Рисунок 6 иллюстрирует распределение затрат на сокращение выбросов для насосов для нагнетания химреагентов в Казахстане.

Рисунок 6: Распределение КВ – реальные по сравнению с смоделированными – иллюстрация на основе 152 отвод паров штокового уплотнения в Северной Америке⁴



3.6 Обобщение результатов и проверка качества

Выбросы, потенциал и затратность их сокращения были рассчитаны и обобщены для каждой подкатегории выбросов. Модель, разработанная для этой цели, позволяет комбинировать все допущения и задавать долю выбросов, которая может быть сокращена благодаря внедрению отдельной технологии сокращения. Затем был выполнен сравнительный анализ полученных результатов и существующего национального кадастра выбросов Казахстана и рассчитана интенсивность выбросов (выбросов в расчёте на объект добычи, например). Эти данные затем были сопоставлены с международными данными интенсивности выбросов.

3.7 Допущения и ограничения

Основой проведения настоящих оценок стали данные обширных исследований и анализа. Были приложены все усилия для того, чтобы выполнить оценку исходя из наиболее достоверных предположений. Однако, необходимо дать пояснить ряд допущений и ограничений полученных результатов.

Незатронутые источники выбросов: некоторые источники выбросов, такие как выбросы попутного газа и выбросы газов при продувке промысловых трубопроводов (систем сбора), не были отражены в данном отчете⁵ в силу недостаточности фактических данных для Республики Казахстан. Данные источники выбросов могут представлять интерес с точки зрения потенциала снижения выбросов, который подлежит оценке в будущем.

Число объектов, включенных в программу инструментальных измерений: как уже было указано выше, замеры были проведены на шести крупных и ряде малых объектов. Объекты,

³ Также была изучена вариативность эффективности технологии, однако она показала лишь небольшое влияние на распределение затрат на сокращение выбросов.

⁴ Подход был опробован на восьми распределениях КВ составленных на основании измерений, проведённых в США и Канаде.

⁵ Не включены в национальную оценку.

включенные в программу инструментальных измерений, не обязательно являются репрезентативными в отношении общего количества объектов в Республике Казахстан, а данные, полученные на таких объектах, не позволяют статистически использовать полученную информацию о коэффициентах выбросов.

Добыча на шельфе: в Казахстане объемы добычи на шельфе достаточно ограничены. Информация о выбросах, источником которых являются шельфовые объекты, не была включена в данный анализ.

Крупнейшие месторождение: в то время как для проведения данного исследования были предоставлены данные, охватывающие большую часть инфраструктуры страны, доступ к данным по двум крупнейшим месторождениям Казахстана – Тенгиз и Караганак - ограничен. Оценки, предоставленные по двум этим месторождениям, имеют определенную степень неточности.

Сравнение текущего и будущего потенциала снижения выбросов: данные по выбросам и потенциальному снижению представлены по состоянию на 2015 год. Учитывая текущую неопределенность в отношении будущего нефтяного и газового рынка, прогнозный расчет уровней выбросов в будущем не проводился.

Распределение газа: наконец, анализ охватывает данные по выбросам для объектов добычи и переработки нефти и газа, однако, данные о выбросах из распределительных систем не были включены в анализ.

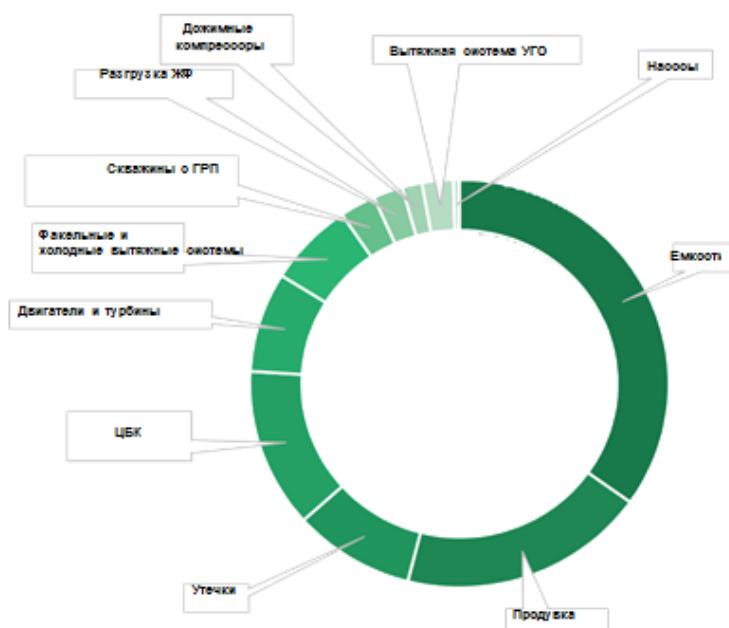
4. Результаты

4.1. Оценка выбросов

Выбросы метана на объектах добычи и переработки нефти и газа в Казахстане составляют 6,6 млн. т. СО₂ эквивалента (миллионов тон СО₂ эквивалента)⁶ или порядка 12,7 млрд. куб. футов метана в год. Большая часть выбросов (90%) приходится на факельные и выводные системы (т.е. проектные выбросы).

Ниже представлены объемы выбросов с разбивкой по источникам выбросов:

Рисунок 7: Объемы выбросов с разбивкой по категориям источников выбросов



⁶ Используя ПГП 28 на основании 5-го оценочного отчета Межправительственного комитета по изменениям климата IPCC

Ниже приведены основные выводы представленного анализа, а именно:

- Резервуарные парки являются основным источником выбросов метана в нефтегазовом секторе страны. Причиной этого могут быть высокие показатели выбросов из отдельных резервуаров хранения, что подтвердили проведенные инструментальные измерения. В свою очередь это обусловлено низким уровнем использования рекуперационных установок в стране.
- Выбросы в результате продувки и сброса паров, особенно на компрессорных установках и в ходе ремонта газотранспортных сетей, являются вторым по величине источником выбросов.
- Утечки, особенно на устаревших объектах (срок эксплуатации которых иногда насчитывает более пятидесяти лет) являются третьим по объёму источником выбросов.
- ЦБК – четвертый из наиболее значительных источников выбросов. В стране обустроена большая газотранспортная сеть, для поддержания давления в которой необходимо большое количество компрессорных станций. Многие компрессорные станции на объектах добычи и переработки нефти и газа в Казахстане оборудованы компрессорами с гидрозатворами, сброс метана из уплотнительного масла которых производится без сбора газов.
- В отличие от США и Канады, регуляторы не являются большим источником выбросов. Результаты полевых исследований, динные опросов и анкетирования, подтвердили, что в стране имеется лишь несколько регуляторов с газовыми приводами.

Сравнение с текущими учетными данными Казахстана

Согласно официальной информации Казахстана по парниковым газам, объемы неконтролируемого поступления метана в атмосферу на объектах нефтегазовой промышленности (Категория выбросов 1.B.2.) составили 3,2 млн. т. CO₂ эквивалента (ПГП 21) в 2012 году⁷ (Источник 33). Оценки, приведенные в данном исследовании, превышают официальные цифры Казахстана по выбросам парниковых газов из таких источников в 1,6 раза. В связи с указанными расхождениями можно выделить несколько гипотез:

- **Сжигание ПНГ:** на основании оценок компании Carbon Limits, официальные данные по объему выбросов CH₄ на факельных установках Казахстана основаны на средней эффективности сжигания газа 99,85%, что превышает значение эффективности сжигания газа, принятого в данном исследовании (97-99%).
- **Резервуары хранения жидкой фазы:** данное исследование показало, что резервуары хранения являются наибольшим источником выбросов, что может быть не полностью отражено в текущей национальной отчетности⁸.
- **Утечки:** наконец, утечки и непредусмотренные выбросы газа в атмосферу на объектах добычи и переработки нефти и газа могут составлять значительную долю разницы между полученными данными и национальной отчетностью.

4.2 Потенциал сокращения объемов выбросов и оценка затрат на их снижение

В целом анализ показывает, что, использование технологий сокращения выбросов парниковых газов может снизить уровень выбросов по **крайней мере**⁹ на 6,7 млрд. куб. футов метана или 3,5 млн. т CO₂ эквивалента.. Около 50% этого потенциала имеет отрицательную себестоимость, т.е. мероприятие по снижению выбросов могут быть проведены с сохранением положительного чистого текущего дохода компаний-операторов. Уровень выбросов может быть дополнительно снижен еще на 2,5 млрд. куб. футов метана или 1,3 млн. т CO₂ эквивалента при затратности на проведение таких мероприятий менее 10 долл. США /тонну CO₂ эквивалента.

⁷ Исключая распределительные сети

⁸ В текущей отчетности используется коэффициенты выбросов общепринятые для всего сектора

⁹ Некоторые технологии, к примеру, пункты сбора резервуарных газов и системы отвода без сжигания газа, не были учтены и могут представлять дополнительный потенциал для сокращения объемов выбросов

Значения, приведенные ниже, представляют потенциал сокращения объемов выбросов в зависимости от диапазона затрат на проведение мероприятий, направленных на их снижение, и категории выбросов. Установка рекуперационных блоков имеет наибольший потенциал при отрицательных затратах на проведение мероприятий по снижению выбросов. Снижение объема выбросов при сборе метана на компрессорах с гидрозатворами составит около 1 млрд. куб. футов метана и также может быть выполнено с отрицательной стоимостью. Устранение утечек и сбор метана при проведении продувок также являются крупными источниками потенциального сокращения объемов выбросов с отрицательной стоимостью.

С другой стороны, ряд источников выбросов имеет ограниченный потенциал снижения объема, выбросов или же затраты на проведение таких мероприятий сравнительно высоки. Например, сбор продуктов продувки на объектах добычи нефти и газа, снижение выбросов на установках осушки и установках разгрузки жидких фракций являются источниками, большая часть мероприятий по сокращению объемов выбросов на которых может быть проведена при затратах, превышающих 10 долл. США/тонну CO₂ эквивалента.

Рисунок 8: Потенциал сокращения объемов выбросов Казахстана исходя из диапазона затрат на проведение мероприятий по сокращению объемов выбросов

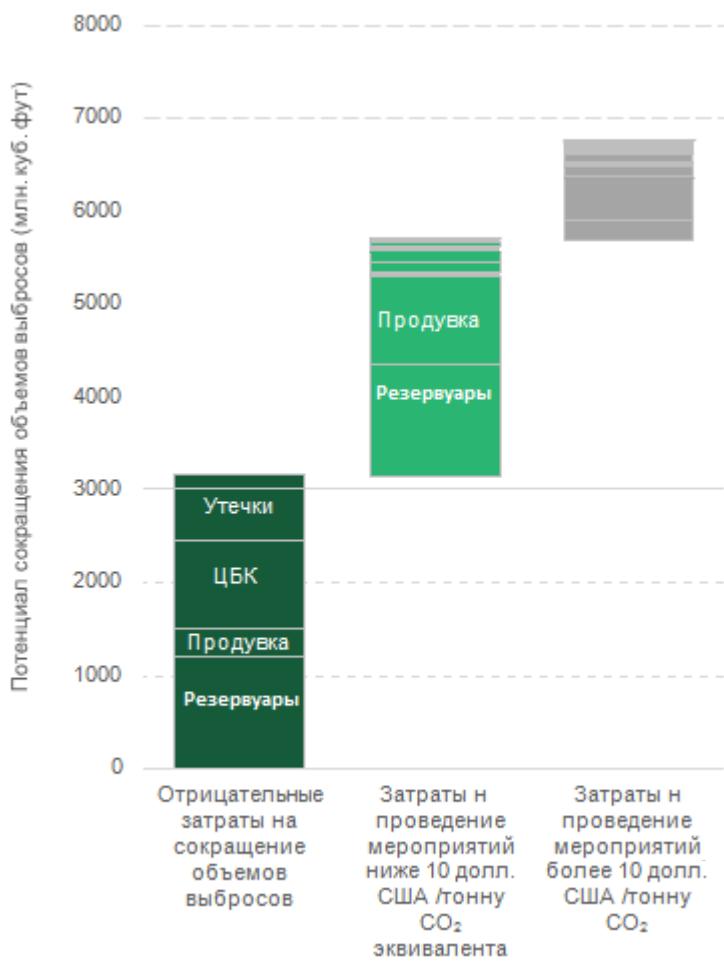


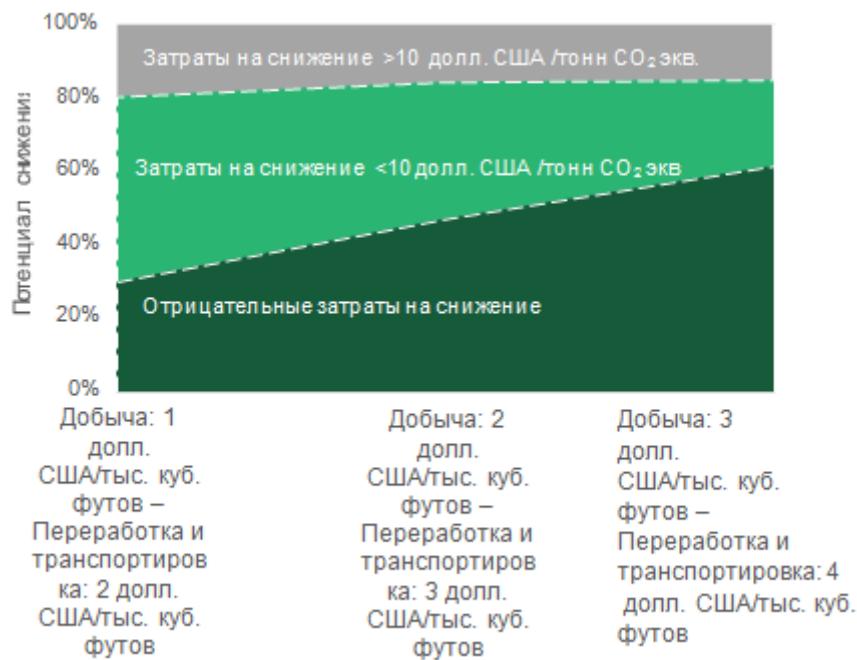
Таблица 2: Потенциал сокращения объемов выбросов Казахстана исходя из диапазона затрат на проведение мероприятий по снижению выбросов (млн. куб. футов)

Отрицательные затраты на сокращение объемов выбросов	Затраты на проведение мероприятий ниже 10 долл. США /тонну CO ₂ эквивалента	Затраты на проведение мероприятий более 10 долл. США /тонну CO ₂ эквивалента
Резервуары	1214	1185
Продувка	296	961
ЦБК	953	33
Утечки	591	106
Скважины с ГРП	0	122
Двигатели и турбины	89	14
Разгрузка жидких фракций	0	35
Сброс паров установок гликоловой осушки	0	58
Дожимные компрессоры	9	26
Насосы	27	5

4.3 Влияние цены на газ

В целом, затраты на сокращение объемов выбросов находятся под влиянием цены на газ, поскольку часть затрат на снижение выбросов предположительно компенсируется путем реализации природного газа, сэкономленного благодаря использованию технологий снижения выбросов.

Рисунок 9 Распределение затрат на сокращение объемов выбросов на основании прогнозной цены на газ



Доля потенциала сокращения объема выбросов с отрицательной стоимостью затрат на снижение выбросов (т.е., те объекты, где стоимость сэкономленного при снижении выбросов газа превышает стоимость реализации проекта) естественно увеличивается с ростом цены на

газ, см. Рисунок 9. При цене на газ, составляющей 1 долл. США/тыс. куб. футов для объектов добычи и 2 долл. США/тыс. куб. футов для объектов переработки и транспортировки, только 30% мероприятий по снижению выбросов являются экономически эффективными и не требуют дополнительных механизмов поддержания цены. Эта доля возрастает почти до 50% при увеличении цены на газ на 1 долл. США/тыс. куб. футов. Доля мероприятий по снижению выбросов с высоким уровнем затрат на мероприятия по сокращению объемов выбросов (>10 долл. США/тыс. куб. футов) остается достаточно стабильной и составляет около 20% для всего рассматриваемого диапазона цен на газ.

4.4 Заключительные комментарии

Приведенный анализ является частью расширенной метановой программы Казахстана, целью которой является создание повышение информированности о метановых выбросах на объектах нефтегазовой промышленности и способствование устойчивому снижению выбросов по всей стране. Результаты проделанной работы могут быть использованы как предприятиями нефтегазовой промышленности Казахстана, так и органами государственной власти Республики, для определения возможностей и потенциала сокращения объемов выбросов

Данный анализ также демонстрирует возможные подходы и методы оценки метановых выбросов в нефтегазодобывающей стране. Такие подходы и методы могут быть основаны как на данных измерений, проводимых на объектах, так и детальных количественных данных по оборудованию и применяемым технологиям. Результаты проведенного анализа показывают, что характер выбросов является специфичным для каждой отдельно взятой страны и в большей степени зависит от принятых в ней практик.

Приложение 1: Таблица исходных данных

Код категории	Категория	Коэффициент активности	Коэффициент активности – ед. изм.	Коэффициент активности - источник	Применимость мероприятий по сокращению объемов выбросов	Применимость мероприятий по сокращению объемов - источник	Эффективность мероприятий по сокращению объемов	Эффективность мероприятий по сокращению объемов - источник
CAT_1	Факельные системы - Добыча	26045	млн. куб. футов	Источник 8				
CAT_3	Отводы газа без скважин	69	млн. куб. футов	Источник 2 и 7				
CAT_4	Утечки Добыча	747498519	б.н.э/год	Источник 22	100%	Источник 7	60%	Источник 3
CAT_6	Утечки Переработка	459030	млн. куб. футов перерабатываемого газа	Источник 22, 33 и 7	100%	Источник 7	60%	Источник 3
CAT_8	Утечки Компрессорные станции	84	# оборудования	Источник 13	100%	Источник 7	60%	Источник 3
CAT_9	Резервуары хранения жидких фракций – не сокращены	1313	# емкостей	Источник 1	80%	Источник 7	75%	Источник 25
CAT_10	Резервуары хранения жидких фракций с УУП	146	# емкостей	Источник 1				
CAT_11	ЦБК с гидрозатвором – разведка и добыча	12	# компрессоров	Источник 1	70%	Источник 7	95%	Источник 3
CAT_12	ЦБК с гидрозатвором - Транспортировка	235	# компрессоров	Источник 1	70%	Источник 7	95%	Источник 3
CAT_13	ЦБК с сухим уплотнение	87	# компрессоров	Источник 1				
CAT_14	Малогабаритные газовые двигатели и турбины	20937	млн. куб. футов метана	Источник 7, 16 и 19	70%	Источник 7	21%	Источник 4
CAT_15	Дожимные компрессоры – разведка и добыча	350	# компрессоров	Источник 1	100%	Источник 7	35%	Источник 3
CAT_16	Дожимные компрессоры – нефтеперерабатывающие заводы	57	# компрессоров	Источник 1	100%	Источник 7	35%	Источник 3
CAT_17	Дожимные компрессоры - Транспортировка	19	# компрессоров	Источник 1	100%	Источник 7	35%	Источник 3
CAT_18	Жидкие фракции Разгрузка	4950	# мероприятий/год	Источник 1 и 12	50%	Источник 7	80%	Источник 4
CAT_19	Скважины с ГРП - сокращены	401	# мероприятий/год	Источник 1 и 7	80%	Источник 7	90%	Источник 4
CAT_20	Скважины с ГРП не сокращены	172	# мероприятия/год	Источник 1 и 7				
CAT_21	Отводы на установках осушки Переработка не сокращены	367224	производительность, млн. куб. футов	Источник 22, 33 и 7	90%	Источник 7	67%	Источник 4
CAT_22	Отводы на установках осушки Переработка сокращены	91806	производительность, млн. куб. футов	Источник 22, 33 и 7				
CAT_23	Отводы на установках осушки Транспортировка не сокращены	2220293	производительность, млн. куб. футов	Источник 13 и 7	90%	Источник 7	67%	Источник 4
CAT_24	Отводы на установках осушки Газопроводы сокращены	555073	производительность, млн. куб. футов	Источник 13 и 7				
CAT_25	Газоприводные насосы для закачки химреагентов с приводом	35	# насосов	Источник 1 и 7	80%	Источник 3, источник 7	100%	Источник 3
CAT_26	Насосы Kimray (Гликоль)	45903	производительность, млн. куб. футов/год	Источник 22	50%	Источник 3, источник 7	100%	Источник 3
CAT_27	Продувка сосудов _не сокращены	4532	#	Источник 1 и 7	70%	Источник 7	91%	Источник 26 и 4
CAT_28	Продувка ПК_ не сокращены	9064	#	Источник 1 и 7	70%	Источник 7	91%	Источник 26 и 4

CARBON LIMITS

CAT_29	Регулярная продувка компрессоров не сокращены	1203	#	Источник 1 и 7	50%	Источник 7	98%	Источник 26 и 4
CAT_30	Пусковая продувка компрессоров не сокращены	1203	#	Источник 1 и 7	50%	Источник 7	98%	Источник 26 и 4
CAT_32	Продувка ГПЗ не сокращены	16	#	Источник 14, 15	90%	Источник 4 и 7	50%	Источник 26 и 4
CAT_33	Продувка компрессорных станций не сокращены	56	#	Источник 13	70%	Источник 3	95%	Источник 3
CAT_34	Продувка магистральных трубопроводов природного газа не сокращены	11229	км	Источник 13, Источник 7	90%	Источник 25	85%	Источник 25
CAT_35	Продувка магистральных трубопроводов природного газа не сокращены	4813	км	Источник 13, Источник 7				
CAT_36	Крупногабаритные газовые двигатели и турбины не сокращены	66999	млн. куб. футов метана	Источник 7, 16 и 19	70%	Источник 7	21%	Источник 4
CAT_37	Крупногабаритные газовые двигатели и турбины сокращены	16750	млн. куб. футов метана	Источник 7, 16 и 19				

Код категории	Категория	Средний	Низкий	Высокий	Коэффициент выбросов – ед. изм.	Коэффициент выбросов - источник
		Коэффициент выбросов	Коэффициент выбросов	Коэффициент выбросов		
CAT_1	Факельные системы - Добыча	2%	1%	5%	%	Источник 9
CAT_3	Отводы газа без скважин	100%	100%	100%	%	NA
CAT_4	Утечки Добыча	0.350	0.020	1.400	ст. куб. футов/б.н.з.	Источник 2 и 10
CAT_6	Утечки Переработка	0.190%	0.076%	0.380%	% производительности	Источник 2, 29 и 10
CAT_8	Утечки Компрессорные станции	0.76	0.25	8.31	млн. куб. футов/оборудование/год	Источник 2 и 10
CAT_9	Резервуары хранения жидких фракций – не сокращены	3.30	1.00	7.00	млн. куб. футов/емкость/год	Источник 2 и 10
CAT_10	Резервуары хранения жидких фракций с УУП	0.83	0.25	1.75	млн. куб. футов/емкость/год	Источник 2 и 10
CAT_11	ЦБК с гидрозатвором – разведка и добыча	6.00	4.00	17.58	млн. куб. футов/компрессор/год	Источник 23, 2 и 17
CAT_12	ЦБК с гидрозатвором - Транспортировка	6.00	4.00	17.58	млн. куб. футов/компрессор/год	Источник 23, 2 и 17
CAT_13	ЦБК сухим уплотнение	1.50	0.90	3.00	млн. куб. футов/компрессор/год	Источник 23 и 17
CAT_14	Малогабаритные газовые двигатели и турбины	1.0%	0.5%	2.0%	%	Источник 18 и 28
CAT_15	Дожимные компрессоры – разведка и добыча	0.42	0.09	1.93	млн. куб. футов/год	Источник 2, 10 и 23
CAT_16	Дожимные компрессоры – нефтеперерабатывающие заводы	0.64	0.16	5.91	млн. куб. футов/год	Источник 2, 10 и 23
CAT_17	Дожимные компрессоры - Транспортировка	0.74	0.11	5.00	млн. куб. футов/год	Источник 2, 10 и 23
CAT_18	Жидкие фракции Разгрузка	0.06	0.02	0.11	млн. куб. футов/мероприятие	Источник 12
CAT_19	Скважины с ГРП - сокращены	0.85	0.41	10.77	млн. куб. футов/мероприятие	Источник 20 и 21
CAT_20	Hydraulically Fractured wells не сокращены	0.08	0.04	1.08	млн. куб. футов/мероприятие	Источник 20 и 21
CAT_21	Отводы на установках осушки Переработка не сокращены	0.00021	0.00007	0.00044	млн. куб. футов/млн. ст. куб. футов производительность	Источник 23 и 10
CAT_22	Отводы на установках осушки Переработка сокращены	0.00007	0.00002	0.00014	млн. куб. футов/млн. ст. куб. футов производительность	Источник 23 и 10

CARBON LIMITS

CAT_23	Отводы на установках осушки Транспортировка не сокращены	0.00009	0.00003	0.00020	млн. куб. футов/млн. ст. куб. футов производительность	Источник 23 и 10
CAT_24	Отводы на установках осушки Газопроводы сокращены	0.00003	0.00001	0.00007	млн. куб. футов/млн. ст. куб. футов производительность	Источник 23 и 10
CAT_25	Газоприводные насосы для закачки химреагентов с приводом	0.29	0.11	0.67	млн. куб. футов/год	Источник 10, 27
CAT_26	Насосы Kimray (Гликоль)	0.00106	0.00034	0.00228	млн. куб. футов/млн. ст. куб. футов	Источник 23, 27
CAT_27	Продувка сосудов _не сокращены	0.00	0.00	0.00	млн. куб. футов/кол-во оборудования	Источник 24
CAT_28	Продувка ПК_ не сокращены	0.00	0.00	0.00	млн. куб. футов/ кол-во оборудования	Источник 24
CAT_29	Регулярная продувка компрессоров не сокращены	0.00	0.00	0.01	млн. куб. футов/ кол-во оборудования	Источник 24
CAT_30	Пусковая продувка компрессоров не сокращены	0.01	0.01	0.01	млн. куб. футов/ кол-во оборудования	Источник 24
CAT_32	Продувка ГПЗ не сокращены	4.06	1.55	10.64	млн. куб. футов/ГПЗ	Источник 1 и 24
CAT_33	Продувка компрессорных станций не сокращены	8.83	0.64	11.65	млн. куб. футов/компрессорная станция	Источник 1 и 24
CAT_34	Продувка магистральных трубопроводов природного газа не сокращены	0.16	0.06	0.15	млн. куб. футов/км	Источник 25
CAT_35	Продувка магистральных трубопроводов природного газа не сокращены	0.02	0.01	0.02	млн. куб. футов/км	Источник 25
CAT_36	Крупногабаритные газовые двигатели и турбины не сокращены	1.0%	0.5%	2.0%	%	Источник 18 и 28
CAT_37	Крупногабаритные газовые двигатели и турбины сокращены	0.8%	0.4%	1.6%	%	Источник 18 и 28

Категория, код	Категория	Описание мероприятий снижения	Средние капитальные затраты (долл. США)	Низкие капитальные затраты (долл. США)	Высокие капитальные затраты (долл. США)	Операционные затраты (долл. США)	Источник
CAT_4	Утечки Добыча	Обнаружение и устранение утечек	0	0	0	667	Источник 25
CAT_6	Утечки Переработка	Обнаружение и устранение утечек	0	0	0	5,000	Источник 25
CAT_8	Утечки Компрессорные станции	Обнаружение и устранение утечек	0	0	0	2,000	Источник 25
CAT_9	Резервуары хранения жидких фракций – не сокращены	Установка УУП	50,000	20,000	100,000	2,250	Источник 25, 3 и 4
CAT_11	Резервуары хранения жидких фракций с УУП	Система регенерации	50,000	20,000	100,000	1,500	Источник 3 и 25
CAT_12	ЦБК с гидрозатвором – разведка и добыча	Система регенерации	50,000	20,000	100,000	1,500	Источник 3 и 25
CAT_14	Малогабаритные газовые двигатели и турбины	Установка систем контроля воздуха КИП и расхода топлива	138,000	98,000	161,000	0	Источник 26
CAT_15	Дожимные компрессоры – разведка и добыча	Своевременная замена уплотнений штока	6,000	6,000	7,800	0	Источник 3, 4, 5, и 25
CAT_16	Дожимные компрессоры – нефтеперерабатывающие заводы	Своевременная замена уплотнений штока	6,000	6,000	7,800	0	Источник 3, 4, 5, и 25
CAT_17	Дожимные компрессоры - Транспортировка	Своевременная замена уплотнений штока	6,000	6,000	7,800	0	Источник 3, 4, 5, и 25
CAT_18	Жидкие фракции Разгрузка	Установка плунжер-лифта	20,000	5,646	28,400		Источник 3, 4 и 5
CAT_19	Скважины с ГРП - сокращены	Заканчивание скважин методом снижающим выбросы	0			30,038	Источник 4 и 26

CARBON LIMITS

CAT_21	Отводы на установках осушки Переработка не сокращены	Оптимизация расхода гликоля и установка испарительных резервуаров на сепараторах	9,500	6,540	20,000	50	Источник 4 и 26
CAT_23	Отводы на установках осушки Транспортировка не сокращены	Оптимизация расхода гликоля и установка испарительных резервуаров на сепараторах	9,500	6,540	20,000	50	Источник 4 и 26
CAT_25	Газоприводные насосы для закачки химреагентов с приводом	Замена газоприводных насосов для закачки химреагентов с приводом на гелио-электрические	5,000	4,000	6,000	75	Источник 3
CAT_26	Насосы Kimray (Гликоль)	Замена насосов Kimray электрическими насосами	10,000	5,000	15,000	2,000	Источник 3 и 4
CAT_27	Продувка сосудов _не сокращены	Подключение продувочных шлейфов к системам топливного газа и легенерации	2,000	2,000	2,000	0	Источник 26
CAT_28	Продувка ПК_ не устранено	Подключение продувочных шлейфов к системам топливного газа и легенерации	2,000	2,000	2,000	0	Источник 26
CAT_29	Регулярная продувка компрессоров не сокращены	Установка эжекторов на линиях сброса компрессоров	11,644	11,644	11,644	0	Источник 26
CAT_30	Продувка ГПЗ не сокращены	Установка эжекторов на линиях сброса компрессоров	11,644	11,644	11,644	0	Источник 26
CAT_32	Продувка компрессорных станций не сокращены	Установка буферных резервуаров для улавливания отходов продувки	936,150	650,970	936,150	34,987	Источник 4
CAT_33	Продувка компрессорных станций не сокращены	Реконструкция систем продувки и систем аварийного отключения	20,000	15,000	75,000	0	Источник 3, 7
CAT_34	Продувка магистральных трубопроводов природного газа не сокращены	Дренирование трубопроводов и разгрузка перед ТО - КЗ	5,000	4,000	6,000	42	Источник 25
CAT_36	Крупногабаритные газовые двигатели и турбины не сокращены	Установка контроллеров воздуха КИП и расхода топлива	138,000	98,000	161,000	0	Источник 26

Приложение 2: Библиография

Источник 1	Консолидированные анкеты анкетирования по коэффициентам активности и текущим практикам в Республике Казахстан, компания Carbon Limits, 2016 г.
Источник 2	Результаты контрольно-измерительных мероприятий в Республике Казахстан, компания Carbon Limits, 2015 г.
Источник 3	Экономический анализ потенциала снижения метановых выбросов на наземных нефтегазовых объектах США, ICF, 2014г. https://www.edf.org/sites/default/files/methane_cost_curve_report.pdf
Источник 4	Глобальное снижение выбросов парниковых газов (кроме CO2), 2010-2030 гг., Агентство по охране окружающей среды США (EPA), 2014 г. http://www3.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/nonco2mitigation/execsumm/index.html
Источник 5	Нет отходам: Разумные способы сокращения метанового загрязнения в нефтегазовой промышленности, CATF, 2014г. http://www.catf.us/resources/publications/view/206
Источник 6	Информационные материалы от поставщиков технологий – Частные беседы
Источник 7	Авторские предположения на основании проведения интервью с экспертами нефтегазовой промышленности Казахстана и опыта, приобретенного в ходе полевых исследований
Источник 8	План развития газового сектора Республики Казахстан до 2030 г., Министерство энергетики Республики Казахстан, 2014 г. http://energo.gov.kz/assets/old/uploads/files/2015/1275-rus.doc
Источник 9	Характеристики корректно спроектированных и эксплуатируемых факельных установок, EPA, 2012г., http://www3.epa.gov/airtoxics/flare/2012flaretechreport.pdf
Источник 10	Подсчитывая экономическую эффективность программ регулярного обнаружения и устранения утечек с использованием инфракрасных камер, компания Carbon Limits, 2014 г. (соответствующие базы данных) http://www.catf.us/resources/publications/view/198
Источник 12	Разгрузка жидкых фракций в нефтегазовом секторе, EPA; 2014г. http://www3.epa.gov/airquality/oilandgas/pdfs/20140415liquids.pdf
Источник 13	Официальный сайт компании «КазТрансГаз», 2015г., http://www.kaztransgas.kz/index.php/en/main-page/general-information
Источник 14	Данные МС3 по Республике Казахстан, 2011 г.
Источник 16	Официальный сайт и годовая отчетность казахского оператора, 2014-2015г.г.
Источник 17	Компрессоры в нефтегазовом секторе, EPA, 2014 г. http://www3.epa.gov/airquality/oilandgas/2014papers/20140415compressors.pdf
Источник 18	КОНТРОЛЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ СН4 И СО В ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ ГАЗОВОГО ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ОТОГЛЕНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. Ян де Вит, Кельд Йохансен, Пол Лю Хансен, Хелле Россен, Нильс Б. Расмуссе. http://www.dqc.eu/sites/default/files/filarxiv/documents/C0001_catalytic_emission_control.pdf
Источник 20	Совместно разрабатываемы скважины как крупнейший источник метановых выбросов: обзор последних аналитических материалов, Фонд защиты окружающей среды (EDF), 2014г. http://blogs.edf.org/energyexchange/files/2014/03/EDF-Co-producing-Well-Whitepaper.pdf
Источник 21	Проведение ГРП на и попутный газ на добывающих нефтяных скважинах, EPA, 2014г. http://www3.epa.gov/airquality/oilandgas/2014papers/20140415completions.pdf
Источник 22	Статистическое обозрение мировой энергетики, БП (BP), 2015г. http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
Источник 23	Дополнения к Реестру парниковых газов и фракций США, EPA, 2015г. http://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgmissions/US-GHG-Inventory-2014-Annexes.pdf
Источник 24	Метановые выбросы на объектах нефтегазовой промышленности, GRI, 1996.
Источник 25	Технико-экономический анализ выполнения пилотных проектов в Казахстане, компания Carbon Limits, 2015-2016г.г.
Источник 26	Рекомендованные технологии и практики, Программа по природному газу. http://www3.epa.gov/gasstar/tools/recommended.html
Источник 27	Окончательный отчет об определении уровней утечек на пневматических устройствах в Британской Колумбии, Prasino, 2013г. http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/stakeholder-support/reporting-regulation/pneumatic-devices/prasino_pneumatic_qhg_ef_final_report.pdf
Источник 28	Метановые и формальдегидовые выбросы газовых двигателей, Международный совет по двигателям внутреннего сгорания (CIMAC), 2014г. http://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG17/CIMAC_Position_Paper_WG17_Methane_and_Formaldehyde_Emissions_2014_04.pdf

Источник 29	Направленные, экономически эффективные проверки и поддержание контрольного потенциала на пяти ГПЗ, компрессорных станциях систем сбора и скважинах. Clearstone, 2006г.
Источник 30	Глобальные антропогенные метановые выбросы 2005–2030 г.: потенциал технического снижения и затраты. Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), 2012 г. http://www.atmos-chem-phys.net/12/9079/2012/acp-12-9079-2012.pdf
Источник 31	Нераскрытий потенциал: Снижение глобальных выбросов метана в нефтегазовых системах, Rhodium, 2015 г. http://rhg.com/reports/untapped-potential
Источник 32	Международные данные и анализ. Казахстан. Служба энергетической информации США (EIA), 2015 г. https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/Kazakhstan/kazakhstan.pdf
Источник 33	Данные реестра парниковых газов – детальные данные с разбивкой по субъектам http://unfccc.int/di/DetailedByParty/Event.do?event=go НДР: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8812.php