Министерство просвещения Российской Федерации

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение

«Гимназия № 86 с углубленным изучением иностранных языков»

городского округа город Уфа Республики Башкортостан

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Автор проекта: Мышаков И.А.

 ученик 10А класса

Руководитель: Крашенинникова

Рауза Темрхановна, учитель географии

Чернов

Сергей Дмитриевич,

учитель физики

МБОУ «Гимназии № 86»

Уфа - 2021

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc92313217)

[1 ПРИРОДНЫЙ ГАЗ 4](#_Toc92313218)

[2 ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРЫ 6](#_Toc92313219)

[2.1 Принцип работы детандер-генератора 7](#_Toc92313220)

[2.2 Схема подключения детандер-генераторов к существующей системе газораспределения 9](#_Toc92313221)

[3 ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 10](#_Toc92313222)

[3.1 Оценка потенциала по выработке электроэнергии 10](#_Toc92313223)

[3.2 Оценка экономической эффективности применения детандер-генераторов 11](#_Toc92313224)

[4 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРОВ НА ГРС НА ТЕРРИТОРИИ РФ 13](#_Toc92313225)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 14](#_Toc92313226)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 15](#_Toc92313227)

# **ВВЕДЕНИЕ**

Получение электрической энергии с применением ресурсосберегающих, экологически чистых технологий становится сегодня все более актуальным.

Одно из таких направлений – использование потенциальной энергии природного газа высокого давления магистральных газопроводов с применением детандер-генераторов. При функционировании газоснабжающих систем производится снижение давления транспортируемого природного газа путем его стравливания в дроссельных устройствах до давлений в распределительной сети. В тоже время за счет перепада давления можно получить работу и выработку электроэнергии.

Для использования физической энергии газа, получаемой за счет снижения давления газа на ГРС и ГРП, вместо традиционных дроссельных устройств целесообразно использование детандер-генераторных агрегатов (ДГА). При их использовании мы получаем не только пониженное давление, но и электроэнергию, которая вырабатывается электрогенератором, устанавливаемым за детандером. Кроме электроэнергии, при необходимости, также можно получить тепло и холод.

Цель работы: определить целесообразность применения детандер-генераторов для получения электроэнергии и возможность их размещения на территории РФ

Задачи:

1. Рассмотреть свойства природного газа и его поведение при редуцировании (снижении давления)

2. Охарактеризовать возможность выработки электроэнергии при помощи детандер-генераторов

3. Определить экономическую выгоду от использования энергии газа для выработки электроэнергии

4. Рассмотреть потенциальные возможности размещения детандер-генераторов на ГРС на территории РФ

# **1 ПРИРОДНЫЙ ГАЗ**

Природный газ — большое скопление газов, образовавшихся в недрах Земли при анаэробном разложении органических веществ. Он горюч и взрывоопасен в соотношении примерно с 10% объемом воздуха. Природный газ легче воздуха в 1,8 раз, бесцветен и не имеет запаха, эти свойства обусловлены высоким содержанием газообразных алканов (СН4 — С4Н10). В составе природного газа преобладает метан (СH4), занимающий от 70 до 98%, остальной объем заполнен его гомологами, углекислым газом, сероводородом, меркаптанами, ртутью и инертными газами.

Природный газ в пластовых условиях (условиях залегания в земных недрах) находится в газообразном состоянии — в виде отдельных скоплений (газовые залежи) или в виде газовой шапки нефтегазовых месторождений, либо в растворённом состоянии в нефти или воде. При нормальных условиях (101,325 кПа и 20 °C) природный газ находится только в газообразном состоянии. Также природный газ может находиться в кристаллическом состоянии в виде естественных газогидратов.

В настоящее время основным видом транспорта является трубопроводный. Газ под давлением 75 атм (на некоторых трубопроводах – до 120 атм) прокачивается по трубам диаметром до 1,42 м. По мере продвижения газа по трубопроводу он, преодолевая силы трения как между газом и стенкой трубы, так и между слоями газа, теряет потенциальную энергию, которая рассеивается в виде тепла. Поэтому через определённые промежутки необходимо сооружать компрессорные станции (КС), на которых газ обычно дожимается до давления от 55 до 120 атм и затем охлаждается.

Как только газ достигает области распределения, он, обычно, передается от газотранспортной компании к компании, которая обслуживает потребителей газа. Так как газ, обычно, транспортируется при давлении, во много раз превышающем, чем требуется конечному потребителю, то между трубопроводами транспорта газа и сетью его распределения установлены так называемые газораспределительные станции (ГРС). ГРС, в основном, состоит из дроссельных клапанов и подогревателей газа. Аналогичные устройства, называемые газораспределительными пунктами (ГРП), обычно, устанавливаются между сетью распределения газа и его конечными пользователями. При этом происходит резкое падение (сброс) давления на ГРС и ГРП. Газопроводы газораспределительных сетей бывают низкого (до 0,05 МПа), среднего (от 0,05 до 0,3 МПа), высокого (от 0,3 до 0,6 и от 0,6 до 1,2 МПа) давлений.

После прохождения природного газа через задвижки, фильтры, регулирующие клапаны газорегуляторных пунктов (ГРП) и газораспределительных станций (ГРС), сужения газопроводов происходит его резкое расширение. Процесс, при котором происходит необратимое превращение работы, затрачиваемой на изменение давления при движении газа, в теплоту, называется дросселированием. При дросселировании газа во всех случаях снижается температура и уменьшается относительная влажность.

При сбросе давления газа на ГРС от 7,5 до 1,2 МПа, а на ГРП – от 1,2 до 0,2 МПа помимо снижения температуры происходит расширение газа (увеличение его объема) и, соответственно, увеличение скорости его движения по газопроводу.

Использование этой энергии на ГРС и крупных ГРП возможно путем замены дроссельных клапанов турбодетандером, что позволяет генерировать электричество или произвести другую полезную работу. Однако следует отметить, что при этом часть этой энергии должна быть затрачена на подогрев газа. Подогрев газа повышает его внутреннюю энергию и, тем самым, мощность турбодетандера. Повышается также КПД турбодетандера. Подогрев газа от 0 °С до 80 °С повышает мощность турбодетандера на 30–35 %.

# **2 ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРЫ**

Газораспределительная станция располагается в конечной точке магистрального газопровода или в конце отвода магистрального газопровода в любой месте, в основном рядом с населенным пунктами или крупными промышленным предприятиями. Для снижения давления газа в узле редуцирования, согласно современным требованиям по технологии и безопасности [14], в большинстве случаев применяют регуляторы давления газа. При этом, чтобы отрегулировать давление, используют автоматическое изменение проходного сечения трубопровода при помощи специального дросселирующего устройства. Это позволяет для транспортируемой газообразной среды снизить высокое давление на низкое.

Потенциал энергии газового потока является ресурсом, который можно преобразовать в механическую энергию. С этой точки зрения в газотранспортной системе на сегодня весьма перспективной является утилизация энергии избыточного давления природного газа в детандер-генераторе. Детандер-генератором (или турбодетандером) называется утилизационная (т.е. не потребляющая топлива) расширительная турбина, механически связанная с потребителем ее мощности, например, электрогенератором, компрессором и т.п.

Детандер (с французского détendre переводится как «ослаблять») является устройством, с помощью которого дополнительно снижают температуру газа. В современном исполнении детандер представляет собой газовую турбину, работающую на перепаде газового давления.

Детандер-генераторные агрегаты на станции понижения давления включаются параллельно узлу редуцирования газа. Подобный метод подключения детандер-генераторного агрегата (ДГА) помогает не только решить главную задачу, стоящую перед ГРС (или ГРП) – понизить давление транспортируемого газа, но и, используя энергию перепада давлений газа, произвести также и электрическую энергию. При использовании технологии ДГА происходит адиабатное расширение, в результате которого температура газа снижается существеннее, чем в процессе дросселирования. При больших перепадах давлений такое снижение может достигать величин минус 80 – 100 ℃, что также можно использовать в различных технологических процессах.

## **2.1 Принцип работы детандер-генератора**

Принцип работы агрегата заключается в том, что подаваемый в турбодетандер технологический газ через специальное направляющее устройство попадает на лопаточную турбину агрегата и вращает ее. В результате этого процесса газ снижает свою температуру и вырабатывает механическую энергию вращения, которую используют для привода генератора или компрессора. В ДГА происходит процесс трансформации внутренней энергии транспортируемого природного газа в кинетическую, а эта энергия на следующем этапе преобразуется в механическую энергию работы, которая воздействует на электрический генератор и способствует тем самым получению электрической энергии. Отработанный газ выпускается через выходной диффузор.

Турбодетандер относится к агрегатам непрерывного действия и не нуждается в электроэнергии. Конструктивно они бывают осевыми, центробежными или центростремительными. Турбодетандер состоит из полностью герметичного корпуса; лопаточного ротора; аппарата с регулируемыми соплами; направляющего устройства, оборудованного поворотными механизмами.

В зависимости от степени расширения технологического газа турбодетандеры подразделяются на активные и реактивные агрегаты. В зависимости от того, сколько ступеней имеется в агрегате, они подразделяются на одноступенчатые и многоступенчатые.

Функции детандер-генераторных агрегатов, применимых на ГРС и ГРП:

* Снижение давления природного газа (или другой газовой рабочей среды) – функция, заменяющая традиционные ГРС (ГРП) газовых сетей. Газ при этом не расходуется, энергия на работу ДГА не требуется.
* Выработка электроэнергии (мощностью 1…12 МВт)
* Выработка холода (до 10 МВт)

В целом схема детандер-генераторной установки (приложение 1) включает в себя детандер, генератор электроэнергии и оборудование, обеспечивающее его нормальную работу.

Детандер (1) представляет собой турбинный агрегат, в камере которого газ вращает рабочее колесо, при этом расширяясь и теряя давление. Во многих детандерах применяются многоступенчатые рабочие колёса осевого типа, позволяющие осуществить значительное снижение давления (в 2-3 раза и более) на одном агрегате. Вращение рабочего колеса через вал и муфту (2) передается на генератор (3), вырабатывающий электроэнергию для передачи потребителю. Детандер и генератор разделены газонепроницаемой перегородкой (4), обеспечивающей взрывозащиту электрооборудования. Смазочное масло для подшипников и торцевых лабиринтных уплотнений подается из маслобака по общей масляной обвязке (5).

Вся установка смонтирована на единой раме (6) и представляет собой блочное оборудование высокой заводской готовности.

## **2.2 Схема подключения детандер-генераторов к существующей системе газораспределения**

Рассмотрим схему установки ДГА на действующей газораспределительной станции (приложение 2). Детандер-генераторные установки (1) размещаются параллельно существующим ГРС (ГРП) и перенимают весь или часть потока редуцируемого газа.

Для предварительной очистки газа используется блок газоподготовки (2), уже имеющийся на ГРС (ГРП). Отсекающие задвижки (3) обеспечивают возможность отключения ДГА и возврата потока газа на ГРС (ГРП).

Теплообменник (4) осуществляет подогрев газа перед подачей в детандер (при необходимости). Может использоваться любой недорогой теплоноситель (дымовые газы котельной, горячая вода, пар и др.) Регулирующие клапаны (5) и (6) задействуются для выравнивания нагрузки на ДГА, в случае значительных вариаций потока газа. Вырабатываемая ДГА электроэнергия через распределительный шкаф (на схеме не показан) отправляется потребителям.

Мощность детандер-генератора зависит от количества газа, его температуры и перепада давлений.

**3 ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

## **3.1 Оценка потенциала по выработке электроэнергии**

По оценкам Минэнерго РФ, более 16 млн. жителей России находятся вне зоны централизованного электроснабжения и постоянно испытывают проблемы из-за систематических перебоев в снабжении электроэнергией и теплом, а также их дороговизны. Считается, что 2/3 территории России не пригодны для централизованного электроснабжения. Основным источником электроэнергии и тепла в труднодоступных районах являются дизельные электростанции. При этом для таких территорий стоимость топлива приближается к их полугодовым бюджетам.

Детандер-генераторы в свою очередь утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа) и достаточно просты в эксплуатации.

Ряд моделей электротурбодетандерных агрегатов (ЭТДА) с указанием возможной мощности вырабатываемой электроэнергии указана в приложении 3.

Возможности выработки электроэнергии на одной ГРС, таким образом, составляют от 1,5 МВт до 12 МВт.

## **3.2 Оценка экономической эффективности применения детандер-генераторов**

Как показывают исследования [3,4,7] инвестиционная и эксплуатационная стоимость производства электроэнергии установок ЭТДА существенно меньше, чем таких традиционных источников электроэнергии, как гидроэлектростанции (ГЭС) или теплоэлектростанции (ТЭС). Затраты на приобретение и установку турбодетандерных систем в пересчете на 1 кВт получаемой мощности при этом ниже, чем в случае с ГЭС или ТЭЦ, как минимум в 2 раза.

Оценим эффективность применения детандер-генераторов на примере расчета внедрения установки на ГРС-4 г. Москвы [8].

Полная стоимость оборудования ЭТДА-6000 (приложение 3, приложение 1) и всех затрат на проектирование, обслуживание и ввод в эксплуатацию приведены в приложении 4.

Работа ГРС ведется круглосуточно в течение 350 дней в году. 15 дней в год ПАО «Газпром» закладывает на проведение ремонтных и других регламентных работ. В среднем в течение суток (днем больше, ночью – меньше) загрузка детандер-генератора составляет 85 %. То есть средние объемы вырабатываемой электроэнергии составляют для рассматриваемого детандер-генератора ЭТДА-6000 (таблица 1) 5100 кВт в час. За 1 год вырабатывается 42840000 кВт\*ч.

Полные издержки (материальные затраты, амортизационные отчисления, прочие затраты, включая заработную плату) составляют 41 364 000 руб.

Определение себестоимости.

Расчет себестоимости электроэнергии за год:

$CC=\frac{МИ+АМ+ПЗ}{∆Э\_{выр}}= \frac{41364000}{42840000 }=0,97 руб за 1 кВт\*ч (1)$

Данные о прибыли использованы для расчета ежегодно образующегося чистого дохода (чистых поступлений).

Полный доход для 2021 года:

$ПД=О\_{ээ}∙T\_{ээ}=42840000 ∙1,5=64260000 руб./год, \left(2\right)$

Где $О\_{ээ}$ – объем реализации электроэнергии;

$T\_{ээ}-$средневзвешенный тариф на электроэнергию.

Операционная прибыль:

$ОП=ПД-ПИ =64260000-41364000=22896000 руб./год (3)$

Валовая прибыль:

$ВП=ОП-Н\_{им}, (8)$

Налог на имущество:

$Н\_{им} = \%Н\_{им}∙ СОФ, (9)$

где СОФ – стоимость основных фондов.

$Н\_{им} = 0,02∙ СОФ=1020000 руб./год$

$ВП=22896000-1020000=21876000 руб./год$

Срок окупаемости проекта:

$PP=\frac{K\_{общ}}{ЧП} (10)$

где $K\_{общ}$ – общая сумма первоначальных вложений в проект.

$PP=\frac{59000000}{21876000}=2,7 лет$

Таким образом, примерный срок окупаемости детандер-генераторной установки может составить порядка 3 лет.

# **4 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРОВ НА ГРС НА ТЕРРИТОРИИ РФ**

По состоянию на 2021 год газораспределительная система АО «Газпром газораспределение» включает распределительную сеть протяженностью 760,3 тыс. км. Технологический комплекс газораспределительной системы позволяет обеспечить природным газом население (26,5 млн квартир и частных домовладений), промышленность (31,1 тыс. объектов), коммунально-бытовой сектор (324,8 тыс. объектов), сельское хозяйство (8,7 тыс. объектов). Общий объем транспортируемого газа за 2019 год составил 220,8 млрд куб. м.

В настоящее время ПАО «Газпром» эксплуатируется более 4 тыс. ГРС. На одной только территории Республики Башкортостан в настоящее время работает 144 ГРС. Количество ГРП существенно больше и зависит от количества потребителей.

Далеко не все из существующих ГРС подходят для размещения детандер-генераторов. Причина в стоимости детандер-генераторов и сроках окупаемости. Существующие детандер-генераторы имеет смысл устанавливать на ГРС с расходом газа не менее 35000 норм. м3/ч. Таких ГРС в Башкирии 35 штук. Это не

значит, что на оставшихся ГРС установка детандер-генераторов бессмысленна. Просто окупаемость займет не 2-3 года, как обычно, а не менее 5-6 лет.

При этом процент газификации России составляет 70% [5]. В связи с этим можно сделать вывод, что количество ГРС в нашей стране, а, следовательно, и количество потенциальных источников электроэнергии, будет в дальнейшем только увеличиваться.

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На сегодняшний день, учитывая более чем 10-летний опыт применения ДГА в России и СНГ и 20-летний – в странах Европы и Америке, можно говорить о повышении интереса к этому виду генерирующего оборудования.

Следует отметить инвестиционную привлекательность данного сегмента рынка. По разным оценкам, ресурс внедрения ДГ-технологий в России и СНГ оценивается в 5000…8000 МВт – а это загрузка энергомашиностроительных предприятий на много лет, новые рабочие места. Для потребителей – это производство, прежде всего для собственных нужд, относительно дешевой, экологически чистой электроэнергии. Для ОАО «Газпром» внедрение турбо-детандерных агрегатов – экономия газа.

Кроме того, детандер-генераторы относятся к оборудованию, созданному по «бестопливным» технологиям, которые поддерживаются Киотским протоколом. Поэтому реализация этих проектов может осуществляться с привлечением средств, полученных от продажи квот на эмиссию парниковых газов. Комплексное использования бросовой энергии газа на ГРС для выработки электроэнергии и холода без сжигания топлива, т.е. экологически чистым способом, может оказаться оптимальным вариантом для получения основных ресурсов для новых центров обработки данных, развиваемых в рамках программы «Цифровая экономика РФ». Применение турбодетандеров является эффективным способом использования давления транспортируемого газа на собственные нужды объектов магистральных газопроводов, но с учетом целесообразности экономических затрат на их установку и обслуживание.

# **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агабабов В.С. Бестопливные установки для производства электроэнергии, теплоты и холода на базе детандер-генераторных агрегатов / Новости теплоснабжения // 1/2009.
2. Агабабов В.С. Способ работы детандерной установки и устройство для его осуществления / Патент на изобретение № 2150641. Россия. Бюл. № 16. 10.06.2000 г. Приоритет от 15.06.99.
3. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива [Электронный ресурс] / Д.Т.Аксенов. – Режим доступа: [www.abok.ru/for\_spec/articles.php?nid=2088](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2088) .
4. Архарова А.Ю. Разработка и анализ систем подогрева газа в детандер-генераторных установках. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: 2006
5. Гатауллина А.Р. Повышение энергоэффективности системы газоснабжения за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов. / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016.
6. Львов Д.А. Детандер-генераторный агрегат как энергосберегающая установка для газоснабжающих систем / Электронный научный журнал "Международный студенческий вестник" // 2014.
7. Меженина А.С. Использование перепада давления газа на ГРС и ГРП в качестве источника вторичных энергетических ресурсов // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 2.
8. Годовая отчетность АО «МОСГАЗ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos-gaz.ru/about/investors/reports/>