

УДК: 696.2(031);
<https://orcid.org/0000-0002-6977-9169>
<https://orcid.org/0000-0002-1490-338>

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ



М.Ж. СЕКСЕНБАЙ¹,
 кандидат технических наук,
 ассоциированный
 профессор,
seksenbay1961@gmail.com



М. МАХАНОВ²,
 кандидат технических наук,
 ассоциированный
 профессор,
m.mahanoff@yandex.ru

¹ҚАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ИРРИГАЦИИ,
 Республика Казахстан, 080015, г.Тараз, ул. Сатпаева, 28

²ЕВРАЗИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,
 Республика Казахстан, 050043, г. Алматы, ул. Толе-би, 109 Б

Сделан обширный анализ состояния систем трубопроводного транспорта природного газа на территории Республики Казахстан и пути повышения эффективности существующих магистральных газопроводов. Рассмотрены возможности утилизации потенциальной энергии природного газа высокого давления при его редуцировании на газораспределительной станции, а также, актуальные задачи, связанные с ресурсо- и энергосбережением в этой отрасли.

Общая протяженность магистральных газопроводов в Республике Казахстан достигла отметки более 14 000 км в одностороннем измерении, а пропускная способность составляет около 190 млрд м³/год. Для обеспечения подачи газа от магистральных газопроводов к населенным пунктам и промышленным предприятиям в заданном объеме используют газораспределительные станции (АГРС).

Транспортировка газа по магистральным сетям осуществляется при высоких давлениях газа (90-75 атм). Перед подачей потребителям давление газа на газораспределительных станциях (АГРС) снижается до уровня, требуемого потребителю. При этом потенциальная энергия сжатого газа безвозвратно теряется. В целях энергосбережения и повышения эффективности газотранспортных систем эту энергию нужно и можно утилизировать с получением положительных эффектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магистральный газопровод, газотранспортная система, газораспределительная станция, энергосбережение, экономия природных ресурсов, детандер-генератор.

ГАЗ ТАРАТУ БЕКЕТТЕРІНДЕ ГАЗ АҒЫНЫНЫҢ ПОТЕНЦИАЛДЫ ЭНЕРГИЯСЫН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНА ТҮРЛЕНДІРУ

М.Ж. СЕКСЕНБАЙ¹, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, seksenbay1961@gmail.com

М. МАХАНОВ², техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, m.mahanoff@yandex.ru

¹ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ИРРИГАЦИЯ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 080015, Тараз қ. Сатпаев көшесі, 28

²ЕВРАЗИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 050043, Алматы қ. Толе-би көшесі, 109Б

Қазақстан Республикасының аумағындағы табиғи газды құбыр арқылы тасымалдау жүйелерінің жай-күйіне және қолданыстағы магистралдық газ құбырларының тиімділігін арттыру жолына ауқымды талдау жасалды. Газ тарату станцияларында газдың қысымын төмендету кезінде жоғары қысымды табиғи газдың өлеуетті энергиясын кәдеге жарату мүмкіндіктері, сондай-ақ осы саладағы ресурс және энергия үнемдеуге байланысты өзекті міндеттер қаралды.

Қазақстан Республикасындағы магистралдық газ құбырларының бір тізбекті өлшемдегі жалпы ұзындығы 14 000 шақырымнан астам белгіге жетті, ал өткізу қабілеті жылына 190 млрд м³ құрайды. Магистралдық газ құбырларынан елді мекендерге және өнеркәсіптік кәсіпорындарға белгіленген көлемде газ беруді қамтамасыз ету үшін газ тарату станциялары (АГТС) пайдаланылады.

Газды магистралдық желілері арқылы тасымалдау газдың жоғары қысымы жағдайында (90-75 атм) жүзеге асырылады. Тұтынушыларға берілмес бұрын газ тарату станцияларындағы (АГТС) газ қысымы тұтынушы талап ететін деңгейге дейін төмендетіледі. Бұл жағдайда сығылған газдың потенциалдық энергиясы іске аспай жоғалады. Энергияны үнемдеу және газ тасымалдау жүйелерінің тиімділігін арттыру мақсатында жоғары қысымды табиғи газдың энергиясын пайдалы энергияға түрлендіру қажет.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: магистралды газ құбыры, газ тасымалдау жүйесі, газ тарату бекеті, энергия сақтау, табиғи ресурстарды үнемдеу, детандер-генератор.

IMPROVING THE RELIABILITY OF GAS TRANSMISSION SYSTEMS TO ENSURE THE ENERGY INDEPENDENCE OF THE COUNTRY

M.Zh. SEKSENBAY¹, candidate of technical sciences, associate professor, seksenbay1961@gmail.com

M. MAKHANOV², candidate of technical sciences, associate professor m.mahanoff@yandex.ru

¹TARAZ REGIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER M. DULATI,
28, Satpaev Street, Taraz, 080015, Republic of Kazakhstan

²EURASIAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY,
109 B Tole-bi Street, Almaty, 050043, Republic of Kazakhstan

An extensive analysis of the state of natural gas pipeline transport systems in the territory of the Republic of Kazakhstan and ways to improve the efficiency of existing main gas pipelines has been made. The possibilities of utilization of the potential energy of high-pressure natural gas during its reduction at a gas distribution station, as well as urgent tasks related to resource and energy conservation in this industry, are considered.

The total length of the main gas pipelines in the Republic of Kazakhstan has reached more than 14,000 km in single-line measurement, and the throughput capacity is about 190 billion m³/year. Gas distribution stations (AGRS) are used to ensure the supply of gas from main gas pipelines to settlements and industrial enterprises in a given volume.

Gas transportation via main and distribution networks is carried out at high gas pressures (90-75 atm). Before supplying gas to consumers, the gas pressure at gas distribution stations (GDS) is reduced to the level required by the consumer. In this case, the potential energy of the compressed gas is irretrievably lost. In order to save energy and increase the efficiency of gas transmission systems, this energy must and can be disposed of with positive effects.

KEY WORDS: *main gas pipeline, gas transmission system, gas distribution station, energy saving, saving of natural resources, expander generator.*

Введение. Природный газ играет ключевую роль в энергетике XXI века. Ожидается, что его доля в мировом топливно-энергетическом комплексе достигнет 30 % в первой половине текущего столетия, а в Казахстане к 2025 году эта доля составит около 60 %.

В условиях непрерывного роста внутреннего и внешнего спроса на природный газ необходимо повышать надежность и эффективность систем его эксплуатации. Для этого требуется сокращение потерь и снижение затрат на всех этапах технологического процесса – от добычи и подготовки до транспортировки газа. Кроме того, необходимо решать актуальные задачи, связанные с ресурсо- и энергосбережением, так как нефтегазовая отрасль нашей страны является одной из основных опор экономики [1].

По данным Национального энергетического доклада KAZENERGY, в 2023 году был зафиксирован значительный скачок мирового потребления первичных энерго-ресурсов и прежде всего это обусловлено значительным спросом на природный газ с 40 % годового прироста в секторе [2]. Для подтверждения актуальности данного исследования необходимо представить общую картину расположения транзитных и магистральных газопроводов Средней Азии и Казахстана.

Одним из особенностей нашей страны является то, что наше государство граничит с главным импортером природного газа Китайской Народной Республикой и одним из крупных экспортеров природного газа Туркменистаном, что дало возможность Казахстану занять свою нишу, предоставив коридор для транспортировки природного газа между этими странами. Таким образом, общая протяженность магистральных газопроводов в Республике Казахстан достигла отметки более 14 000 км в одностороннем измерении, а пропускная способность составляет около 190 млрд м³/год (1 рисунок) [3].

Учитывая протяженность и диаметр магистральных трубопроводов, транспортным компаниям необходимо обеспечить достаточно высокое давление в интервале 7-10 МПа для транспортировки товарного газа согласно номинальному значению производительности магистрального трубопровода [4].



Рисунок 2 – Упрощенная схема АГРС

Результаты и обсуждение. Технологический процесс на АГРС проходит в следующей последовательности: товарный газ с магистрального газопровода поступает в узел переключения, где осуществляется изменение направления потока газа высокого давления с основной линии редуцирования на свободную линию, в том числе для обеспечения непрерывной подачи газа потребителям при выполнении ремонта основного оборудования ГРС или при возникновении внештатных ситуаций (переключение потока газа высокого давления с автоматического на ручное регулирование давления по обводной линии), а также для предотвращения повышения давления в линии подачи газа потребителю с помощью предохранительной арматуры. Затем природный газ направляется в узел очистки, где очищается от механических примесей. После узла очистки, газ направляется в узел предотвращения гидратов, где вводятся ингибиторы для предотвращения образования гидратов в узле редуцирования и в дальнейшем в распределительной системе. В качестве ингибитора широкое применение нашел «метанол». Из узла предотвращения гидратов газ поступает в узел редуцирования, где непосредственно производится понижение давления газа до заданных необходимых показателей. Из узла редуцирования, газ направляется в узел учета, а затем в узел одоризации, где природному газу придают специфический запах, вводя «этилмеркаптан» в качестве одоранта (рисунок 2).

Выработка электроэнергии с помощью детандер-генераторных агрегатов (ДГА) на газораспределительных станциях и пунктах при редуцировании газа является одним из высокоэффективных способов энергосбережения в газотранспортной системе страны.

По оценкам специалистов, детандер-генераторные установки мощностью от 2,5 до 30 МВт можно установить более чем на 600 газораспределительных станциях и газорегуляторных пунктах газовых сетей Казахстана. Их суммарная мощность превысит 2750 МВт, и они смогут производить около 22 млрд. кВт/ч электрической энергии в год, что позволит ежегодно экономить примерно 6 млрд. м³ газа и

создавать Единицы Сокращения Выбросов (ЕСВ) в размере около 15 млн. тонн CO₂ эквивалента.

Согласно прогнозам экспертов, мировая потребность в газе к 2030 году увеличится более чем в два раза по сравнению с текущим уровнем. Соответственно, объемы выработки электроэнергии на газораспределительных станциях с применением детандер-генераторных агрегатов также могут быть увеличены в 1,3-1,5 раза (рисунок 3).



Рисунок 3 – Динамика мирового потребления энергии по видам энергоносителей

С точки зрения энергосбережения в газотранспортной системе наиболее актуальной задачей в настоящее время является утилизация энергии избыточного давления природного газа, поступающего по трубопроводам от магистральных газопроводов к газораспределительным станциям (ГРС). Для решения данной задачи применяются специально разработанные энергосберегающие турбодетандерные агрегаты, которые преобразуют энергию избыточного давления природного газа в электроэнергию.

Процесс преобразования энергии сжатого природного газа в электрическую энергию давно нашел применение в мировой практике. Его суть заключается в рациональном использовании перепада давлений природного газа (от 5,5-7,5 МПа до 1,2-0,6 МПа) при редуцировании газа на газораспределительных станциях (ГРС) на всем пути от газового месторождения к потребителю. Для Казахстана, который является как производителем, так и потребителем природного газа, реализация этой концепции имеет значительное практическое значение. Для достижения этой цели используются детандер-генераторные агрегаты (рисунок 4).

В настоящее время детандер-генераторные установки мощностью от 2,5 до 30 МВт могут быть установлены на более чем 200 газораспределительных станциях и газорегуляторных пунктах газовых сетей Казахстана. Их суммарная мощность может превысить 1000 МВт, что позволит производить около 7-8 млрд кВт·ч в год.

Это обеспечит ежегодную экономию примерно 2 млрд м³ газа и создание единиц сокращения выбросов (ЕСВ) в объеме около 10 млн тонн эквивалента CO₂.

Детандер-генераторная установка представляет собой систему, где энергия потока транспортируемого природного газа сначала преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе. При этом природный газ служит рабочим телом [8].

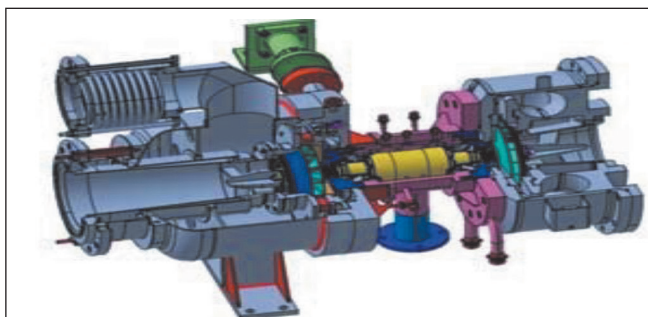


Рисунок 4 – Детандер-генераторный агрегат

Детандер-генераторный агрегат (ДГА) включает в себя детандер, генератор, теплообменник, а также систему контроля и регулирования параметров процесса. В детандере энергия потока природного газа преобразуется в механическую работу, которая затем превращается в электрическую энергию с помощью генератора, соединенного с детандером. Такие установки позволяют не только генерировать электроэнергию, но и производить теплоту и/или холод.

Мировая практика демонстрирует значительный опыт успешной эксплуатации ДГА. В зарубежной научно-технической литературе высоко оценивается эффективность этих установок, что объясняется преимущественно более низкими удельными капитальными затратами и удельными расходами топлива на производство электроэнергии по сравнению с паротурбинными энергоблоками.

Производство электроэнергии с использованием детандер-генераторных агрегатов (ДГА) на газораспределительных станциях и пунктах при редуцировании газа является одним из наиболее эффективных методов энергосбережения в газотранспортной системе страны.

ДГА предназначены для генерации экологически чистой электроэнергии и холода без сжигания топлива, используя перепад давления газа на газорегуляторных пунктах с расходом газа более 6000 нм³/ч. Автоматическое поддержание заданного давления газа за газорегуляторным пунктом при работе турбодетандера гарантирует стабильность процесса [9].

В состав основного технического комплекса входят следующие элементы: детандер-генераторный агрегат, состоящий из газорасширительной турбины и электрогенератора, автоматизированная система управления, дополнительное оборудование и аппаратура, а также, при необходимости подогреватель газа.

Стандартный набор имеющихся вариантов ДГА включает в себя устройства с мощностью 0,1 МВт, 0,2 МВт, 0,3 МВт, 0,5 МВт, 0,75 МВт, 1,0 МВт, 1,5 МВт, 2,5 МВт, 4 МВт и 6 МВт.

Анализ функционирования детандер-генераторных агрегатов указывает на то, что несмотря на способность использовать технологические перепады давления транспортируемого природного газа для производства электроэнергии с высокой степенью экономии по сравнению с традиционными паротурбинными и газотурбинными установками, их эксплуатация требует наличия значительного объема низкопотенциального теплоносителя или возможности сжигания топлива. Это объясняется тем, что при работе детандер-генераторных агрегатов происходит значительное снижение температуры газа. В случае чрезмерного понижения температуры газа возможно образование и выпадение гидратов в редуцируемом газе, что недопустимо. Для предотвращения образования гидратов необходимо поддерживать температуру газа на определенном уровне, зависящем от давления и влажности газа.

Перед подачей газа в детандер требуется его нагрев до уровня, при котором температура газа на выходе из детандера остается выше 0 градусов Цельсия. Это необходимо для обеспечения нормальных условий работы как самого детандера, так и газопроводов. Обычно газ перед детандером прогревается до 80...120 градусов Цельсия с использованием теплообменников. Эти теплообменники обогреваются водой, нагретой в котлах, где сжигается органическое топливо. На теплоэлектростанциях газ может быть нагрет за счет теплоты отборного пара от турбин, для производства которого также необходимо использование органического топлива. Таким образом, несмотря на возможность использования детандер-генераторных агрегатов для утилизации энергии давления природного газа, они все же не являются экологически чистыми из-за необходимости сжигания органического топлива для их работы [10].

Для преодоления упомянутого недостатка существующих ДГА можно применить теплонасосную установку (ТНУ) для предварительного подогрева газа перед детандером.

В детандере в качестве рабочего тела используется перевозимый газ. Номинальное давление газа на входе в энергосберегающие турбодетандерные агрегаты (ЭТДА) для газораспределительных станций должно составлять не менее $40 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, а для газорегуляторных пунктов - $10 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. Основными стандартными решениями для энергосберегающего турбодетандерного агрегата (таблица 1) (ЭТДА) являются:

- блочная комплектация оборудования;
- турбодетандеры - осевого типа (пяти-, шести-ступенчатые);
- безредукторная передача мощности от турбодетандера к генератору;
- частота вращения роторов турбодетандера и генератора - 3000 об/мин;
- частота напряжения - 50 Гц;
- системы управления и регулирования - автоматические.

Детандер, изображенный на *рисунке 4* представляет собой турбинный механизм, в котором газ, находящийся в камере, приводит во вращение рабочее колесо, расширяясь и теряя давление. В детандерах ЭТДА используются многоступенчатые рабочие колеса осевого типа, что позволяет значительно снизить давление (в 2-3 раза и более) с помощью одного агрегата [11].

Вращение рабочего колеса передается через вал и муфту (2) на генератор (3), который производит электроэнергию для передачи потребителю. Детандер и генера-

Таблица 1 – Типовые размеры ЭТДА

Модель	ЭТДА-1500	ЭТДА-2500	ЭТДА-4000	ЭТДА-6000	ЭТДА-8000	ЭТДА-12000
Расход газа, норм, $\text{нм}^3/\text{ч}^*$	70000	100000	140000	180000	230000	320000
Снижение газа						
на ГРС	вход: 4.0-10.0 МПа, выход: 0.2-1.6 МПа					
на ГРП	вход: 0.2-1.6 МПа, выход: 0,05-0,2 МПа					
Мощность генератора, кВт	1500	2500	4000	6000	8000	12000
Частота вращения вала	3000 или 3600 об/мин. (частота эл. тока 50 или 60 Гц)					
Напряжение	Стандартно 6.3 или 10.5 кВ					
Габариты агрегата	макс. 13x2.8x3.2м (вагонный транспортный габарит)					
Вес агрегата	25-60т					

тор отделены газонепроницаемой перегородкой (4), что обеспечивает безопасность электрооборудования от взрывов. Смазочное масло для подшипников и торцевых уплотнений поступает из маслобака через общую систему подачи масла (5). Весь комплект установки ЭТДА установлен на единой раме (6) и представляет собой сборочное оборудование, готовое к использованию. Для обогрева газа в зимнее время предлагается применение солнечных панелей (7) (см. рисунок 5) [12].

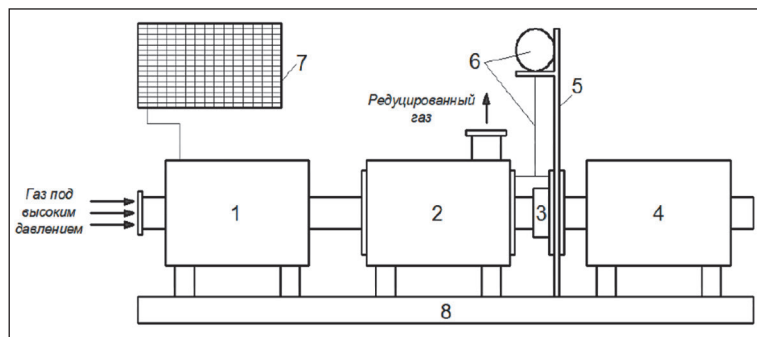


Рисунок 5 – Устройство детандер-генераторного агрегата работающего от солнечных панелей

В настоящее время в мире существуют различные конструкции и инновационная методика, в основе которых лежат комплексное использование потенциала "бросовой" энергии газа на газораспределительных станциях (ГРС) с целью производства электроэнергии и "холода" без необходимости сжигания топлива, то есть, путем использования экологически чистого метода. Для этой цели был разработан ряд мощных унифицированных пневмоэлектрогенераторных агрегатов (ПЭГА). Основные технические характеристики приведены в таблице ниже. Эти агрегаты используются для сборки энергоблоков требуемой мощности (до 8–10 МВт).

В корпусе блока, расположенного в герметичной камере-капсуле, размещаются электрогенератор и турбина. На наружной поверхности торцевой крышки турбины размещается блок газораспределения, который включает в себя основное запорное устройство, дозатор газа и коллектор с отводными трубопроводами для газа. На

Таблица 2 – Технические характеристики ПЭГА

Наименование показателя	Единица измерения	Численные значения показателей				
		100	200	300	600	1200
Номинальная электрическая мощность	кВт	100	200	300	600	1200
Степень допустимой перегрузки	б/р	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Годовая выработка электроэнергии	млн кВт·ч	0,87	1,74	2,50	5,0	10,0
Генератор синхронный бесконтактный на всех моделях						
Ток переменный: напряжение	кВ	0,4	0,4	0,4	0,4; 6,3; 10,5	
	Гц	50	50	50	50	
частота						
Коэффициент мощности	б/р	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Давление газа на входе в агрегат	МПа	0,3–0,5		0,6–5,0		1,2–5,0
Проход рабочего (возвращаемого в систему) газа при номинальной мощности	тыс. м ³ /ч	13,0	27,0	40,0	70,0	140,0
Температура газа на входе в агрегат мин./макс.	°С	0/40	0/40	0/40	0/40	0/40
Степень расширения газа (регулируемая)	б/р	1,5–2,0	1,5–2,0	1,5–2,0	1,5–2,0	
Снижение температуры газа в агрегате	°С	15–17	15–17	15–17	15–23	
Габаритные размеры	мм	4425x1050x2030				8200x1050x2030
Масса	т	5,0	5,3	5,75	6,5	12,0

внешней поверхности корпуса размещается электросоединительный ящик, в который подводятся силовые и управляющие провода от генератора через специальные проводники. При подаче газа из трубопровода подачи газа к ГРС через блок газораспределения его потенциальная энергия преобразуется в механическую энергию в турбине. Использованный газ с пониженной температурой выводится из капсулы в коллектор для отвода газа. Турбина приводит в движение вал ротора генератора. Сгенерированная электроэнергия от генератора через электросоединительный ящик подается в электросеть (рисунк 6) [13].

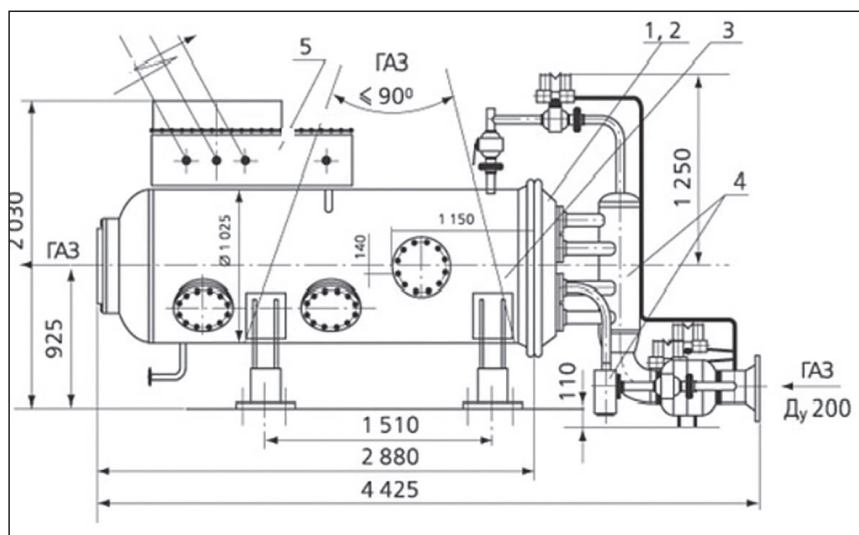


Рисунок 6 – Общий вид унифицированного агрегата ПЭГА-600 мощного ряда
 1 – пневмопривод (расширительная турбина); 2 – электрогенератор; 3 – корпус агрегата;
 4 – блок газораспределения; 5 – электросоединительный ящик


В процессе работы не используются никакие вещества или технологические компоненты (такие как масло, вода, тепло или электроэнергия), за исключением газового потока, который возвращается в трубопровод. Инфраструктура не требуется. Конструкция ПЭГА предназначена для эксплуатации на открытом воздухе при различных погодных условиях, включая температуры от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Агрегаты ПЭГА могут быть подключены к газовой системе параллельно, последовательно или в комбинации, формируя энергоблок. Схема подключения, единичная мощность ПЭГА и их количество определяются индивидуально для каждого проекта в зависимости от параметров и масштаба ГРС по газопроводу, а также от потребностей в электроэнергии и охлаждении со стороны потребителей [14].

При прохождении через ПЭГА газа объемом 10 тысяч $\text{м}^3/\text{ч}$ и уменьшении его давления в турбине в два раза производится 100 кВт•ч электроэнергии и примерно столько же «холода». При генерации 100 кВт•ч электроэнергии на теплоэлектроцентrale расходуется до 0,05 тонн углеводородного эквивалента (учитывая потери в сетях и т. д.). Очевидно, что использование ПЭГА для утилизации потенциальной энергии газового потока объемом 10 тысяч $\text{м}^3/\text{ч}$ позволяет производить 200 кВт•ч электрической энергии (100 кВт•ч электроэнергии и 100 кВт•ч «холода»), что обеспечивает экономию более 0,125 тонн углеводородного эквивалента в час.

Заключение и выводы. Актуальность исследования обусловлена разработкой высокоэффективных энергосберегающих технологий, которые в настоящее время являются приоритетными задачами на уровне государственной политики. Это обусловлено прежде всего, значительно большим (в 3–4 раза) уровнем энергопотребления в промышленном и сельскохозяйственном секторах, неэффективным использованием энергии в жилищно-коммунальном хозяйстве, что приводит к неоправданному расходу природных ресурсов страны и излишним затратам на трудовые ресурсы.

Одной из стратегий энергосбережения в производстве электроэнергии представляется использование технологии детандер-генерации, основанной на извлечении потенциальной энергии природного газа в местах снижения давления в газоснабжающих системах (например, на предприятиях, работающих на природном газе). Детандер-генераторные агрегаты (ДГА) продемонстрировали высокую энергетическую эффективность в практике. В рамках настоящего исследования проведен сравнительный анализ термодинамических и экономических показателей существующих и модифицированных, а также новых концепций установок для генерации электроэнергии, основанных на одно- и многоступенчатых ДГА воздушного типа. На основе выполненных технико-экономических оценок (данный анализ проведен на примере АГРС г. Тараз) можно заключить, что установка, осуществляющая регенерацию электрической энергии, способна окупиться в течение 2–3 лет.

Расчетные данные показывают, что рассмотренные варианты демонстрируют положительные экономические показатели проекта. Для каждого варианта чистый доход превышает ноль, коэффициент прибыльности больше единицы, внутренняя

норма доходности значительно превышает установленный уровень, и нормативный срок окупаемости проекта имеет приемлемые значения (менее трех лет). Следовательно, внедрение данной технологии преобразования потенциальной энергии природного газа в электрическую на автоматизированных газораспределительных станциях в текущих и прогнозных ценах является эффективным. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 История трёх девальваций <https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-dollaru-v-80-raz-.html> [The history of three devaluations [https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge \\$ u-v-80-raz-.html](https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge-$u-v-80-raz-.html) (03.07.23 С.) The history of three devaluations [https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge \\$ u-v-80-raz-.html](https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge-$u-v-80-raz-.html)]
- 2 Киинов Л. Перспективы развития нефтегазовой отрасли Казахстана // Нефть и газ. – 2010. – № 6. – С. 83. [Kiinov L. Perspektivy razvitiya neftegazovoj otrasli Kazahstana // Neft' i gaz. – 2010. – № 6. – S. 83.]
- 3 Вестник ПГУ <https://library.tou.edu.kz/fulltext/bibl/b794.pdf> [Bulletin of the PSU <https://library.tou.edu.kz/fulltext/bibl/b794.pdf>]
- 4 Газопровод <https://ru.wikipedia.org/wiki/Газопровод> [Gas pipeline [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Gas pipeline](https://ru.wikipedia.org/wiki/Gas_pipeline)]
- 5 Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов http://www.club-gas.ru/_id/10/1057-.pdf [Operation of compressor stations of main gas pipelines http://www.club-gas.ru/_id/10/1057-.pdf]
- 6 АГРС-автоматизированная газораспределительная станция <http://nga-s.ru/index.php/produktion/agrs> [The history of three devaluations [https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge \\$ u-v-80-raz-.html](https://informburo.kz/stati/devalvaciy-tenge-tenge-podeshevel-k-edge-$u-v-80-raz-.html) [AGRS-automated gas distribution station [http://nga-s.ru/index.php / production/agrs](http://nga-s.ru/index.php/production/agrs)]
- 7 Блок редуцирования газа https://studwood.net/1729701/tovarovedenie/blok_redutsirovaniya_gaza [Gas reduction unit [https://studwood.net/1729701 / tovarovedenie/blok_redutsirovaniya_gaza](https://studwood.net/1729701/tovarovedenie/blok_redutsirovaniya_gaza)]
- 8 Мальханов О.В. К вопросу об энергосберегающей турбодетандерной технологии на ГРС. Энергосбережение и водоподготовка. 2007.- № 5. С 87. [Malkhanov O.V. On the issue of energy-saving turbo-expander technology at the GRS. Energy saving and water treatment. 2007.- No. 5. From 87.]
- 9 Воронин А.В., Мальханов О.В. Турбодетандерная установка для выработки электроэнергии. Энергосбережение и водоподготовка. 2005.-№ 5 С.96. [Voronin A.V., Malkhanov O.V. Turbodetander installation for power generation. Energy saving and water treatment. 2005.-No. 5, p.96.]
- 10 Марченко Е.М., Мальханов О.В. Турбодетандерные установки для рационального использования энергии перепада давления природного газа. Энергосбережение и водоподготовка. Москва, 2009- С196. [Marchenko E.M., Malkhanov O.V. Turbodetander installations for the rational use of the energy of the pressure drop of natural gas. Energy saving and water treatment. Moscow, 2009- S. 196.]

- 11 Сексенбай М.Ж., Мухамеджанулы М. Перспективы газотранспортной системы южных регионов Республики Казахстан. Материалы X межд. научно-практ. конф. Студентов и молодых ученых. Каспийский общественный университет. – Алматы, 2013. – С. 12. [Seksenbaj M.Zh., Muhamedzhanuly M. Perspektivy gazotransportnoj sistemy yuzhnyh regionov Respubliki Kazahstan. Materialy X mezhd. nauchno-prakt. konf. studentov i molodyh uchenyh. Kaspijskij obshchestvennyj universitet. – Almaty, 2013. – S. 12.]
- 12 Сексенбай М.Ж. Состояние и перспективы энергетической безопасности южных регионов РК // Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати. – 2012. – № 1. – С. 190. [Seksenbaj M.Zh. Sostoyanie i perspektivy energeticheskoy bezopasnosti yuzhnyh regionov RK // Vestnik TarGU im. M.H.Dulati. – 2012. – № 1. – S. 190.]
- 13 М.Ж. Сексенбай, С. Мухамеджанулы, С.Е. Байботаева. «Повышение надежности газотранспортных систем – обеспечение энергетической независимости страны», Нефть и газ. – 2023. – №1 (133). – С. 94. [M.Zh. Seksenbai, S. Muhamedzhanuly, S.E. Baibotaeva. "Improving the reliability of gas transmission tailor systems – ensuring the energy independence of the country", Oil and gas. – 2023. – №1 (133). – P. 94.]
- 14 Егоров О.И., Чигаркин О.А. Нефтегазовый комплекс Казахстана: состояние и перспективы развития // Регион: экономика и социология. – 2006. – №1. – С. 177-189. [Yegorov O.I., Chigarkin O.A. Neftegazovyy kompleks Kazakhstana: sostoyanie i perspektivy razvitiya // Region: ekonomika i sotsiologiya. – 2006. – №1. – S. 177-189.]