

Автономное энергоснабжение автоматизированных газораспределительных станций нового поколения

Рецензия эксперта на статью получена 15.09.2021 [The expert review of the article received on September 15, 2021].

Одним из факторов надёжного и безопасного газоснабжения является качественное функционирование газораспределительных станций (ГРС). Для достижения высоких показателей их работы ПАО «Газпром» совместно с ПАО «Газпром автоматизация» разработана и принята к реализации «Концепция технического развития газораспределительных станций», предусматривающая комплексный подход — внедрение новых методов, технологий и оборудования при техническом перевооружении ГРС, а также оптимизация затрат, связанных с обеспечением надёжности и безопасности ГРС [1].

Положения «Концепции технического развития ГРС» планируется использовать структурными подразделениями и дочерними обществами ПАО «Газпром» при создании программ и планов реконструкции и технического перевооружения ГРС, а также при разработке нормативных документов Системы стандартизации ПАО «Газпром».

Перспективными ГРС считаются автоматизированные газораспределительные станции нового поколения (АГРС-НП), обладающие энергонезависимостью, «интеллектуальной» системой автоматического управления (ИСАУ), с централизованной формой обслуживания (второй категории) и выполнением технического обслуживания и ремонта с периодичностью не более чем один раз в год [1, 2].

Направлениями развития перспективных станций АГРС-НП являются: электроснабжение от источника, расположенного на территории АГРС и использующего принцип преобразования энергии сжатого (транспортируемого) газа и/или ВИЭ; применение технологий, исключающих присутствие обслуживающего персонала, и использование топливного газа для подогрева транспортируемого газа.

Перспективными ГРС считаются автоматизированные газораспределительные станции нового поколения (АГРС-НП), обладающие энергонезависимостью, интеллектуальной системой автоматического управления (ИСАУ), с централизованной формой обслуживания (второй категории) и выполнением технического обслуживания и ремонта с периодичностью не более чем один раз в год [1, 2]

Каждое направление развития станций АГРС-НП характеризуется следующей спецификой:

1. Формирование комплекса мероприятий, снижающих энергопотребление проектируемых АГРС-НП.
2. Предотвращение снижения температуры газа при редуцировании и, как следствие, снижения энергопотребления на его подогрев, за счёт применения инновационных способов редуцирования.
3. Использование отопительных систем с тепловыми насосами и низкопотенциальными источниками энергии (грунт земли, воздух и др.).
4. Применение, в зависимости от требований и внешних условий, в качестве основного источника электроэнергии: детандер-генераторных агрегатов (ДГА), ветроэнергетических установок (ВЭУ), фотоэлектрических установок (ФЭУ), электрогазодинамических генератор-детандеров (ЭГД-Г-Д) или их комбинации.
5. Использование, для повышения эффективности функционирования, трёхуровневой системы управления оборудованием энергетического комплекса (ЭК) автоматизированной газораспределительной станции нового поколения.

УДК 620.91-93:620.97. Научная специальность: 05.14.08.

Автономное энергоснабжение автоматизированных газораспределительных станций нового поколения

В.К. Аверьянов, д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН, советник генерального директора АО «Газпром промгаз»; **О.А. Давыдов**, инженер, заместитель генерального директора по строительству инфраструктурных объектов ООО «РусХимАльянс»; **В.В. Елистратов**, д.т.н., профессор, директор Научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе»; **С.Н. Кирюхин**, к.т.н., доцент, заместитель заведующего отделом АО «Газпром промгаз»

Приведены результаты расчётных исследований режимов функционирования нового схемного решения энергокомплекса автоматизированных газораспределительных станций нового поколения. Определена структура интеллектуальной системы автоматического управления и оптимальный состав оборудования энергетического комплекса при минимальных капитальных затратах на его создание.

Ключевые слова: автоматизированная газораспределительная станция нового поколения, энергетический комплекс, детандер-генераторный агрегат, тепловая насосная установка.

UDC 620.91-93:620.97. Scientific specialty number: 05.14.08.

Autonomous power supply of automated gas distribution stations of the new generation

V. K. Averyanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN), adviser to the general director of "Gazprom promgaz", JSC; **O. A. Davydov**, engineer, deputy general director for construction of infrastructure facilities of "RusKHimAlians", LLC; **V. V. Elistratov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, director of the "Renewable energy and installations based on them" Scientific and Educational Center; **S. N. Kiryukhin**, PhD, Associate Professor, deputy head of the department of "Gazprom promgaz", JSC

The results of computational studies of the operating modes of a new circuit solution of the power complex of automated gas distribution stations of a new generation are presented. The structure of the intelligent automatic control system and the optimal composition of the equipment of the energy complex with minimal capital costs for its creation are determined.

Key words: automated gas distribution station of a new generation, energy complex, expander-generator unit, heat pumping unit.

Известно, что системы наружного и внутреннего освещения ГРС потребляют до 32% от общего количества электроэнергии, используемой оборудованием станции [3]. К факторам, снижающим энергопотребление, относятся: оптимизация режимов работы светотехнического оборудования, снижение потерь электроэнергии в осветительных сетях, переход на энергосберегающие технологии.

К энергосберегающим мероприятиям относятся: применение экономичных типов источников света (в том числе с использованием светодиодных), применение оптимальных режимов, внедрение системы АСКУЭ и др. Применение энергосберегающих мероприятий и технологий позволит на 20–40% снизить общее энергопотребление системами освещения.

Для защиты от коррозии подземных стальных газопроводов, при всех способах прокладки, кроме надземной, трубопроводы подлежат комплексной защите от коррозии защитными покрытиями и средствами электрохимической защиты, независимо от коррозионной агрессивности грунта.

В последнее время чаще применяются автоматизированные станции катодной защиты, электроснабжение которых осуществляется от ВИЭ. В установках с ВИЭ используется как ветрогенератор, так и солнечная батарея, либо оба источника одновременно в зависимости от климатических характеристик района. Для повышения надёжности данной схемы катодной защиты дополнительно используются электроаккумуляторы и/или протекторные установки. Кроме того, с целью снижения мощности катодной защиты, расходуемой на электроснабжение станций, коммуникации ГРС выполняются с надземной прокладкой, либо для подземной прокладки используются полиэтиленовые трубы, которые не подвержены почвенной коррозии. Защиту подземных стальных ёмкостей или резервуаров на площадках ГРС чаще всего осуществляется с помощью протекторных установок.

В том случае, когда протяжённость газопровода-отвода небольшая, а на площадке ГРС все коммуникации выполнены надземно или из полиэтиленовых труб, то электрохимическая защита газопровода-отвода может осуществляться от катодного преобразователя, установленного на линейной части, и расчётная мощность энергоисточника на ГРС существенно снижается.

Другим направлением уменьшения потребления электроэнергии на электрохимическую защиту является применение для защиты подземных стальных га-

зопроводов новых изоляционных материалов (экструдированного полиэтилена, полипропилена, термоусаживающихся материалов, полимерно-битумных или полимерно-асфальтовых лент и др.). Выбор мероприятий по снижению электропотребления средствами защиты от коррозии определяется мощностью станции и местными условиями. В любом случае их применение способствует общему снижению энергопотребления.



Фото: ООО «Завод «Нефтегазоборудование» г.Саратов

Автоматизированные газораспределительные станции (АГРС) «Голубое пламя» производства компании ООО «Завод «Нефтегазоборудование» (г. Саратов) включены в реестр оборудования и материалов, технические условия которых соответствуют требованиям ПАО «Газпром»

Потребность в тепловой энергии определяется необходимостью поддержания регламентируемого воздухообмена и температурного режима в помещениях АГРС, а также потребностью подогрева технологического газа.

Из условий энергосбережения, помимо качественной теплоизоляции ограждающих конструкций, жалюзи или вытяжные шахты возможно оборудовать стабилизаторами притока воздуха (клапанами), предотвращающими тепловые потери при сверхрасчётном притоке холодного воздуха в периоды пониженных температур наружного воздуха или повышенных скоростей ветра. Снижению теплопотерь также способствует система предварительного подогрева технологического газа, предотвращающая поглощение тепловой энергии холодными газопроводами. При использовании для отопления тепловых насосов важным фактором энергосбережения является температура теплоносителя. Использование приборов и систем с низкотемпературным теплоносителем (калориферы, лучистые панели, напольные системы и др.) позволяет снизить расход электроэнергии, потребляемый тепловыми насосами.

Необходимость подогрева газа перед регулятором в ГРС связана со снижением температуры газа при дросселировании. Снижение температуры характеризуется дифференциальным дроссельным эффектом Джоуля — Томпсона. В рабочем диапазоне дросселирования давления газа на ГРС (до 6,5–7,0 МПа) величина дроссельного эффекта практически не меняется, а величина снижения температуры газов при дросселировании составляет 15–35°C. Это

приводит к созданию условий по параметрам, соответствующих кристаллообразованию тяжёлых фракций и остаточных следов жидкости после осушки. Согласно нормативной документации, необходимо обеспечивать температуру газа на выходе из ГРС не ниже -10°C (на пучинистых грунтах не ниже 0°C). Для предотвращения обмерзания газового оборудования и подогрева газа в качестве нового решения предлагается внедрение установок без машинного энергоразделения [4].

Анализ параметров дросселирования потока газа вихревыми трубами (ВТ) различного исполнения показал, что в определённом диапазоне соотношения между «холодным» и «горячим» потоками после разделения в закручивающем устройстве ВТ их перемешивание даёт осреднённую температуру смешанного потока выше, чем температура газа на входе в вихревое дроссельное устройство. Этот же эффект получен на режимах с перекрытием «горячего» потока и внутренним перемешиванием ВТ с крестовиной, обеспечивающей перевод воздуха (газа) с «горячего» конца ВТ в центральную область вихревой камеры с пониженным давлением через центральную трубку крестовины.

Испытания опытного образца изотермического регулятора (в диапазоне давлений сжатого воздуха на входе 0,6–5,0 МПа) показали, что установка на входе в регулятор винтового завихрителя позволяет изменить (повысить или понизить, в зависимости от соотношения давлений) температуру поступающего из магистрали газа на 3–6 °С, что может предотвратить гидратообразование и избавить от необходимости подогрева газа на входе регулятора давления газа.

В работе [4] выполнен анализ различных способов повышения эффективности редуцирования природного газа путём безогневого подогрева и предотвращения гидратообразования с помощью энергоразделяющих устройств (ЭУ). Внедрение ЭУ в узел редуцирования позво-



Фото: ООО «Аэрогаз», aergaz.ru

Автоматизированная газораспределительная блочная станция АГРС «Саратов-М(70)»



Фото: ООО «Завод «Нефтегазоборудование», nrgaz.ru

АГРС «Бужаниново» (10 тыс. м³/ч) в Сергиево-Посадском городском округе

лит исключить (частично или полностью) получение тепловой энергии на ГРС сжижением газа [4].

Тепловая насосная установка (ТНУ) — установка, которая переносит тепловую энергию от низкотемпературного источника к гораздо более высокотемпературному потребителю теплоты с помощью электрической энергии, потребляемой из внешней системы электроснабжения.

ТНУ на 1 кВт потребляемой электроэнергии позволяют извлечь до 4 кВт тепловой энергии из окружающей среды и повысить температурный потенциал до 65 °С и более. Современные сплит-системы с нижним пределом эксплуатации на обогрев до –30 °С совмещают несколько потребительских опций, в том числе и использование для отопления ГРС. Такие системы обеспечивают теплоснабжение ГРС не менее чем в 90 % проектных решений. Для оставшихся 10 % решений предлагается, как правило, электрообо-

грев или использование грунтовых теплообменников (ГТО) в составе тепловой насосной установки для подогрева транспортируемого газа или в виде отдельного блока. Применение ТНУ для отопления АГРС-НП, в соответствии с требованиями [2], позволяет отказаться от использования органического топлива. Особенности расчёта и практического применения тепловых насосных установок с ГТО для нужд теплоснабжения исследованы в ряде работ [5, 6 и др.].

Тепловая насосная установка (ТНУ) может переносить тепловую энергию от низкотемпературного источника к гораздо более высокотемпературному потребителю теплоты с помощью электрической энергии, потребляемой из внешней системы электроснабжения

Совершенствование конструкции и характеристик ФЭУ и ВЭУ способствует их более широкому применению на ГРС, в автономных энергосистемах (ЭС), располагающихся, как правило, в труднодоступных, удалённых от централизованных систем электроснабжения районах, преимущественно с высоким потенциалом вторичных энергоресурсов (ВЭР). Оптимизация состава и режимов функционирования оборудования энергокомплексов (ЭК) с ВИЭ улучшает экономичность систем электроснабжения.

Аккумуляторы, являясь в настоящее время уже обязательной частью гибридных энергокомплексов, позволяют повысить надёжность энергоснабжения при одновременном снижении установленной мощности генерирующего оборудования энергокомплекса. К наиболее перспективным относятся литий-металл-полимерные (LMP) аккумуляторы.

К перспективным электрогенераторам относятся ЭГД-Г-Д, преобразующие потенциальную энергию газа при дросселировании. В отличие от ДГА, ЭГД-Г-Д преобразуют внутреннюю энергию сжатого газа при его расширении непосредственно в электрическую энергию. В ЭГД-Г-Д отсутствуют механические движущиеся части, внутри установлены электроды для ионизации потока газа и его торможения в электрическом поле. При этом давление и температура расширяющегося газа, так же, как и в ДГА, понижаются по адиабатному закону с относительно высоким изоэнтальпийным КПД. Преобразование энергии происходит за счёт вязкого взаимодействия газа с заряженными частицами в электрическом поле. Ионизация газового потока осуществляется с помощью коронного разряда при высоком напряжении. Перенос заряженных частиц

против сил электрического поля осуществляется потоком газа, что и приводит к формированию высокого напряжения на зажимах генератора. Подогрев газа выполняется по традиционным схемам. В работе [1] применение ЭГД-Г-Д рассматривается как одно из направлений повышения энергоэффективности ГРС.

Ранее выполненные исследования [7, 8 и др.] показали целесообразность использования ДГА при создании бестопливных систем энергоснабжения ГРС. Созданию надёжных и конкурентоспособных ДГА посвящено значительное число работ, обзор которых и разработка новых конструкций приведены в фундаментальной работе [8]. Ввиду актуальности широкого внедрения ДГА, в ПАО «Газпром» разработана «Программа по внедрению турбодетандерных установок на ГРС для выработки электроэнергии и получения сжиженного природного газа» [9]. Запланировано построить почти 600 установок для производства электроэнергии на ГРС и обеспечения их энергонезависимости (всего в концерне более 4000 ГРС).

При применении ДГА для устойчивого снабжения АГРС-НП тепловой и электрической энергией в автономном режиме могут потребоваться установки, работающие на низкопотенциальной энергии грунта — геотермальные ТНУ, проблемам использования которых посвящено значительное число работ [6–8, 10]. Совокупность создаваемых с этой целью скважин с грунтовыми теплообменниками и окружающий массив грунта представляют собой эффективную систему сбора низкопотенциальной энергии.



Фото: ПАО «Газпром», г.Тында

Автоматизированная газораспределительная станция в городе Тында Амурской области

На характеристики подобного рода энергетических комплексов оказывают влияние большое число факторов. Многофункциональность энергосистем АГРС-НП с ВИЭ, переменность режимов генерации и потребления тепловой и электрической энергии на них, многообразие исходных данных при проектировании, при условии создания надёжных безлюдных и бестопливных систем энергоснабжения, формируют необходимость разработки комплексных моделей оптимизации гибридных энергокомплексов.

Для оптимизации режимов функционирования оборудования, входящего в состав автономного энергокомплекса АГРС-НП, разработана имитационная

модель известной базовой схемы энергокомплекса (рис. 1), в которой с помощью ДГА и низкопотенциальных ВИЭ (воздушных и грунтовых теплообменных аппаратов и др.) осуществляется преобразование потенциальной энергии газа [7].

В имитационной модели ЭК АГРС-НП поступающий в ГРС газ высокого давления сначала подаётся в теплообменные аппараты, а затем в ДГА. В детандере расширяющийся газ приводит в действие генератор, который вырабатывает электрическую энергию. Часть этой энергии используется для подогрева газа перед детандером в пиковом теплообменном аппарате (ПКТО), а оставшаяся часть используется электроприводом компрессора ТНУ и другими потребителями ГРС.

Поскольку при расширении газа его температура и давление значительно снижаются, основной подогрев газа перед детандер-генераторным агрегатом (до температуры 50–80 °С) осуществляется в конденсаторе парокompрессионной тепловой насосной установки, которая содержит испаритель с дросселирующим устройством и компрессор. В испарителе ТНУ состояние хладагента изменяется за счёт теплоты, поступающей от грунтового теплообменного аппарата (ГТО) и/или от воздушного теплообменного аппарата (ВТО), являющихся в этой схеме низкопотенциальными ВИЭ.

В рассматриваемом схемном решении альтернативные варианты организации автономного бестопливного энергоснабжения, при разных мощностях составного оборудования, существенно отличаются капитальными затратами, но имеют практически равные эксплуатационные расходы.

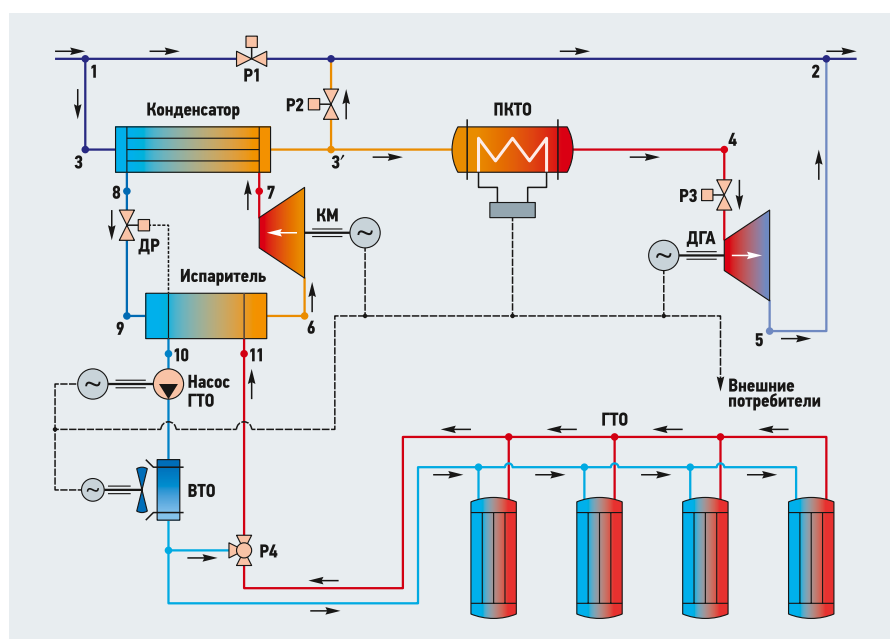


Рис. 1. Технологическая схема энергокомплекса АГРС-НП на базе одноступенчатого ДГА, парокompрессионной ТНУ, ВТО и ГТО (P1, P2 и P3 — регуляторы давления; P4 — трёхходовой вентиль; KM — компрессор ТНУ; ДР — дроссель испарителя ТНУ)

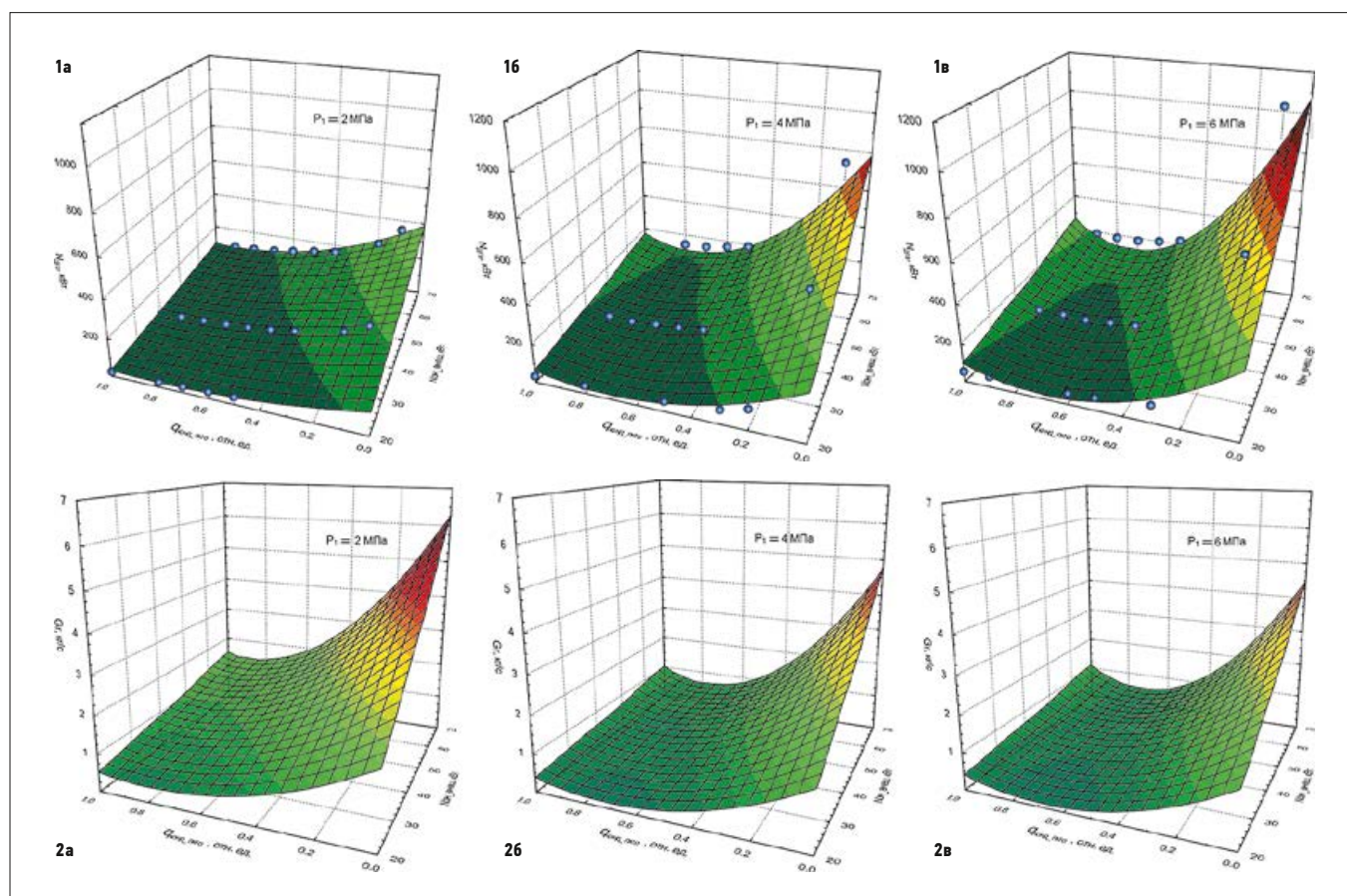


Рис. 2. Зависимости мощности (ряд 1) и расхода газа (ряд 2) ДГА от давления газа на входе АГРС, отношения тепловых мощностей конденсатора тепловой насосной установки (ТНУ) и пикового теплообменного аппарата (ПКТО) и внешней электрической нагрузки энергокомплекса (ЭК)

Поэтому поиск оптимального варианта характеристик оборудования энергокомплекса АГРС-НП с ВИЭ по критерию минимального значения капитальных затрат осуществляется расчётным путём, с использованием имитационной модели, разработанной в пакете прикладных программ MATLAB, в следующем порядке:

- для заданных значений внешней (по отношению к энергокомплексу) электрической нагрузки, соотношения тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО, а также параметров технологического газа рассчитывается вырабатываемая ДГА мощность и необходимое для предотвращения критического снижения температуры газа за турбиной ДГА количество тепловой энергии;

- для расчётного количества теплоты, необходимого для подогрева газа в конденсаторе ТНУ, а также по количеству теплоты, передаваемой хладагенту теплоносителем ГТО в испарителе ТНУ, определяются параметры рабочих сред, расходные и мощностные характеристики ТНУ и ГТО, обеспечивающих работу энергокомплекса АГРС-НП в целом;

- по полученным мощностным характеристикам оборудования и удельным значениям капитальных затрат рассчитываются показатели затрат для заданного

нагрузочного режима ДГА и заданного соотношения тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО;

- в полученном множестве значений капитальных затрат определяется область минимальных значений, которая соответствует оптимальному варианту тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО на всех нагрузочных режимах работы детандер-генераторного агрегата.

Оптимизация режимов функционирования оборудования энергокомплекса АГРС-НП с ДГА и ВИЭ выполнен по плану полного факторного эксперимента, в котором в качестве активных факторов использовались: мощность внешней (по отношению к энергокомплексу) электрической нагрузки в диапазоне значений от 20 до 70 кВт; отношение тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО в диапазоне значений от 0 до 1,0, а также давление газа на входе АГРС-НП в диапазоне значений от 2 до 6 МПа. В процессе

исследований выполнена имитация более 90 режимов функционирования, в каждом из которых рассчитано до 40 параметров модели ЭК АГРС-НП. Предварительный анализ некоторых полученных результатов приведён в [10].

По результатам расчётных исследований установлено:

1. Для генерации детандерным агрегатом требуемого количества энергии газ необходимо подогреть до 90 °С пропорционально заданному давлению газа на входе ДГА и действующей в текущий момент времени внешней электрической нагрузке (рис. 2, ряд 1). При этом расход газа через детандерный агрегат должен изменяться в диапазоне значений от 0,2 до 5,7 кг/с пропорционально действующей (в текущий момент времени) внешней нагрузке и обратно пропорционально заданному давлению газа на входе ДГА (рис. 2, ряд 2).

2. Для подогрева газа, подаваемого на вход детандер-генераторного агрегата, до 90 °С количество тепловой энергии, передаваемой газу в теплообменных аппаратах (конденсаторе ТНУ и ПКТО), должно изменяться в диапазоне значений от 21 до 1030 кВт пропорционально установленному на входе ДГА давлению газа и действующей в текущий момент времени внешней электрической нагрузке (рис. 3).

В ПАО «Газпром» разработана программа по внедрению турбодетандерных установок на ГРС для выработки электроэнергии и получения сжиженного природного газа

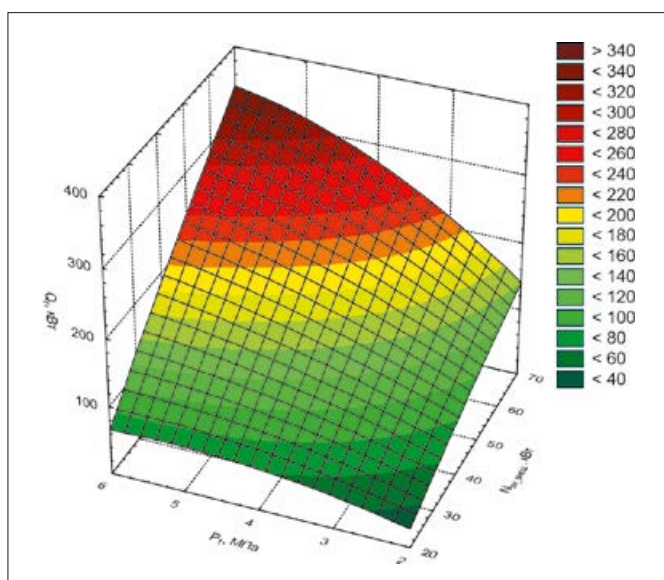


Рис. 3. Форма зависимости количества тепловой энергии, передаваемой газу в конденсаторе ТНУ и ПКТО, от давления газа на входе ДГА и внешней электрической нагрузки ЭК

При этом в диапазоне заданных на входе ДГА давлений (от 2 до 4 МПа) наиболее эффективным (в отношении тепловых мощностей конденсатора ТНУ и пикового теплообменного аппарата) является подогрев газа только в конденсаторе тепловой насосной установки. При давлении газа на входе детандер-генераторного агрегата от 4 до 6 МПа наиболее эффективным является отношение тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО, соответственно, 0,8 к 0,2 (рис. 4).

3. Для обеспечения работы конденсатора тепловой насосной установки в соответствующем режиме функционирования, количество тепловой энергии, передаваемой от низкопотенциального источника энергии (ГТО) испарителю ТНУ, должно изменяться от 0 до 215 кВт пропорцио-

нально заданному на входе ДГА давлению газа и действующей (в текущий момент времени) внешней электрической нагрузке (рис. 5). При этом наибольшее количество тепловой энергии низкопотенциального источника энергии (ГТО), потребляемого испарителем ТНУ, соответствует режимам работы энергокомплекса, когда газ, поступающий на вход ДГА, подогревается только в конденсаторе тепловой насосной установки (рис. 6).

Затраты на создание ЭК АГРС-НП с использованием ВИЭ возможно минимизировать путём имитационного моделирования процессов преобразования энергетических потоков

4. Затраты на создание энергокомплекса АГРС-НП с использованием возобновляемых источников энергии возможно минимизировать путём имитационного моделирования процессов преобразования энергетических потоков в условиях нестационарного поступления ВЭР и потребления выработанной энергии на основе параметрического анализа составляющих теплового баланса и статических характеристик элементов ЭК по выбранному критерию оптимизации.

Использование в качестве критерия минимума капитальных затрат позволяет определить требуемые характеристики энергетического оборудования, а также выбрать структуру и режимы функционирования энергокомплекса АГРС-НП с ДГА и ВИЭ.

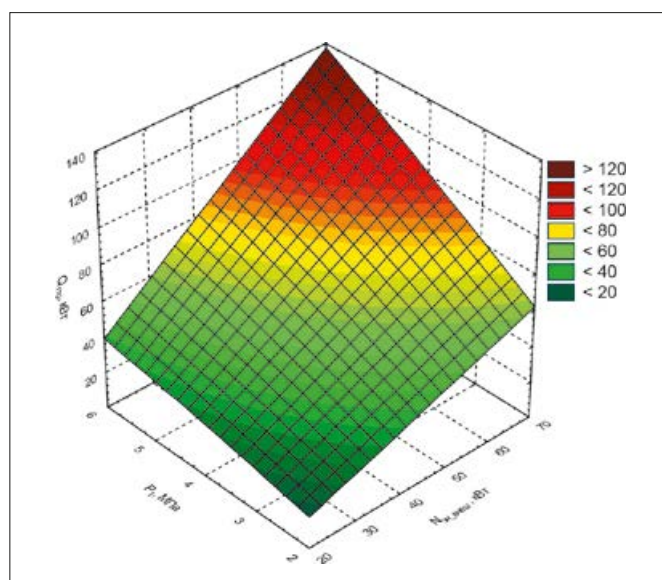


Рис. 5. Форма зависимости количества тепловой энергии, передаваемой ГТО конденсатору ТНУ, от давления газа на входе ДГА и от внешней электрической нагрузки ЭК

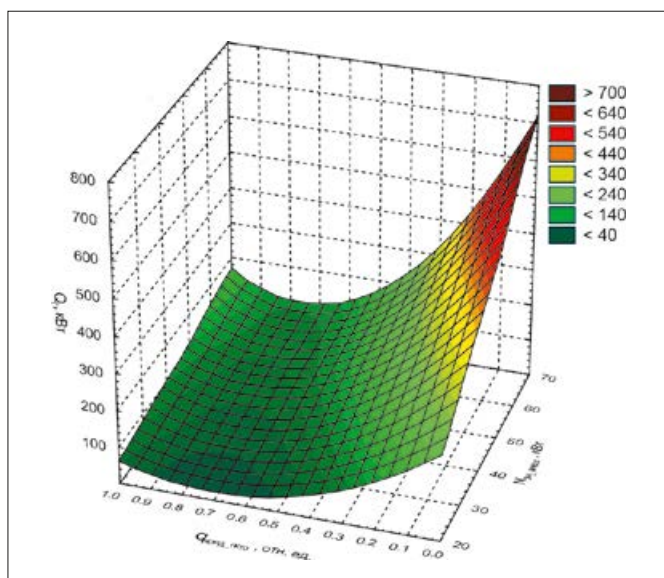


Рис. 4. Форма зависимости количества тепловой энергии, передаваемой газу в конденсаторе ТНУ и ПКТО, от отношения тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО и от внешней электрической нагрузки ЭК

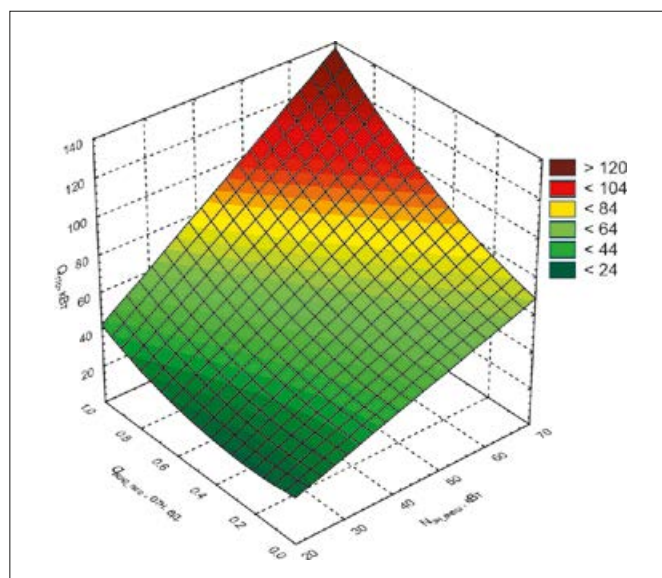


Рис. 6. Форма зависимости количества тепловой энергии, передаваемой ГТО конденсатору ТНУ, от отношения тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО и от внешней электрической нагрузки ЭК

Для реализации указанных выше оптимальных режимов функционирования детандер-генераторного агрегата, оборудования тепловой насосной установки и низкопотенциальных возобновляемых источников энергии предложена трёх-уровневая архитектура системы управления энергокомплекса АГРС-НП, включающая следующие уровни (рис. 7):

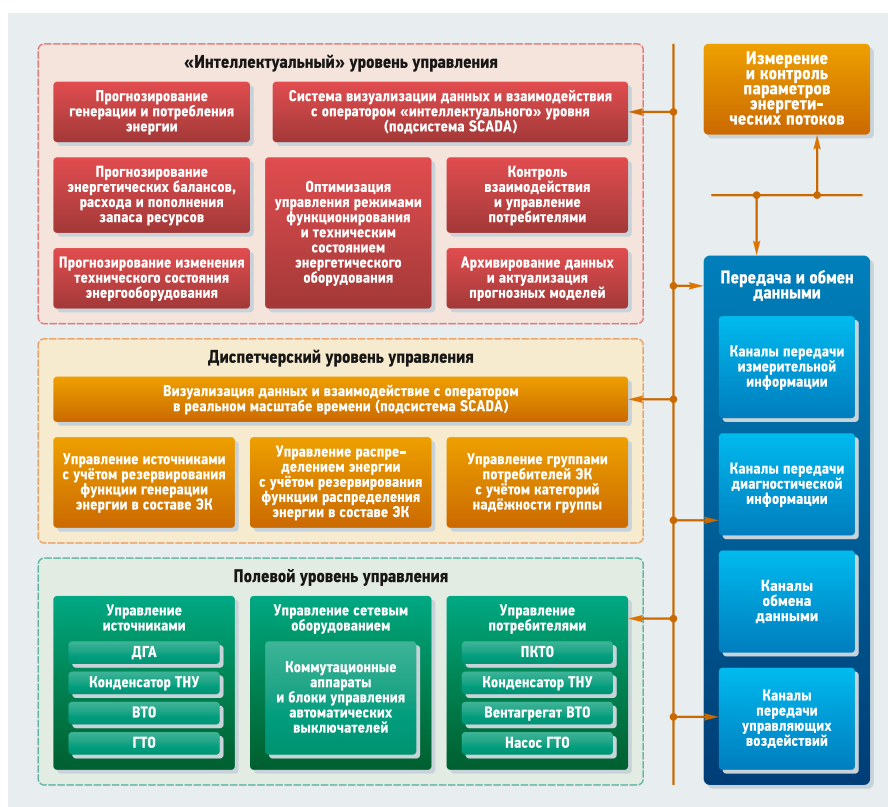
1. «Полевой» (непосредственно рабочий) уровень управления технологическими процессами (преобразования, распределения и потребления энергии).

2. Диспетчерский уровень контроля и управления оборудованием энергокомплекса, осуществляемый в режиме реального времени.

3. Интеллектуальный уровень управления, решающий задачи:

- прогнозирования генерации, потребления и энергобалансов в системе;
- прогнозирования изменения технического состояния и отказов оборудования энергокомплекса;
- корректировки планов технических обслуживаний и ремонтов;
- оптимизации режимов функционирования оборудования энергокомплекса;
- хранение данных, поступающих с полевого и диспетчерского уровней управления, а также результатов прогнозирования и контроля взаимодействия и управления потребителями энергокомплекса.

При разработке математического и алгоритмического обеспечения системы управления использованы различные методы синтеза функций управления генерирующим, распределительным и потребляющим оборудованием. Так, например, прогнозирование случайного поступления вторичных энергоресурсов, генера-



... Рис. 7. Архитектура системы управления энергокомплексом АГРС-НП

ции и потребления электрической энергии представлено математическим описанием основных статистических зависимостей, полученных в результате анализа как многолетних (архивных) наблюдений, так и результатов текущих измерений основных технологических параметров энергокомплекса.

Специально разработанное прикладное программное обеспечение соответствует принятой архитектуре системы управления, реализует функции распре-

делённого управления и противоаварийных защит, а также предусматривает использование всех результатов прогнозирования, что обеспечивает перевод обслуживания оборудования энергокомплекса «по плану» к обслуживанию «по факту» и снижает не только общее количество отказов, но и затраты на ликвидацию последствий их возникновения.

Таким образом, по результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная имитационная модель позволила выбрать оптимальную структуру энергокомплекса АГРС-НП с детандер-генераторным агрегатом и ВИЭ, состоящую из трёх функционально связанных технологических контуров: газовый контур с трубопроводами высокого и низкого давления, двумя подогревателями газа и ДГА, преобразующим потенциальную энергию газа высокого давления в электрическую энергию; тепловой контур хладагента тепловой насосной установки с компрессором, конденсатором, редуктором и испарителем, принимающим, преобразующим и передающим теплоту от жидкостного контура ВИЭ газовому контуру ДГА; жидкостной контур теплоносителя ВИЭ с насосом, трёхходовым вентилем, воздушным и грунтовым теплообменниками, преобразующими теплоту, получаемую от ВИЭ, и передающими её в тепловой контур ТНУ.



... Автоматическая газораспределительная станция №10 (АГРС-10) Вынгапуровского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Сургут» снабжает газом город Ноябрьск Ямало-Ненецкого АО

2. С помощью имитационной модели согласованы режимы и параметры функционирования энергетического оборудования ЭК АГРС-НП. Так, например, при оптимальном (по капитальным затратам) отношении тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО, соответственно, 0,8 к 0,2, для обеспечения внешней электрической нагрузки в 70 кВт расход газа через ДГА должен быть не менее 0,8 кг/с при подогреве до 90 °С и давлении на входе ДГА 6 МПа. Для обеспечения внешней электрической нагрузки в 40 кВт расход газа через ДГА должен быть не менее 0,45 кг/с при тех же значениях температуры и давления газа на входе ДГА и том же отношении тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО.

3. Использование ПКТО как дополнительного теплообменного аппарата позволяет при оптимальном отношении тепловых мощностей конденсатора ТНУ и ПКТО снизить количество энергии, вырабатываемой ДГА для обеспечения собственных нужд ЭК АГРС-НП. Так, для приведённых в качестве примера режимов электрическая мощность, потребляемая на собственные нужды энергокомплекса, составит 115,6 и 66,2 кВт, соответственно. Электрическая мощность, потребляемая на собственные нужды ЭК без ПКТО, составит 133 и 76 кВт, соответственно, что на 13 % ниже по сравнению с вариантом с ПКТО.

4. Исследованные схемные решения структуры ЭК АГРС-НП для доведения их до серийного производства, унификации и промышленной сертификации (в соответствии с требованиями действующих нормативных документов) требуют дополнительных экспериментальных и технико-экономических исследований.

5. Полученные в ходе исследований результаты позволяют считать предложенный расчётный способ минимизации затрат на создание энергокомплекса АГРС-НП с использованием ВИЭ комплексным, инновационным и обеспечивающим переход на малолюдные технологии эксплуатации энергетического оборудования, в соответствии с требованиями нормативных документов [2]. ●

1. Михаленко В.А., Савин А.А., Дистанов А.Ю., Лигачёв А.В., Алимов С.В., Тарасов В.В. Новые горизонты технического развития газораспределительных станций // Газовая промышленность, 2020. №5. С. 52–57.
 2. СТО Газпром 2-2.3-1081–2016. Газораспределительные станции. Общие технические требования. — СПб., 2018. 94 с.
 3. Петухова С.Ю., Тутов И.И. Энергосберегающие технологии управления электропотреблением газораспределительных станций / Новые технологии и проблемы технических наук: Сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-техн. конф. — Красноярск: СибГУ, 2016. №3.
 4. Щипачев А.М., Белоусов А.Г., Дмитриева Е.С. Повышение эффективности редуцирования природного газа на газораспределительных станциях // Neftegaz.ru, 2020. №3. С. 92–96.
 5. Аверьянов В.К., Карасевич А.М., Федяев А.В. Системы малой энергетики: современное состояние и перспективы развития. Т. 1, 2. — М.: ИД «Страховое ревю», 2008. 962 с.
 6. Журмилова И.А. Совершенствование систем тепло- и холодоснабжения зданий с применением грунтовых теплообменников: дисс. канд. техн. наук по спец. 05.23.03. — Пенза: ПГУАС, 2016. 155 с.
 7. Байдакова Ю.О. Исследование эффективности схем бестопливных установок генерации электроэнергии на основе детандер-генераторных агрегатов и тепловых насосов: дисс. канд. техн. наук по спец. 05.14.01. — М.: НИУ МЭИ, 2013. 155 с.
 8. Фокин Г.А. Методология создания автономных турбинных источников электрической энергии, использующих энергию сжатого природного газа для собственных нужд газотранспортной системы: дисс. доктора техн. наук по спец. 05.04.12. — СПб.: СПбПУ, 2015. 456 с.
 9. Программа по внедрению турбодетандерных установок на ГРС для получения сжиженного природного газа и для выработки электроэнергии (утв. 22.03.2016 №03-42) / ПАО «Газпром». — М., 2016.
 10. Аверьянов В.К., Давыдов О.А., Елистратов В.В., Кирюхин С.Н. Автономное энергоснабжение газораспределительной станции с использованием альтернативных источников энергии // Журнал СОК, 2020. №11. С. 56–60.
- [References — see page 79.](#)

Autonomous power supply of automated gas distribution stations of the new generation. Pp. 58–65.

Vladimir K. Averyanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN), adviser to the general director of "Gazprom promgaz", JSC; **Oleg A. Davydov**, engineer, deputy general director for construction of infrastructure facilities of "Ruskhimallians", LLC; **Viktor V. Elistratov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, director of the "Renewable energy and installations based on them" Scientific and Educational Center; **Sergey N. Kiryukhin**, PhD, Associate Professor, deputy head of the department of "Gazprom promgaz", JSC

1. V.A. Mihalenko, A.A. Savin, A.Ju. Distanov, A.V. Ligachev, S.V. Alimov, V.V. Tarasov. *Novye gorizonty tehnikeskogo razvitiya gazoraspredeletel'nykh stancij* [New horizons for the technical development of gas distribution stations]. *Gazovaja promyshlennost'* ["Gas industry" Magazine]. 2020. No. 5. Pp. 52–57. [In Russian]
2. *STO Gazprom 2-2.3-1081-2016* [Standard of the "Gazprom", PJSC, No. 2-2.3-1081-2016]. *Gazoraspredeletel'nye stancii. Obshhie tehnikeskie trebovaniya* [Gas distribution stations. General technical requirements]. St. Petersburg. 2018. 94 p. [In Russian]
3. S.Ju. Petuhova, I.I. Tugov. *Jenergoberegajushhie tehnologii upravleniya elektropotrebleniem gazoraspredeletel'nykh stancij* [Energy-saving technologies for managing the power consumption of gas distribution stations]. *Novye tehnologii i problemy tehnikeskikh nauk: Sb. nauch. trudov po itogam mezhd. nauch.-tehnik. konf.* [New technologies and problems of technical sciences: Collection of scientific papers on the results of an international scientific and technical conference]. Krasnoyarsk. SibGU [Siberian State University of Science and Technologies]. 2016. No. 3. [In Russian]
4. A.M. Shhipachev, A.G. Belousov, E.S. Dmitrieva. *Povyshenie jeffektivnosti reducirovaniya prirodnogo gaza na gazoraspredeletel'nykh stancijah* [Increasing the efficiency of natural gas reduction at gas distribution stations]. *Neftegaz.ru*. 2020. No. 3. Pp. 92–96. [In Russian]
5. V.K. Aver'janov, A.M. Karasevich, A.V. Fedjaev. *Sistemy maloj jenergetiki: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya* [Small-scale energy systems: current state and development prospects]. Vol. 1, 2. Moscow. ID "Strahovoe revju" ["Insurance Review" Publishing House]. 2008. 962 p. [In Russian]
6. I.A. Zhurmilova. *Sovershenstvovanie sistem teplo- i holodosnabzheniya zdaniy s primeneniem gruntovykh teploobmennikov* [Improvement of systems of heat and cold supply of buildings with the use of ground heat exchangers]. *The dissertation of a PhD in specialty No. 05.23.03*. Penza. PGUAS [Penza State University of Architecture and Construction]. 2016. 155 p. [In Russian]
7. Ju.O. Bajdakova. *Issledovanie jeffektivnosti shem bestoplivnykh ustanovok generacii elektrojenergii na osnove detander-generatornykh agregatov i teplovnykh nasosov* [Investigation of the efficiency of schemes of fuel-free power generation plants based on expander-generator units and heat pumps]. *The dissertation of a PhD in specialty No. 05.14.01*. Moscow. NIU MEl [Moscow Power Engineering Institute]. 2013. 155 p. [In Russian]
8. G.A. Fokin. *Metodologiya sozdaniya avtonomnykh turbinnykh istochnikov elektricheskoy jenerгии, ispol'zujushchih jenerгiju szhatogo prirodnogo gaza dlja sobstvennykh nuzhd gazotransportnoj sistemy* [Methodology for the creation of autonomous turbine sources of electrical energy using compressed natural gas energy for the own needs of the gas transmission system]. *The dissertation of Doctor of Technical Sciences in specialty No. 05.04.12*. St. Petersburg. SPbPU [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2015. 456 p. [In Russian]
9. *Programma po vnedreniju turbodetandernykh ustanovok na GRS dlja poluchenija szhizhenogo prirodnogo gaza i dlja vyrabotki elektrojenergii* [Program for the introduction of turboexpander units at gas distribution stations for obtaining liquefied natural gas and for generating electricity]. "Gazprom", PJSC. Moscow. 2016. [In Russian]
10. V.K. Aver'janov, O.A. Davydov, V.V. Elistratov, S.N. Kiryukhin. *Avtonomnoe jenergосnabzhenie gazoraspredeletel'noj stancii s ispol'zovaniem al'ternativnykh istochnikov jenerгии* [Autonomous power supply of the gas distribution station using alternative energy sources]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2020. No. 11. Pp. 56–60. [In Russian]