

УДК 613.1:622.279

**АНАЛИЗ ПИКОВЫХ РЕЖИМОВ УСТАНОВОК КОМПЛЕКСНОЙ
ПОДГОТОВКИ ГАЗА (УКПГ) БОВАНЕНКОВСКОГО
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НГКМ)**

**ANALYSIS OF PEAK MODES COMPLEX GAS (GPP)
BOVANENKOVSKOYE OIL AND GAS FIELD (NGKM)**

Давлетов К.М., Глазунов В. Ю., Эльберт И.П., Хафизов А.Р.

ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Российская Федерация
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

K.M. Davletov, V.Yu. Glazunov, I.P. Elbert, A.R. Hafizov

ITC LLC “Gazprom mining Nadym”, Nadym, the Russian Federation
FSBEI of HPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation

e-mail: hafizov57@mail.ru

Аннотация. Основной способ подготовки природного газа на газоконденсатных месторождениях – низкотемпературная сепарация (НТС), т.е. процесс отделения из природного газа жидкой фазы путем ее конденсации при воздействии низких температур. Расширение газа в детандере – наиболее эффективный способ его охлаждения, характеризуются минимальными приведенными затратами, металлоемкостью и другими показателями по сравнению с холодильными машинами другого типа. На УКПГ Бованенковского НГКМ эксплуатируются осевые ТДА производства ОАО «Турбохолод» с магнитными опорами. Проведена оценка термодинамической эффективности ТДА по итогам эксплуатации за июль 2013 г. и даны рекомендации по нормализации работы УКПГ в жаркий период.

Основные причины изменения режима работы ТДА – широкий диапазон изменения входного давления, расхода газа, колебания состава и фазы среды, изменение степени охлаждения его в зависимости от условий окружающей среды. Изменение расхода газа возможно не только из-за колебаний в потреблении газа, но из-за нарушения работы фонда скважин, а также вследствие останова или перекладки другой технологической линии, газоперекачивающих агрегатов ДКС и т.д. В отличие от центробежного компрессора, где расход газа в основном зависит от частоты вращения ротора, на расходные характеристики осевой ступени турбины детандера большее влияние оказывают значения параметров: температура и давление газа на входе, давление газа на выходе, изменение

площади соплового аппарата за счет поворотного соплового аппарата. В результате возмущений изменяются качество подготовки газа, уровень общих энергозатрат, количество получаемого конденсата. Кроме того, могут возникнуть условия, приводящие к отказам агрегата: попадание механических примесей и капельной жидкости, недостаточная виброустойчивость магнитного подвеса при увеличении нагрузок.

Abstract. The main way to prepare natural gas condensate fields – low-temperature separation (STC), ie process of separating the liquid from the gas phase by condensation at lower temperatures. Expansion of the gas expander – the most effective method of cooling, characterized by minimal reduced costs, metal content and other indicators in comparison with other types of chillers. The GPP Bovanenkovskoye NGKM operated axial TDA production of "Turboholod" with magnetic bearings . The estimation of the thermodynamic efficiency of the TDA on the results of operation in July 2013 and recommendations for the normalization of the GPP in the hot period.

The main reasons for changing the operating mode of the TDA – a wide range of variation of inlet pressure, gas flow rate variation in composition and phase of the medium, changing its degree of cooling depending on the environmental conditions. Changing the gas flow is possible not only due to fluctuations in gas consumption, but because of a violation of wells, and also due to stop relaying or other production lines, pumping units, etc. Unlike centrifugal compressor, wherein the gas flow rate mainly depends on the rotational speed of the rotor on the flow characteristics of an axial turbine stage expander more influenced by parameters such as temperature and pressure of the inlet gas, the gas pressure at the outlet area of the nozzle changing device by a revolving nozzle apparatus. As a result of perturbations change the gas quality, the level of total energy consumption, the amount of condensate produced. In addition, conditions may arise, leading to failure of the unit: mechanical impurities from entering and dropping liquid, insufficient vibration of the magnetic suspension with increasing loads.

Ключевые слова: низкотемпературная сепарация, турбодетандерный агрегат, производительность технологических линий, коэффициент полезного действия.

Key words: low-temperature separation, turbo-expander unit, the performance of production lines, efficiency.

Бованенковское НГКМ расположено на полуострове Ямал в 40 км от побережья Карского моря, спроектировано как единый комплекс УКПГ, ДКС и системы магистрального транспорта газа.

По проекту обустройства месторождения для обеспечения однофазного транспорта газа используется технология низкотемпературной сепарации (НТС) с

применением турбодетандерных агрегатов (ТДА). Упрощённая принципиальная схема НТС с ТДА приведена на (0).

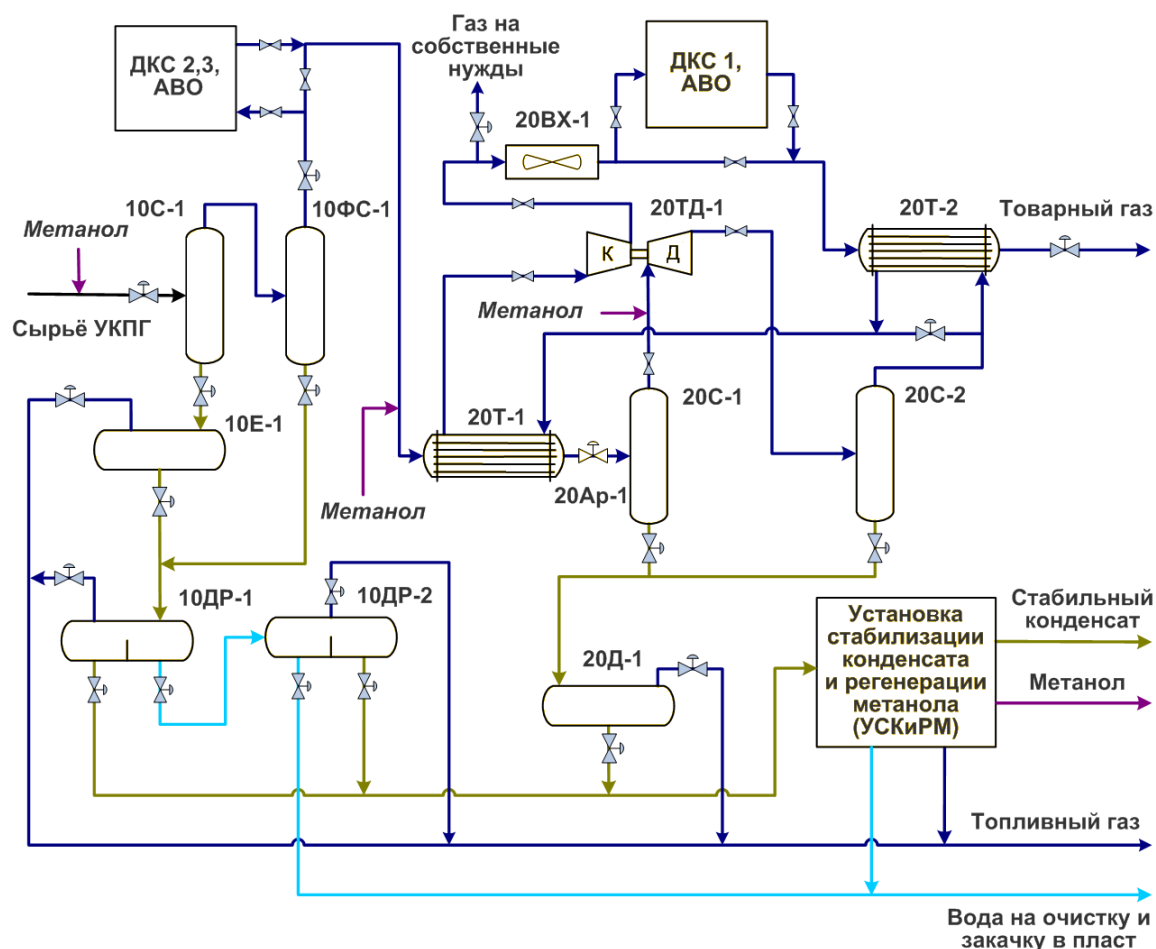


Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема установки НТС с ТДА

Схемой предусмотрена трёхступенчатая сепарация, охлаждение газа происходит при редуцировании на узле входных ниток, в рекуперативном теплообменнике 20Т-1 и в турбодетандере ТДА. Газ НТС после компримирования в турбокомпрессоре ТДА охлаждается в воздушном холодильнике 20ВХ-1, затем компримируется на ДКС-1, охлажденный в АВО газ ДКС-1 охлаждается в рекуперативном теплообменнике 20Т-2 и поступает в магистральный газопровод (МГ) Бованенково - Ухта. Следует отметить, что выходящий из турбины газ после сепарации в низкотемпературном сепараторе поступает в теплообменник, а затем на вход в компрессор. Уменьшение давления и повышение температуры газа на входе в компрессор оказывают значительное влияние на параметры совместной работы компрессора и турбины в установках НТС, в том числе на величину определяющую перепад давлений в установке, с целью получения заданного охлаждения газа.

Характеристики оборудования УКПГ должны обеспечивать не только условия НТС для подготовки газа и извлечения конденсата, но и

низкотемпературный транспорт газа для сохранения устойчивости МГ. Особенностью схемы является интеграция ДКС-1 в процесс НТС для обеспечения процесса низкотемпературного и однофазного транспорта газа. По мере падения пластового давления поочередно вводятся ДКС-2, 3 для поддержания давления газа на входе НТС. Но при этом ожидается, что температура газа возрастёт из-за компримирования и невозможности охлаждения в АВО газа ниже температуры наружного воздуха, что в итоге негативно отразится на температурном режиме НТС в жаркий период года.

Работа ТДА (0) протекает в условиях больших колебаний параметров газа. Основные причины изменения режима работы ТДА - широкий диапазон изменения входного давления, расхода газа, колебания состава и фазы среды, изменение степени охлаждения его в зависимости от условий окружающей среды. Изменение расхода газа возможно не только из-за колебаний в потреблении газа, но из-за нарушения работы фонда скважин, а также вследствие останова или переключки другой технологической линии, газоперекачивающих агрегатов ДКС и т.д. В отличие от центробежного компрессора, где расход газа в основном зависит от частоты вращения ротора, на расходные характеристики осевой ступени турбины детандера большее влияние оказывают значения параметров: температура и давление газа на входе, давление газа на выходе, изменение площади соплового аппарата за счет поворотного соплового аппарата. В результате возмущений изменяются качество подготовки газа, уровень общих энергозатрат, количество получаемого конденсата. Кроме того, могут возникнуть условия, приводящие к отказам агрегата: попадание механических примесей и капельной жидкости, недостаточная виброустойчивость магнитного подвеса при увеличении нагрузок.

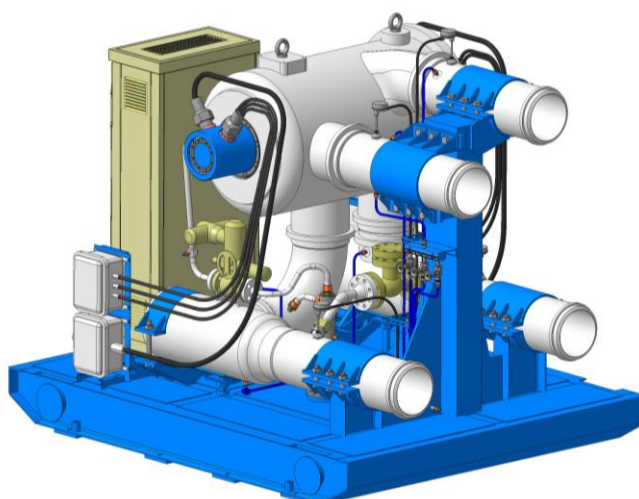


Рисунок 2. Агрегат турбодетандерный АДКГ

Расход газа в технологической цепочке может регулироваться количественным образом: количеством работающих скважин, технологических линий, ГПА ДКС-1; а также качественно: дросселирование газа в редуцирующих устройствах, изменение площади поворотного соплового аппарата ТДА и изменение оборотов ГПА. Воздействие с помощью дросселирования потока перед ТДА нецелесообразно, так как приводит к снижению располагаемого теплоперепада, что снижает мощность турбины, затрачиваемую на работу сжатия компрессора. При этом важно, чтобы параметры, определяющие качество подготовки газа не выходили за границы допустимых значений [3].

Технологический анализ работы турбохолодильной техники проведён на основе статистических данных по режимам работы установки НТС с ТДА УКПГ в летний период 2013 г. Как показывает опыт эксплуатации, значительное влияние на эффективность в работе ТДА оказывает регулируемый сопловой аппарат (РСА), а именно установка оптимального угла. При не соблюдении данного условия ТДА не выдаёт требуемые значения по π_T , ΔP , ΔT . В жаркий период при равных технологических условиях отмечалось снижение эффективности детандера по некоторым технологическим ниткам НТС, при этом их РСА находились в минимальном (прикрытом) положении.

Анализ эксплуатационных данных показал, что параметры работы ТДА в основном, соответствуют диапазонам, регламентированным ТУ:

- перепад температур на турбодетандерах 46-25 градусов;
- температуру за турбиной минус 38...21 °С при степенях расширения 2,1...1,5;
- давление на выходе компрессора 6,49...6,58 МПа при степенях сжатия 1,24...1,41;
- частота вращения ротора в диапазоне 12100-16740 об/мин.

При этом обеспечивается высокая степени охлаждения, $(\Delta T/\Delta P)_T = 0,78-0,86$ °С/ата, и коэффициент восстановления давления в ТДА, $\Delta P_K/\Delta P_T = 0,32-0,43$.

На основе анализа эксплуатационных режимов ТДА можно сделать выводы: для обеспечения номинального отношения давлений турбины необходимы повышенные обороты, при этом адиабатный к.п.д. турбины снижен, что выражается в уменьшении разности температур и мощности. Снижение эффективности осевой турбины детандера определено увеличенным радиальным зазором между рабочими лопатками и статором за счет износа радиального уплотнения, а также уменьшением адиабатного к.п.д. при прикрытии поворотного соплового аппарата. Обеспечение высоких отношений давлений в ТДА для создания условий НТС ограничивается виброустойчивостью и нагрузками ТДА, хладностойкостью металла оборудования УКПГ. Параметры рабочего тела на входе в турбину ТДА оказывают существенное влияние на степень охлаждения газа. Эффективность охлаждения газа при степенях понижения давления в турбине 1,9 и более варьируются в пределах 0,85...0,9 °С/ата (рисунок 3).

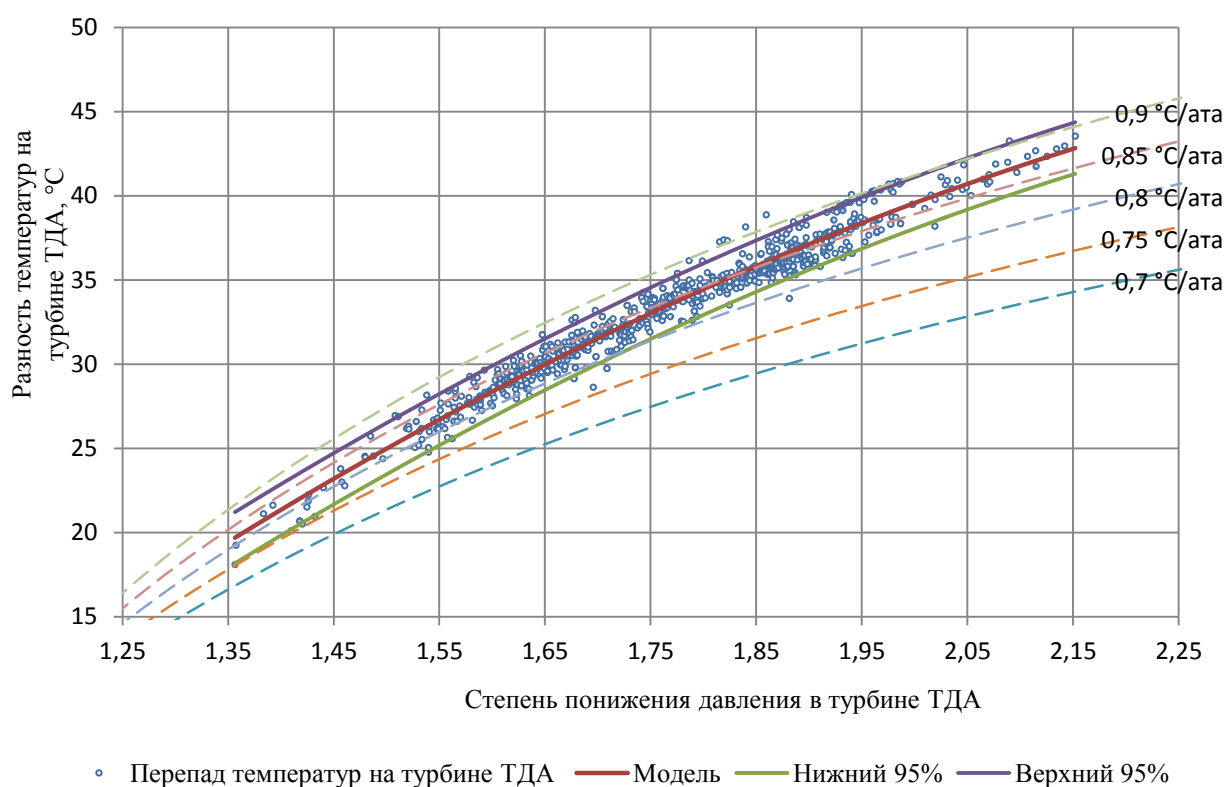


Рисунок 3. Эффективность охлаждения рабочего тела в турбине ТДА

Для дальнейшего совершенствования рассматриваемой технологии актуальна комплексная оценка эффективности каждой единицы оборудования с учётом влияния на эффективность технологии в целом. С целью оценки эффективности работы НТС с ТДА необходимо установить соответствие между режимами работы ТДА и показателями качества подготовки газа. Для этого осуществляется расчёт режимов работы НТС с ТДА при фиксированных характеристиках теплообменного, сепарационного и компрессорного оборудования для различных параметров работы турбодетандера. В результате определяется область допустимой работы технологии, в которой одновременно обеспечиваются требования к температуре НТС и на выходе из УКПГ (рисунок 4).

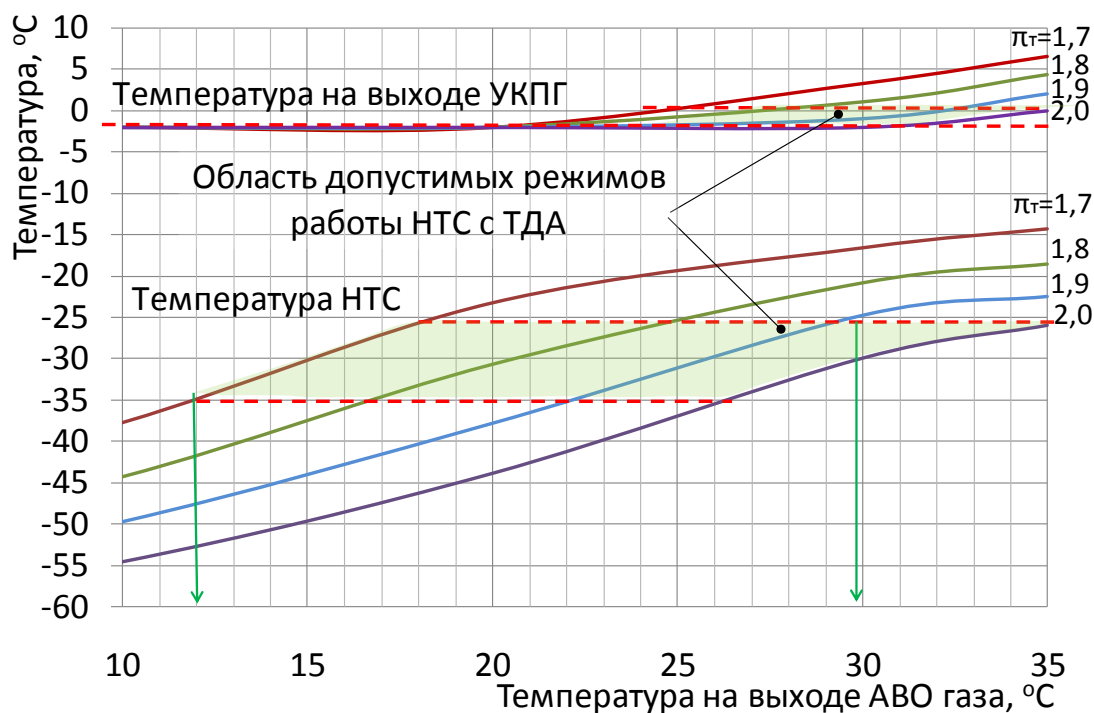


Рисунок 4. Оценка области допустимых режимов работы ТДА

В связи с тем, что адекватные газодинамические характеристики ТДА пока отсутствуют, номограммы построены для серии значений степени расширения газа в детандере: от 1,7 до 2,0 единиц. Для каждого значения степени расширения определялись зависимости температуры НТС и температуры газа на выходе из УКПГ от температуры газа после воздушных холодильников 20ВХ-1 и АВО ДКС-1. На поле номограммы выделена область, между температурами НТС минус 25 °С (лето) и минус 35 °С (зима). Эта область определяет диапазоны основных параметров ТДА, воздушных холодильников и НТС и является основой для оптимизации всей технологической системы. Из номограмм видно, что в летний период обеспечить приемлемые температурные режимы НТС (минус 25 °С) и температуру газа на выходе из УКПГ (минус 2...0°С) возможно только при степени расширения в турбодетандере не менее 2 единиц, при этом давление газа в первичном сепараторе должно составить не менее 10,6 МПа. Напротив, в зимний период при стремлении максимально полно использовать холод атмосферного воздуха потребуется минимальное давление входного газа (9,6 МПа) со степенью расширения в турбодетандере 1,7 единиц [2].

Дальнейшую более детальную оптимизацию технологической системы НТС с ТДА можно проводить только с участием разработчиков ТДА.

Выводы

По результатам анализа эксплуатационных режимов УКПГ ГП-2 БНГКМ в летний период предложен ряд решений по нормализации работы УКПГ в жаркий период.

- Увеличение степени расширения в турбине ТДА до 2,1 единиц. Это может быть осуществлено за счёт повышения давления на входе в турбину ТДА до 10,4-10,6 МПа. В этом случае температура НТС составит $-24,6^{\circ}\text{C}$ при давлении НТС 5,0..5,1 МПа, а расчётная температура газа на выходе УКПГ снизится до минус 1,5...минус $1,7^{\circ}\text{C}$.

- Снижение степени сжатия ДКС-1. Увеличение степени расширения влечёт за собой увеличение частоты вращения ротора ТДА. Если это технически невозможно, то можно осуществить альтернативный вариант регулирования – сохранить существующие степени расширения (1,88), но увеличить давление на входе турбины до 10,1-10,2 МПа. Это позволит снизить степень сжатия ДКС до 1,49-1,51 и тем самым снизить температуру нагнетания до $63-64^{\circ}\text{C}$. При сохранении существующей разницы температур на горячем потоке АВО ДКС-1 (35 градусов) температура на выходе АВО газа составит $28-30^{\circ}\text{C}$, а на выходе УКПГ минус 1,1...минус $0,5^{\circ}\text{C}$. При этом температура НТС будет минус $19,3^{\circ}\text{C}$ и давление НТС 5,4...5,5 МПа.

- Снижение общего расхода газа по технологическим ниткам. Отключение ниток на период с аномально высокими температурами для снижения тепловой нагрузки на 20Т-2 и тем самым обеспечения низких температур на входе в МГ.

Список используемых источников

1. Кубанов А.Н., Сулейманов В.А., Туревский Е.Н. Анализ вариантов подготовки газа Бованенковского ГКМ и условий эксплуатации газопровода // Газовая промышленность. 1994. № 3. С. 8.

2. Кубанов А.Н. Особенности применения НТС для подготовки газа Бованенковского ГКМ // Газовая промышленность. 1994. № 7. С. 15.

3. Кубанов А.Н. Особенности использования процесса НТС для подготовки к транспорту тощих газов месторождений полуострова Ямал: сб. ст. // Материалы научно-технического совета РАО «Газпром» (Саратов, октябрь 1995 г.). М.: ИРЦ Газпром, 1996. С. 94-100.

4. Степанов А.А. Энергосберегающие турбодетандерные установки. М.: Недра, 1999. 258 с.

5. Язык А.В. Турбодетандеры в системах промысловой подготовки природного газа. М.: Недра, 1977. 173 с.

References

1. Kubanov A.N., Sulejmanov V.A., Turevskij E.N. Analiz variantov podgotovki gaza Bovanenkovskogo GKM i uslovij jekspluatcii gazoprovoda // Gazovaja promyshlennost'. 1994. № 3. S. 8. [in russian].
2. Kubanov A.N. Osobennosti primenenija NTS dlja podgotovki gaza Bovanenkovskogo GKM // Gazovaja promyshlennost'. 1994. № 7. S. 15. [in russian].
3. Kubanov A.N. Osobennosti ispol'zovanija processa NTS dlja podgotovki k transportu toshhih gazov mestorozhdenij poluostrova Jamal: sb. st. // Materialy nauchno-tehnicheskogo soveta RAO "Gazprom"(Saratov, oktjabr' 1995 g.). M.: IRC Gazprom, 1996. S. 94-100. [in russian].
4. Stepanov A.A. Jenergosberegajushhie turbodetandernye ustanovki. M.: Nedra, 1999. 258 s. [in russian].
5. Jazik A.V. Turbodetandery v sistemah promyslovoj podgotovki prirodnogo gaza. M.: Nedra, 1977. 173 s. [in russian].

Сведения об авторах

Information about authors

Давлетов К.М., д-р техн. наук, начальник служб ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Российская Федерация

K.M. Davletov, Doctor of Technical Sciences, Head of production process monitoring collection and preparation of gas "Gazprom mining Nadym", Nadym, the Russian Federation

Глазунов В. Ю., руководитель группы специалистов по моделированию и оптимизации режимов работы систем подготовки газа к транспорту, ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Российская Федерация

V. Yu. Glazunov, head of the specialist group on modeling and optimization of production systems to transport gas, ITC LLC. "Gazprom mining Nadym", Nadym, the Russian Federation

Эльберт И.П., инженер-технолог службы мониторинга технологических процессов добычи сбора и подготовки газа ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым»

I.P. Elbert, engineer service production process monitoring collection and preparation of gas ITC LLC. "Gazprom mining Nadym", Nadym, the Russian Federation

Хафизов А. Р., д-р техн. наук, декан ГНФ, ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. R. Hafizov, Doctor of Technical Sciences, dean of the mountain - petroleum faculty, FSBEI of HPE "Ufa State Petroleum Technological University", Ufa, the Russian Federation

e-mail: hafizov57@mail.ru