

Библиографический список

1. Dawe R. A., Thomas S., Kromah M. Hydrate technology for transporting natural gas // Engineering Journal of the University of Qatar. – 2003. – Vol.16. – P. 11–18.
2. Effects of guest gas on pelletizing performance of natural gas hydrate (NGH) pellets / T. Murayama [et al.] // Proceedings of the 7th international conference on gas hydrate (ICGH 2011). – Edinburgh, Scotland, United Kingdom. – 2011. – July (17–21). Available at: <http://www.pet.hw.ac.uk/icgh7/papers/icgh2011Final00543.pdf>.
3. Rivera J. J., Janda K. C. Ice Particle Size and Temperature Dependence of the Kinetics of Propane Clathrate Hydrate Formation // The Journal of Physical Chemistry C. – 2012. – Vol. 116. – P. 19062–19072.
4. Образование переохлажденной воды при диссоциации газовых гидратов по данным метода ядерного магнитного резонанса / В. А. Власов [и др.] // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV, № 4. – С. 83–85.
5. Заводовский А. Г., Мадьгулов М. Ш., Решетников А. М. Кинетика роста газогидрата фреона-12 при термоциклировании образца // Криосфера Земли. – 2017. – Т. XXI, № 5. – С. 55–62.
6. Blackford J. R. Sintering and microstructure of ice: a review // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2007. – Vol. 40. – P. 355–385.
7. Inhibition–Promotion: Dual Effects of Polyvinylpyrrolidone (PVP) on Structure-II Hydrate Nucleation / W. Ke [et al.] // Energy Fuels. – 2016. – Vol. 30 (6). – P. 7646–7655.
8. Мадьгулов М. Ш., Заводовский А. Г., Щипанов В. П. Образование газовых гидратов на основе мелкодисперсного льда с добавками поливинилпирролидона // Материалы 5-й конференции геокриологов России. Часть 8. Физико-химия и теплофизика мерзлых пород. Часть 9. Механика мерзлых пород. Часть 10. Газ и газогидраты в криолитозоне. Часть 11. Экологические и биологические проблемы криолитозоны. Часть 12. Геокриологическое картографирование образца // Криосфера Земли. – 2017. – Т. XXI, № 5. – С. 157–162.
9. Мадьгулов М. Ш., Заводовский А. Г., Щипанов В. П. Кинетика образования и роста газогидратов на основе модифицированного льда // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 6. – С. 117–122.
10. Бык С. Ш., Макогон Ю. Ф., Фомина В. И. Газовые гидраты. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
11. Заводовский А. Г., Мадьгулов М. Ш., Решетников А. М. Равновесные условия и область метастабильных состояний газогидрата фреона-12 // Журнал физической химии. – 2015. – Т. 89, № 12. – С. 1845–1850.
12. Рост газовых гидратов в эмульсии вода/масло по данным метода дифференциального термического анализа / А. Г. Заводовский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 2. – С. 82–88.
13. Uchida T., Kusumoto S. Effects of Test Conditions on Fracture Toughness and Fracture Morphology of Polycrystalline Ice // JSME International Journal. – 1999. – Vol. 42, Issue 4. – P. 601–609.
14. Sloan E. D., Fleyfel F. A molecular mechanism for gas hydrate nucleation from ice // AIChE Journal. – 1991. – Vol. 37, Issue 9. – P. 1281–1292.
15. Головин Ю. И., Шибков А. А., Шишкина О. В. Эффект полного восстановления поверхности льда после индентирования льда в температурном интервале 243–268K // Физика твердого тела. – 2000. – Т. 42, Вып. 7. – С. 1250–1252.
16. Jellinek H. H. G., Fok S. Y. Freezing of aqueous polyvinylpyrrolidone solutions // Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere. – 1967. – Vol. 220, Issue 2. – P. 122–133.
17. Freezing patterns in quench frozen, freeze-dried polyvinylpyrrolidone / P. Scheie [et al.] // Journal of Microscopy. – 1982. – Vol. 126, Issue 3. – P. 237–242.

Сведения об авторах

Мадьгулов Марат Шаукатович, младший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, тел. 8(3452)688727, e-mail: marat747@gmail.com

Заводовский Алексей Геннадьевич, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, тел. 8(3452)688727, e-mail: zag-2-57@yandex.ru

Щипанов Владимир Павлович, д. х. н., профессор кафедры общей и физической химии, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)230497

Information about the authors

Madygulov M. Sh., Junior Researcher of Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, phone: 8(3452)688727, e-mail: marat747@gmail.com

Zavodovsky A. G., Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher of Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, phone: 8(3452)688727, e-mail: zag-2-57@yandex.ru

Shchipanov V. P., Doctor of Chemistry, Professor at the Department of General and Physical Chemistry, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)230497

УДК 622.691.4.052

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR
DETERMINING RATINGS OF A GAS TURBINE ENGINE TO IMPROVE
THE QUALITY OF EQUIPMENT DIAGNOSTIC

А. И. Михайленко

A. I. Mikhaylenko

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: газотурбинный двигатель; диагностика; номинальный параметр;
расчетный параметр; методика

Key words: gas turbine engine; diagnostics; rating; design parameter; methodology

В современных условиях многие крупные промышленные объекты не могут обойтись без использования газотурбинных технологий, которые позволяют создавать надежные, экономичные, экологически чистые электростанции для собственных нужд, способные обеспечивать потребителей как электрической, так и тепловой энергией, существенно снизить затраты на их производство, а также обеспечить охрану окружающей среды за счет утилизации попутного нефтяного газа, в настоящее время сжигаемого в факелах.

Высокая эффективность применения газотурбинных технологий может быть достигнута только при условии оптимального использования технических возможностей и характеристик газотурбинного оборудования, входящего в состав электростанций, и оптимизации алгоритмов распределения нагрузки между параллельно работающими энергоблоками, что, в свою очередь, ставит задачи автоматического, без участия оперативного персонала, управления работой газотурбинных энергоблоков на всех режимах [1].

На сегодняшний день значительный опыт эксплуатации газотурбинных установок (ГТУ) накоплен в таких отраслях, как энергетика, авиация, морской транспорт, а также в трубопроводном транспорте природного газа. Вместе с тем необходимо учитывать, что надежность функционирования ГТУ зависит, прежде всего, от совершенства конструкции оборудования и технологий изготовления его основных элементов, затем от существующего цикла рабочего процесса и используемой конструктивной схемы и, наконец, в значительной степени от условий эксплуатации оборудования [2].

При этом надежность эксплуатации оборудования во многом зависит от эффективности и своевременности диагностики технического состояния газотурбинных двигателей (ГТД) и оценке отклонения рабочих параметров от номинальных [3].

Проведенный анализ литературы по теме исследования [1–4], анализ практического опыта НК «Роснефть» и ее дочерних компаний показал, что при проектировании ГТД заводы-изготовители предоставляют заказчику лишь ограниченное количество номинальных параметров оборудования. В связи с этим важен и актуален расчет номинальных параметров ГТД по всей проточной части двигателя. Это позволяет заказчику в ходе проведения приемочных испытаний ГТД проверить соответствие фактических номинальных параметров проектным параметрам оборудования.

Нами была разработана методика расчета номинальных параметров ГТД. В качестве апробации методики было использовано оборудование ГТЭ-6,3/МС (изготовитель АО «Мотор Сич» г. Запорожье, Украина), источником топлива выступает нефтяной газ из Тямкинского месторождения Уватского района Тюменской области, разрабатываемого ООО «РН-Уватнефтегаз», дочерней компании НК «Роснефть». Внешний вид ГТЭ-6,3/МС представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид ГТЭ-6,3/МС

Указанный ГТД является трехвальным, предназначен для привода синхронного генератора электростанции. Основные элементы ГТЭ-6,3/МС: компрессор низкого давления (КНД), корпус промежуточный, компрессор высокого давления (КВД), камера сгорания (КС), турбина высокого давления (ТВД), турбина низкого давления (ТНД), турбина силовая (ТС), коническая балка и силовой валопровод (рис. 2).

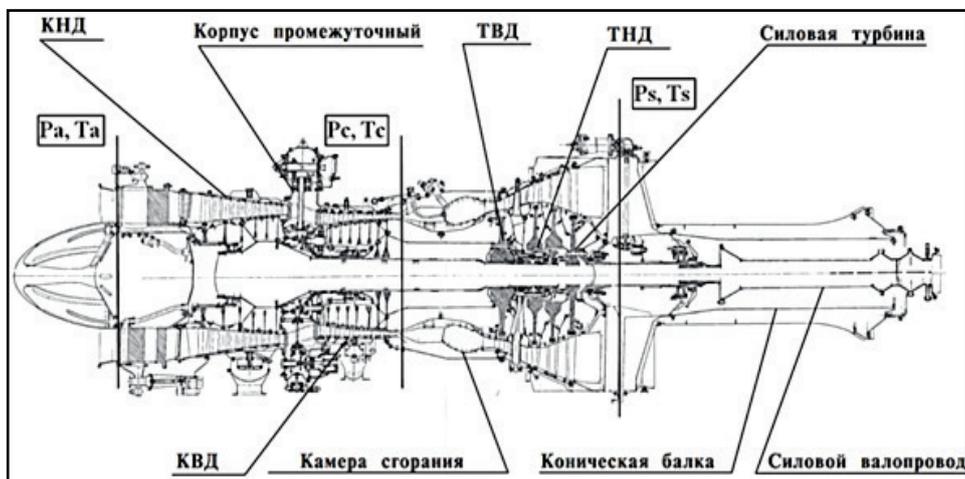


Рис. 2. Принципиальная схема ГТЭ-6,3/МС

Заводом-изготовителем в технической документации представлены следующие параметры (ограниченное количество) номинального режима работы ГТД:

1. Эффективная мощность ГТД ($N_e = 6300$ кВт).
2. Степень сжатия воздуха в ОК ($\varepsilon_{ок} = 15,9$).
3. Расход условного топлива на номинальном режиме в нормальных условиях ($B_{у.т.} = 0,4194$ кг/с) при низшей теплотворной способности условного топлива ($Q_{нр} = 50\,056$ кДж/кг).
4. Расход продуктов сгорания после ТС ($M_{пс} = 32,1652$ кг/с).
5. Температура продуктов сгорания на выходе ($T_s = 704$ К).
6. Потери давления на выходе турбины силовой ($\Delta P_s = 1,52$ кПа).
7. Эффективный КПД ГТД ($\eta = 32\%$).
8. Номинальная температура воздуха перед КНД ($T_a = 288$ К).
9. Номинальное давление воздуха перед КНД ($P_a = 101,33$ кПа).
10. Давление воздуха после КВД ($P_c = 1\,611,15$ кПа).

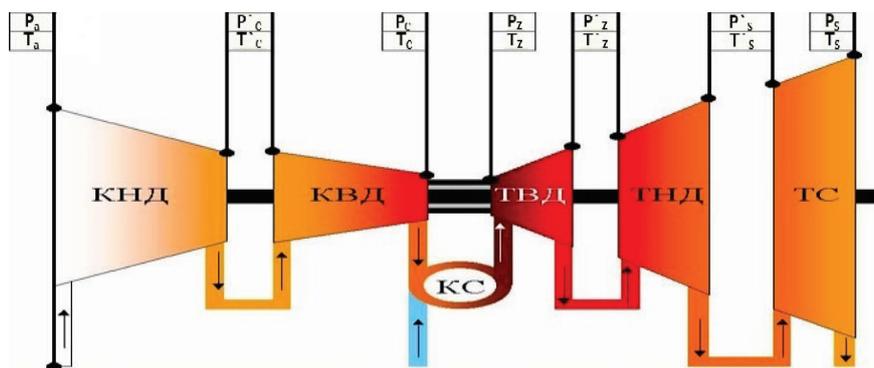


Рис. 3. Принципиальная схема проточной части ГТД

На рисунке 3 некоторые из этих параметров обозначены. Вместе с тем среди номинальных характеристик заводом-изготовителем представлены общие параметры ГТД (либо частично, снимаемые на различных узлах агрегата). Отсутствуют такие параметры, как температура воздуха после КВД (T_c), давление на выхлопе (P_s), и ряд других, имеющих важное значение с позиции оценки работоспособности, технического состояния и фактических характеристик ГТД.

В ходе исследования была разработана методика расчета номинальных параметров всей проточной части ГТД с погрешностью расчетов не более 2 %.

Результаты расчета номинального режима работы ГТЭ-6,3/МС представлены на рисунке 4.

КНД		КВД		ТВД		ТНД		СТ	
P_a	P'_c	P_c		P_z	P'_z	P'_s		P_s	
101,33	247,55	1611,15		1546,7	440,2	298,7		102,85	
T_a	T'_c	T_c		T_z	T'_z	T'_s		T_s	
288	387,6	724		1265	964	876		704	
$N_{КНД}$		$N_{КВД}$		$N_{ТВД}$		$N_{ТНД}$		$N_{СТ}$	
3293,4		11491,6		11673		3343		6362	
	N_{OK}					$N_{(ТВД+ТНД+СТ)}$			
	14785					21378			
	M_B					$M_{Пс}$			
	31,71					32,1652			
				B					
				0,4552					
				$\sigma_{кс}$					
				0,9732					
				η_e					
				0,303					

Рис. 4. Результаты расчета номинального режима работы ГТЭ-6,3/МС

Следует полагать, что расширение количества номинальных параметров ГТД позволяет заказчику в условиях эксплуатации оборудования провести качественные приемочные испытания двигателя, что повышает качество приемки за счет получения более полной и достоверной информации.

Ранее в работе [5] специалистами Тюменского государственного нефтегазового университета, Тюменского государственного архитектурно-строительного университета (ныне объединенной образовательной организации — Тюменского индустриального университета) и ООО «Газпром трансгаз Сургут» уже было показано, что расчет номинальных параметров всей проточной части ГТД имеет важное значение с позиции оценки качества капитального ремонта. Разработанная методика позволяет определять параметры ГТД с погрешностью, в сравнении с заводскими данными, не более 4 % по КПД и 1 % по мощности.

Таким образом, можно говорить о возможности применения разработанной методики в целях контроля качества проводимых ремонтов и диагностики технического состояния ГТД ГТЭ-6,3/МС в условиях эксплуатации. Расширенный ряд расчетных параметров ГТД позволяет повысить качество, достоверность и глубину диагностики как текущего состояния газотранспортного оборудования, так и после его капитального ремонта. Кроме этого, аналогичные расчеты могут быть проведены и для других типов используемых ГТД в масштабах Тямкинского месторождения, а передовая практика диагностики ГТУ может быть распространена на различные территориальные подразделения по добыче и транспорту углеводородов в НК «Роснефть».

Библиографический список

1. Белов М. С. Термогазодинамическая диагностика трехвалвных приводных газотурбинных двигателей: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2010. – 128 с.
2. Чекардовский С. М., Борисов А. Ю. Развитие методов анализа энергоэффективности основного оборудования газокompрессорных станций // Нефтегазовый терминал. Выпуск 7: сб. науч. ст. памяти профессора Н. А. Малюшина / Под. общ. ред. Ю. Д. Земенкова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 24–26.
3. Чекардовский М. Н. Методология контроля и диагностики энергетического оборудования системы теплогазоснабжения. – СПб.: Недра, 2001. – 145 с.
4. Илюхин К. Н. и [др.] Контроль и диагностика оборудования в системе теплогазоснабжения / под общ. ред. проф. М. Н. Чекардовского. – СПб.: Недра, 2015. – 200 с.
5. Методика определения номинальных параметров газотурбинного привода ГТЭ-6,3/МС теплоэлектростанции собственных нужд Тямкинского месторождения [Электронный ресурс] / М. Н. Чекардовский и [др.] // Современные проблемы науки и образования. 2015. – № 2–3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23678>.

Сведения об авторе

Михайленко Алексей Игоревич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)256970, e-mail: Mikhaylenko.AI@tmn.gazprom-neft.ru

Information about the author

Mikhaylenko A. I., Postgraduate at the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)256970, e-mail: Mikhaylenko.AI@tmn.gazprom-neft.ru

УДК 697(075)

ВТОРИЧНОЕ МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ВОКРУГ ХОЛОДНЫХ ТРУБ (МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ) SECONDARY FROST HEAVING AROUND COLD PIPELINE (MATHEMATICAL MODEL)

О. А. Степанов, Б. Г. Аксенов, В. В. Фомина
O. A. Stepanov, B. G. Aksenov, V. V. Fomina

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: низкотемпературный трубопровод; вторичное морозное пучение; краевая задача; процесс образования прослоев льда

Key words: low temperature pipeline; secondary frost heaving; boundary problem; process of ice layers formation

Введение

Морозное пучение тонкодисперсных грунтов обуславливается миграцией влаги к фронту промерзания или внутри мерзлого слоя под действием градиента температуры. При этом формируется криогенная текстура грунта: слои мерзлого грунта перемежаются с прослоями (шпирами) практически чистого льда. При промерзании грунта влага в талой зоне мигрирует относительно быстро, и рост шпиров происходит за время, измеряемое сутками и неделями. В мерзлой зоне свободная влага замерзает на фронте фазового перехода, а связанная — в широком диапазоне минусовых температур. Коэффициент теплопроводности связанной воды мал, но в ситуации, когда поле температур имеет постоянный градиент в течение ряда лет, пучение все же происходит, и образуются прослои льда. Это происходит, например, вблизи холодной трубы газопровода. Следуя терминологии [1], мы называем такое пучение вторичным. В работах [2–4] одномерная аналогичная задача изучена для случая плоскопараллельной симметрии. В случае с трубопроводом, очевидно, следует применять цилиндрические координаты. В работе [5] описан метод перехода от плоских задач к радиальным. В данной статье на основании результатов [2–5] построена модель вторичного пучения.

Мы не ставили себе задачу построения модели для всех известных видов пучения. По данному вопросу существует обширная литература [6–15]. Мы решаем узкую задачу. Рассматривается сегрегационный механизм вторичного пучения вокруг трубы при следующих допущениях:

- температурное поле близко к стационарному;