

11. Яцук, В. Устава для визначення термоелектричної добротності сонячних термобатареї [Текст] : міжнар. наук.-практ. конф. / В. Яцук, В. Куба, Ю. Яцук, М. Микійчук // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи. – Львів, 2013. – С. 144.
12. Nau, M. Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern [Text] / M. Nau. – Fulda, Germany: JUMO GmbH & Co. KG, 2004. – 160 p.
13. Meijer, G. C. M. Smart Sensor Systems [Text] / G. C. M. Meijer – Delft: SensArt, 2008. – 385 p. doi: 10.1002/9780470866931
14. Яцук, В. О. Засоби моніторингу та реєстрації якості послуг із теплопостачання [Текст] / В. О. Яцук, П. В. Бугайцова, Ю. В. Яцук // Метрологія та прилади. – Науково-виробничий журнал. – 2013. – №4 (42) 2013. – С. 38–44.
15. Яцук, В. О. Покращення характеристик приймачів сонячного випромінювання з електричним заміщенням [Текст] / В. О. Яцук, Ю. В. Яцук, Х. В. Серкез // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Сер. : Автоматика, вимірювання та керування. – 2013. – № 753. – С. 25–30.
16. AD7711: LC2MOS Signal Conditioning ADC with RTD Excitation Currents Data Sheet [Electronic resource] / Available at: <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7711/products/product.html>

Для вирішення завдання дослідження умов експлуатації і впровадження деяких зразків кабелів в газотурбінних установках АО «МОТОР СИЧ» було визначено обсяг роботи, що складається з двох розділів: перший розділ був присвячений термометруванню характерних областей, місць прокладки кабельних ліній, при різних режимах навантаження в сталому режимі. Другий розділ присвячений випробуванню в заводських умовах кабелів і термоізоляційних труб при температурах, згідно термометруванню по першому розділу

Ключові слова: газотурбіна, електростанція, термометрування, електрокабели і термотруби

Для решения задачи исследования условий эксплуатации и внедрения некоторых образцов кабелей в газотурбинных установках АО «МОТОР СИЧ» был определен объем работы, состоящий из двух разделов: первый раздел был посвящен термометрированию характерных областей, мест прокладки кабельных линий, при разных режимах нагрузки в установившемся режиме. Второй раздел посвящен испытанию в заводских условиях кабелей и термоизоляционных труб при температурах, согласно термометрированию по первому разделу

Ключевые слова: газотурбина, электростанция, термометрирование, электрокабели и термотрубы

УДК 621.438:621.315.2.002

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27788

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБРАЗЦОВ КАБЕЛЕЙ В ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ АО «МОТОР СИЧ»

В. М. Снигирев

Кандидат технических наук, доцент*

А. И. Афанасьев

Кандидат технических наук, доцент*

К. В. Дудник

Зам. главного конструктора**

А. В. Куклин

Инженер-конструктор**

E-mail: lexrecer@rambler.ru

*Кафедра электрических аппаратов

Запорожский национальный технический университет
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063**Управление энергетических установок и
газоперекачивающих агрегатов

АО «МОТОР СИЧ»

пр. Моторостроителей, 15, г. Запорожье, Украина, 69068

1. Введение

Газотурбинные установки наземного применения включают в себя газотурбинный привод (ГТП), в отсеке которого необходимо прокладывать кабельные

линии, где при работе на номинальную мощность температура воздуха может достигать до 100 °С (с местами локального нагрева более 200 °С). Поэтому защита кабельных линий от высоких температур является актуальной задачей [1].

Таблица 1

Термометрирование мест прокладки кабелей в отсеке ГТП

Измеряемый параметр	Способ измерения	Значение измеряемой величины на режимах						
		№ точки	XX	2 МВт	3 МВт	4 МВт	5 МВт	6 МВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура воздуха в отсеке ГТП, °С	Штатный замер ("Температура воздуха в отсеке ГТП")	–	15	25	54	52	60	49
		На ГТП						
Температура мест прокладки кабелей в отсеке ГТП, °С (согласно рисункам 1, 2, 3, 4)	Тепловизор Fluke Ti25	t.1	230	232	248	274	287	295
		t.2	110	120	135	140	160	165
		t.3	35	40	50	–	56	65
		t.4	55	85	–	48	80	90
		На редукторе						
		t.5	40	40	50	82	98	110
		t.6	25	25	30	58	66	75
		t.7	55	59	67	75	83	85
		t.8	35	–	55	60	71	83
		t.9	33	45	–	55	67	80
		t.10	35	45	50	50	58	60
		t.11	40	43	60	60	74	74
		t.12	40	60	75	93	100	120
		t.13	45	59	70	70	80	98
		t.14	23	38	40	51	65	70
		t.15	–	–	–	–	–	–
		t.16	–	–	–	–	–	–
		t.17	–	34	36	43	52	–
		t.18	20	38	45	50	56	78
		t.19	13	20	–	–	–	–
		На лотках						
		t.20	18	22	–	–	50	60
		t.21	48	33	–	–	58	74
		t.22	40	43	46	60	65	75
		t.23	35	42	50	61	70	70
		t.24	30	45	47	50	55	55
		t.25	30	39	50	35	40	40
		t.26	30	50	55	44	38	45
		t.27	40	50	65	52	52	60
		t.28	35	44	50	52	55	66
		t.29	40	42	52	53	55	70
		t.30	30	40	50	55	63	75
		t.31	35	50	60	70	–	80
		t.32	–	40	50	–	69	80
		t.33	60	57	60	63	61	–
		t.34	30	38	40	54	60	70
		t.35	25	33	35	46	53	63
		На блоке ГРА						
		t.36	25	25	25	25	25	30
		t.37	20	20	25	25	25	25
		t.38	20	20	22	20	20	30
		На маслобаке						
		t.40	40	40	50	50	–	50
		t.41	–	–	–	–	–	–
		t.42	–	–	–	–	30	–
		t.43	–	70	–	78	75	88
		t.44	38	–	55	55	–	–
		На планируемом месте установки ШК						
t.47	25	–	40	43	50	55		
t.48	22	–	–	–	42	50		

Для решения этой задачи был определен объем работы, состоящий из двух разделов: первый раздел был посвящен термометрированию характерных областей, мест прокладки кабельных линий, при разных режимах нагрузки в установившемся режиме, который наступает после двух часов работы. Второй раздел посвящен испытанию в заводских условиях кабелей и термоизоляционных труб при температурах, согласно термометрированию по первому разделу методики [2].

Так как газотурбинные установки в основном предназначаются для выработки электроэнергии в районах крайнего севера, то за температуру окружающей среды, при расположении её в закрытом помещении, принята температура от 0 °С до +7 °С.

Температура окружающей среды в отсеке ГТП контролируется в пределах от +20 °С до +55 °С системой вентиляции – САУ, алгоритм которой предусматривает включение первого нагнетающего вентилятора при достижении температуры в отсеке ГТП +40 °С и отключение – при +20 °С. Второй нагнетающий вентилятор включается при достижении температуры в отсеке ГТП +50 °С, отключается при +40 °С. Первый вытяжной вентилятор отсека ГТП включается при температуре +45 °С, отключается при +25 °С, второй вытяжной вентилятор отсека ГТП включается при температуре +55 °С и отключается при +45 °С. Вентилятор отсека турбогенератора включается при достижении температуры воздуха в отсеке +40 °С и отключается - при +20 °С.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи

Для постановки задачи использовали государственные стандарты [3, 4] испытаний на нагревостойкость кабелей.

В работе [5] рассматриваются жаростойкие кабели, предназначенные для прокладки в пожароопасных местах помещений. Также рассматриваются [6–8] различные кабельные изделия, их монтаж и ремонт.

Работы заслуживают внимания при рассмотрении вопросов по прокладке кабелей в различных условиях эксплуатации. Вместе с тем вопросы прокладки кабельных линий в отсеках газотурбинных установок еще не достаточно освещены.

Целью исследования было определить, какую кабельную продукцию можно рекомендовать (в местах прокладки кабельных линий) при высоких температурах, в номинальном режиме работы газотурбинной установки. Однако в возможных местах прокладки кабельных линий система вентиляции не может обеспечить комфортную температуру (+20 °С...+55 °С), для этого понадобились бы слишком большие затраты энергии.

3. Методика и результаты проведения исследования и их обсуждение

В качестве метода исследования использовался метод замера температуры термометрированием [2] в местах прокладки кабельных линий. По определенной методике провели испытания предложенного заводом ряда кабелей и термоизоляционных труб.

Результаты термометрирования сведены в табл. 1.

Анализ термометрирования позволяет принять для конкретных условий эксплуатации газотурбинных установок температуру в местах необходимой укладки кабельных линий, при максимальной нагрузке 6,3 МВт, в пределах от +40 °С до +120 °С.

После определения температуры в местах прокладки кабельных линий в отсеке газотурбинного привода, были проведены исследования по выбору оптимального варианта из предложенных кабелей и термоизоляционных труб, по паспортным данным предприятий изготовителей. Таких, как кабели производства Украины: МКШвнг и МКЭШвнг (ТУ 3581-387-00217053-2009) для эксплуатации при температурах от –50 °С до +70 °С; ПВЗ (ГОСТ 6323-79,

ТУ 16-705.501-2010) с температурным диапазоном от -50 °С до +70 °С; МГШВ (ТУ 16-505.437-82) с температурным диапазоном от -50 °С до +70 °С; кабель производства России КСБГнг(А)-FRHF (ТУ 16.К99-040-2009) с температурным диапазоном от -60 °С до +70 °С; кабель производства Германии Olflex classic 110 фирмы «Lapp Group» (сертификаты CE, RoHS) с температурным диапазоном от -40 °С до +80 °С, а также термостойкий кабель Olflex Heat 180 sihf той же фирмы «Lapp Group» (сертификаты CE, RoHS) с температурным диапазоном от -50 °С до +180 °С.

Также испытанию подлежали термоизоляционные трубы производства Швейцарии «Agrotube C-HTS» фирмы «Agro» с температурным диапазоном от -50 °С до +260 °С и трубы производства Германии «Silvyn Hiprojacket» фирмы «Lapp Group» с диапазоном температур от -40 °С до +260 °С. «Agrotube» имеет стандарт по воспламеняемости UL 1441. «Silvyn Hiprojack» et» имеет сертификат RoHS и разрешения на применение (нормативная документация) NFtoF 16-101 I2 F0, LOI 42,5.

Образцы кабелей длиной по 200 мм отдельно или помещенные внутри термоизоляционных труб, обжаты с двух сторон для герметичности, вместе с хромель-копелевой термопарой, помещали в печь СНОЛ 67/350 с камерой 390x445x390 мм, с регулированием температуры от +50 °С до +350 °С.

Испытания каждого образца проводили в течении 8 часов при температурах 100, 120, 150, 200,

250 °С и образец «Silvyn Hiprojacket» еще и при температуре 330°С.

После каждого температурного диапазона образцы осматривались и данные заносились в табл. 2.

Исследование температурных условий (термометрирование) проводилось тепловизором Fluke Ti25 в точках, приведенных на рис. 1–4. В качестве примера на рис. 5, 6 показаны результаты термометрирования в точках 12 и 23.

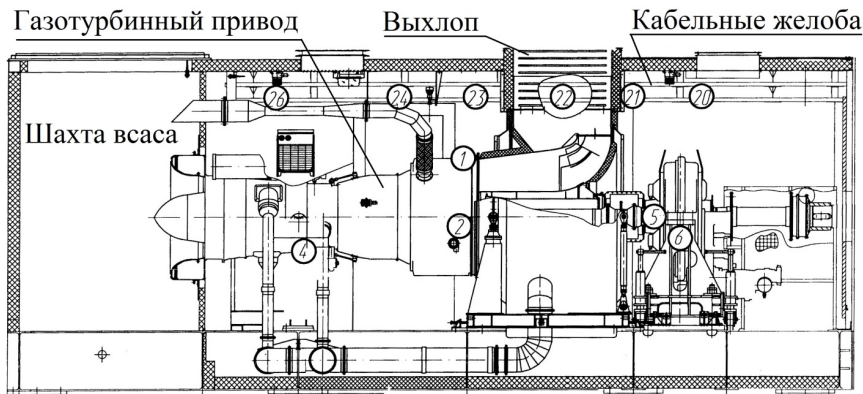


Рис. 1. Общий вид отсека ГТП с точками термометрирования

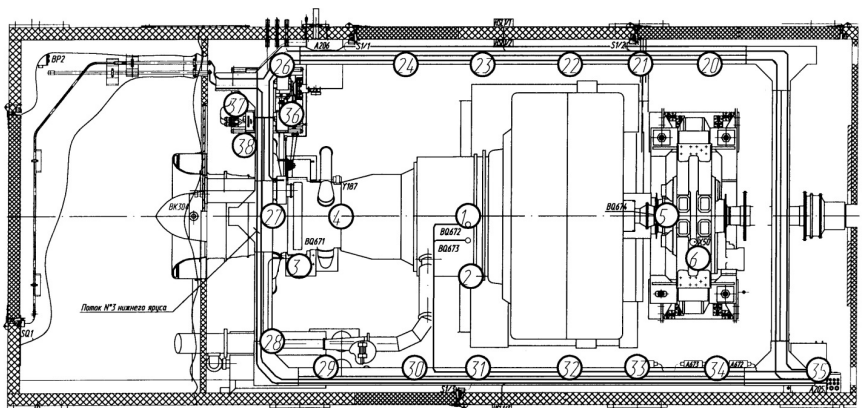


Рис. 2. Вид сверху отсека ГТП с точками термометрирования

Таблица 2

Результаты испытаний

Марка кабеля и трубы	Температура во время испытания, Т°С					
	100	120	150	200	250	330
МКШВнг	без изменений	изменение цвета (вне трубок)	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
МКЭШВнг	без изменений	изменение цвета (вне трубок)	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
ПВЗ	без изменений	изменение цвета (вне трубок)	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
МГШВ	без изменений	изменение цвета (вне трубок)	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
КСБГнг (А)-FRHF	без изменений	изменение цвета (вне трубок)	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
Olflex classic 110	без изменений	без изменений	оплавление, выделение дыма	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
Olflex Heat 180 sihf	без изменений	без изменений	без изменений	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
Agrotube	без изменений	без изменений	без изменений	окислительная деструкция	обугливание изоляции	–
Silvyn Hiprojacket	без изменений	без изменений	без изменений	без изменений	без изменений	охрупчивание оболочки

Шахта всаса

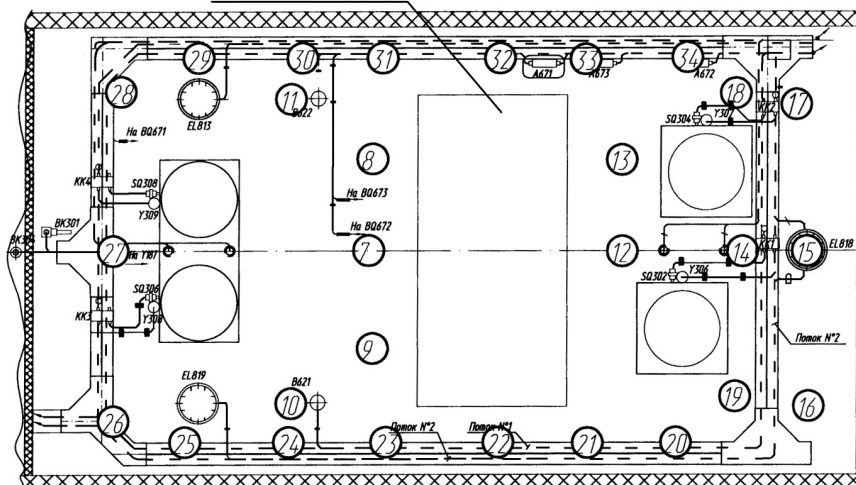


Рис. 3. Вид на потолочную панель отсека ГТП с точками термометрирования

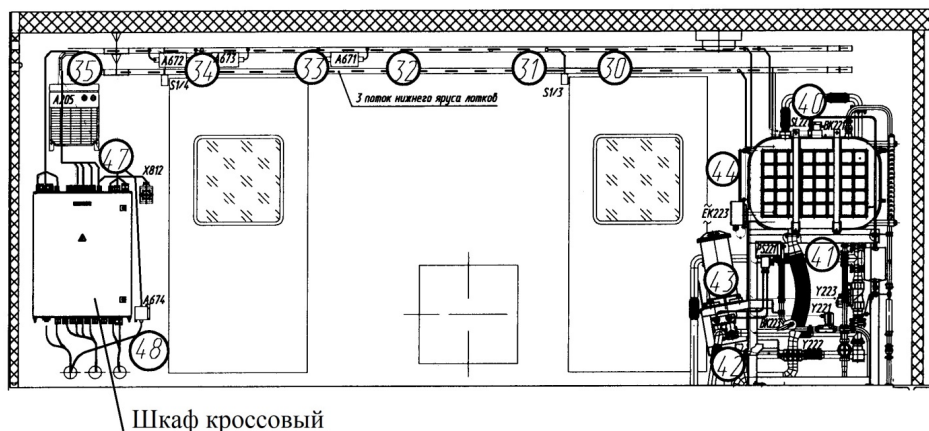


Рис. 4. Вид левой стороны отсека ГТП с точками термометрирования

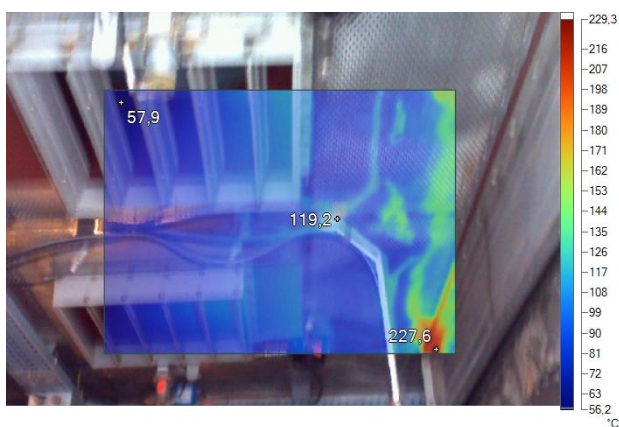


Рис. 5. Пример термометрирования в точке 12 отсека ГТП

Оценка состояния образцов определялась органолептически (на предмет потери эластичности, растрескивания, охрупчивания и прочих визуальных изменений).

В результате установлено, что по заданным режимам термоизоляционная трубка «Agrotube C-HTS» при 250 °С деструктурирует и не обеспечивает защиту от температурных нагрузок. При температуре 100 °С

снижает температурную нагрузку на 3 %, а при 120 °С – на 1,7 %. Термоизоляционная трубка «Agrotube» не выдержала заявленной изготовителем температуры в 260 °С. Остальная продукция, а именно: кабели МК-Швнг, МКЭШвнг, КСБГнг(А)-FRHF, Olflex classic 110, Olflex Heat 180 sihf, провода ПВЗ и МГШВ, а также термоизоляционная трубка «Silvyn Hiprojacket» прошли испытания и подтвердили заявленный изготовителем температурный диапазон.

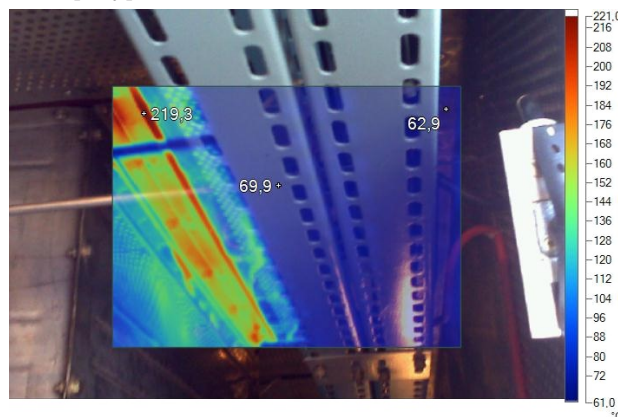


Рис. 6. Пример термометрирования в точке 23 отсека ГТП

4. Выводы

1. Термометрирование показало, что температура в местах прокладки кабелей варьируется в широких пределах, от +25 °С до +120 °С.

2. Исключения составляют места, где температура достигает более 150 °С (точки термометрирования 1 и 2) и которые необходимо избегать при прокладке кабельных линий.

3. По результатам исследования кабельной продукции и термоизоляционных труб можно сделать следующие выводы:

За. Термоизоляционные трубки фирмы «Silvyn Hiprojacket» и «Agrotube C-HTS», без внутренней их обдувки, не обладают необходимыми теплоизоляционными свойствами, так как температура внутри испытываемых трубок и снаружи отличалась максимум на 2 °С.

3б. Для кабельных линий газотурбинных установок рекомендуются кабели Olflex classic 110 и Olflex Heat 180 sihf, которые длительно выдерживают температуру до 120 °С, при температуре окружающей среды в отсеке ГТП от +20 °С до +55 °С, которая поддерживается системой САУ.

Литература

1. Куклин, А. В. Обеспечение работоспособности кабельной продукции в газотурбинных установках наземного применения [Текст] / А. В. Куклин // Промышленность в фокусе. – 2013. – № 6. – С. 30–31.
2. Гордов, А. Н. Основы температурных измерений [Текст] / А. Н. Гордов, О. М. Жагулло, А. Г. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
3. ГОСТ 10518-88. Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость. [Текст] / Введ. 1988-03-28. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 29 с.
4. ГОСТ 8865-93. Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. [Текст] / Введ. 1995-01-01. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Переизд. 2003. – 7 с.
5. Сучков, В. Ф. Жаростойкие кабели с минеральной изоляцией [Текст] / В. Ф. Сучков, В. И. Светлова, Э. Э. Финкель; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 120 с.
6. Шингарок, Н. П. Монтаж кабельных линий [Текст]: уч. пос. / под ред. Л. Л. Магазинника. – Ульянов к: УлГТУ, 2002. – 95 с.
7. Алексеев, А. Г. Монтаж жаростойких кабелей [Текст] / А. Г. Алексеев, В. А. Гуреев. – Москва : Энергия, 1975. – 88 с.
8. Алиев, И. И. Кабельные изделия [Текст] : справочник / И. И. Алиев. – М. : РадиоСофт, 2001. – 224 с.
9. Пантелеев, Е. Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: Справочник электромонтажника [Текст] / Е. Г. Пантелеев; под ред. А. Д. Смирнова и др.; 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, издательство Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
10. Лындрик, А. Огнестойкие кабеленесущие системы компании "ОБО Беттерманн Украина" [Текст] / А. Лындрик, Г. Ткаченко // Промэлектро. – 2006. – № 6. – С. 3–5.