

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 СІЧ» 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, електрокабелі 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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		№ точ-ки	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">На ГТП</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>т.1</td><td>230</td><td>232</td><td>248</td><td>274</td><td>287</td><td>295</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.2</td><td>110</td><td>120</td><td>135</td><td>140</td><td>160</td><td>165</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.3</td><td>35</td><td>40</td><td>50</td><td>–</td><td>56</td><td>65</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.4</td><td>55</td><td>85</td><td>–</td><td>48</td><td>80</td><td>90</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th colspan="9">На редукторе</th> </tr> <tr><td>т.5</td><td>40</td><td>40</td><td>50</td><td>82</td><td>98</td><td>110</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.6</td><td>25</td><td>25</td><td>30</td><td>58</td><td>66</td><td>75</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.7</td><td>55</td><td>59</td><td>67</td><td>75</td><td>83</td><td>85</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.8</td><td>35</td><td>–</td><td>55</td><td>60</td><td>71</td><td>83</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.9</td><td>33</td><td>45</td><td>–</td><td>55</td><td>67</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.10</td><td>35</td><td>45</td><td>50</td><td>50</td><td>58</td><td>60</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.11</td><td>40</td><td>43</td><td>60</td><td>60</td><td>74</td><td>74</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.12</td><td>40</td><td>60</td><td>75</td><td>93</td><td>100</td><td>120</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.13</td><td>45</td><td>59</td><td>70</td><td>70</td><td>80</td><td>98</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.14</td><td>23</td><td>38</td><td>40</td><td>51</td><td>65</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.15</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.16</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.17</td><td>–</td><td>34</td><td>36</td><td>43</td><td>52</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.18</td><td>20</td><td>38</td><td>45</td><td>50</td><td>56</td><td>78</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.19</td><td>13</td><td>20</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th colspan="9">На лотках</th> </tr> <tr><td>т.20</td><td>18</td><td>22</td><td>–</td><td>–</td><td>50</td><td>60</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.21</td><td>48</td><td>33</td><td>–</td><td>–</td><td>58</td><td>74</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.22</td><td>40</td><td>43</td><td>46</td><td>60</td><td>65</td><td>75</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.23</td><td>35</td><td>42</td><td>50</td><td>61</td><td>70</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.24</td><td>30</td><td>45</td><td>47</td><td>50</td><td>55</td><td>55</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.25</td><td>30</td><td>39</td><td>50</td><td>35</td><td>40</td><td>40</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.26</td><td>30</td><td>50</td><td>55</td><td>44</td><td>38</td><td>45</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.27</td><td>40</td><td>50</td><td>65</td><td>52</td><td>52</td><td>60</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.28</td><td>35</td><td>44</td><td>50</td><td>52</td><td>55</td><td>66</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.29</td><td>40</td><td>42</td><td>52</td><td>53</td><td>55</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.30</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>55</td><td>63</td><td>75</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.31</td><td>35</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>–</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.32</td><td>–</td><td>40</td><td>50</td><td>–</td><td>69</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.33</td><td>60</td><td>57</td><td>60</td><td>63</td><td>61</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.34</td><td>30</td><td>38</td><td>40</td><td>54</td><td>60</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.35</td><td>25</td><td>33</td><td>35</td><td>46</td><td>53</td><td>63</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th colspan="9">На блоке ГРА</th> </tr> <tr><td>т.36</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>30</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.37</td><td>20</td><td>20</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.38</td><td>20</td><td>20</td><td>22</td><td>20</td><td>20</td><td>30</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th colspan="9">На маслобаке</th> </tr> <tr><td>т.40</td><td>40</td><td>40</td><td>50</td><td>50</td><td>–</td><td>50</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.41</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.42</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>30</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.43</td><td>–</td><td>70</td><td>–</td><td>78</td><td>75</td><td>88</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.44</td><td>38</td><td>–</td><td>55</td><td>55</td><td>–</td><td>–</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th colspan="9">На планируемом месте установки ШК</th> </tr> <tr><td>т.47</td><td>25</td><td>–</td><td>40</td><td>43</td><td>50</td><td>55</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>т.48</td><td>22</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>42</td><td>50</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>								На ГТП									т.1	230	232	248	274	287	295			т.2	110	120	135	140	160	165			т.3	35	40	50	–	56	65			т.4	55	85	–	48	80	90			На редукторе									т.5	40	40	50	82	98	110			т.6	25	25	30	58	66	75			т.7	55	59	67	75	83	85			т.8	35	–	55	60	71	83			т.9	33	45	–	55	67	80			т.10	35	45	50	50	58	60			т.11	40	43	60	60	74	74			т.12	40	60	75	93	100	120			т.13	45	59	70	70	80	98			т.14	23	38	40	51	65	70			т.15	–	–	–	–	–	–			т.16	–	–	–	–	–	–			т.17	–	34	36	43	52	–			т.18	20	38	45	50	56	78			т.19	13	20	–	–	–	–			На лотках									т.20	18	22	–	–	50	60			т.21	48	33	–	–	58	74			т.22	40	43	46	60	65	75			т.23	35	42	50	61	70	70			т.24	30	45	47	50	55	55			т.25	30	39	50	35	40	40			т.26	30	50	55	44	38	45			т.27	40	50	65	52	52	60			т.28	35	44	50	52	55	66			т.29	40	42	52	53	55	70			т.30	30	40	50	55	63	75			т.31	35	50	60	70	–	80			т.32	–	40	50	–	69	80			т.33	60	57	60	63	61	–			т.34	30	38	40	54	60	70			т.35	25	33	35	46	53	63			На блоке ГРА									т.36	25	25	25	25	25	30			т.37	20	20	25	25	25	25			т.38	20	20	22	20	20	30			На маслобаке									т.40	40	40	50	50	–	50			т.41	–	–	–	–	–	–			т.42	–	–	–	–	30	–			т.43	–	70	–	78	75	88			т.44	38	–	55	55	–	–			На планируемом месте установки ШК									т.47	25	–	40	43	50	55			т.48	22	–	–	–	42	50
На ГТП																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.1	230	232	248	274	287	295																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.2	110	120	135	140	160	165																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.3	35	40	50	–	56	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.4	55	85	–	48	80	90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
На редукторе																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.5	40	40	50	82	98	110																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.6	25	25	30	58	66	75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.7	55	59	67	75	83	85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.8	35	–	55	60	71	83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.9	33	45	–	55	67	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.10	35	45	50	50	58	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.11	40	43	60	60	74	74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.12	40	60	75	93	100	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.13	45	59	70	70	80	98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.14	23	38	40	51	65	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.15	–	–	–	–	–	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.16	–	–	–	–	–	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.17	–	34	36	43	52	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.18	20	38	45	50	56	78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.19	13	20	–	–	–	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
На лотках																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.20	18	22	–	–	50	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.21	48	33	–	–	58	74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.22	40	43	46	60	65	75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.23	35	42	50	61	70	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.24	30	45	47	50	55	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.25	30	39	50	35	40	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.26	30	50	55	44	38	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.27	40	50	65	52	52	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.28	35	44	50	52	55	66																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.29	40	42	52	53	55	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.30	30	40	50	55	63	75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.31	35	50	60	70	–	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.32	–	40	50	–	69	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.33	60	57	60	63	61	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.34	30	38	40	54	60	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.35	25	33	35	46	53	63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
На блоке ГРА																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.36	25	25	25	25	25	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.37	20	20	25	25	25	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.38	20	20	22	20	20	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
На маслобаке																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.40	40	40	50	50	–	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.41	–	–	–	–	–	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.42	–	–	–	–	30	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.43	–	70	–	78	75	88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.44	38	–	55	55	–	–																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
На планируемом месте установки ШК																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
т.47	25	–	40	43	50	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
т.48	22	–	–	–	42	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Температура мест прокладки кабелей в отсеке ГТП, °С (согласно рисункам 1, 2, 3, 4)	Теплови-зор Fluke Ti25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

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 Hiprojacket» 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.

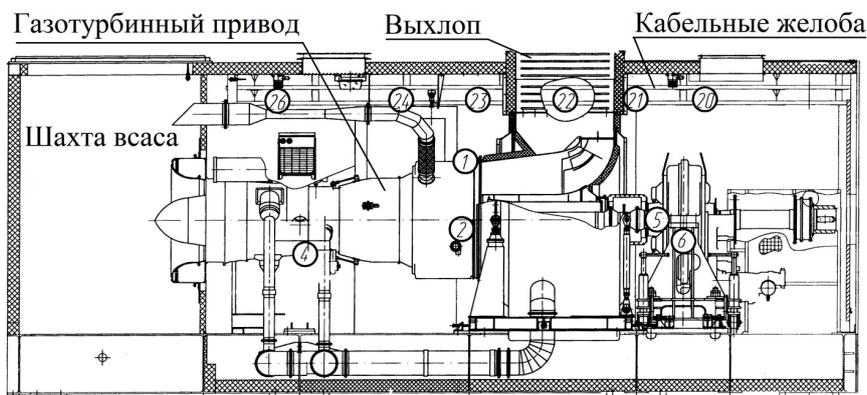


Рис. 1. Общий вид отсека ГТП с точками термометрирования

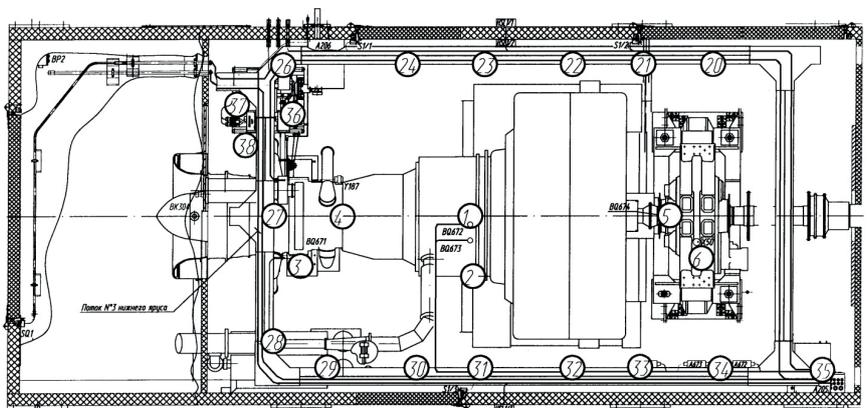


Рис. 2. Вид сверху отсека ГТП с точками термометрирования

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

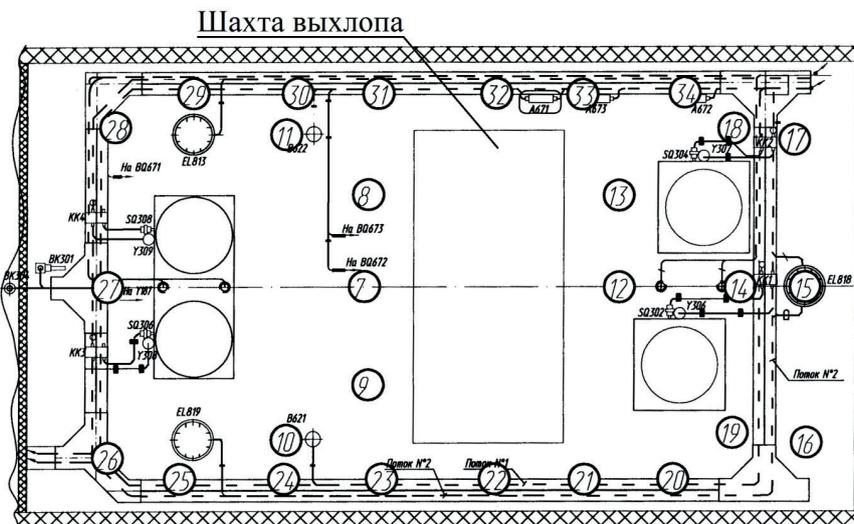


Рис. 3. Вид на потолочную панель отсека ГТП с точками термометрирования

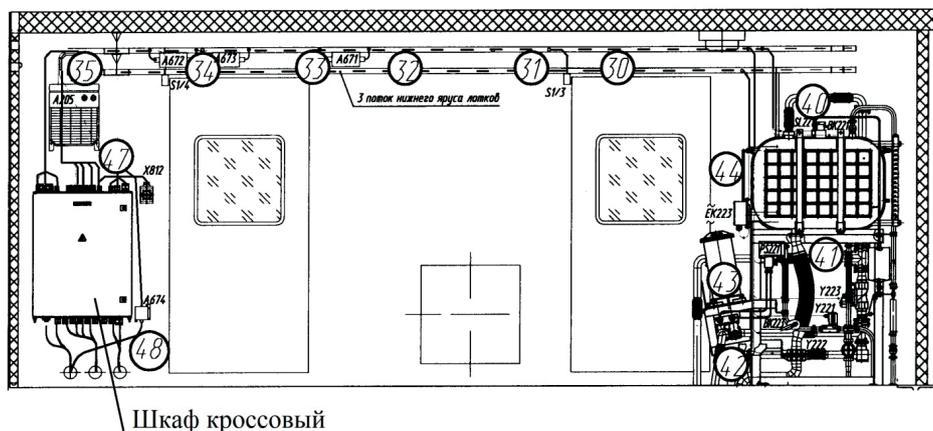


Рис. 4. Вид левой стороны отсека ГТП с точками термометрирования

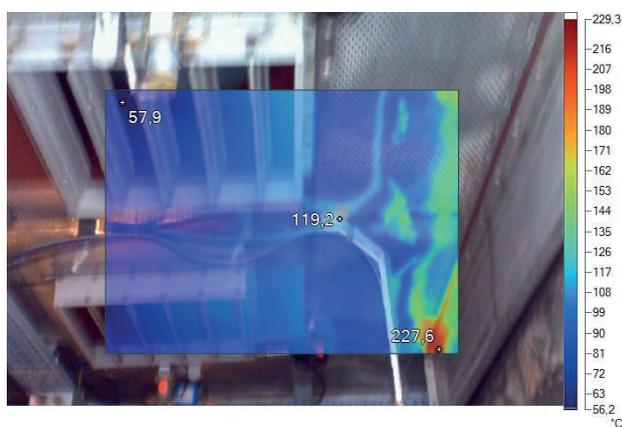


Рис. 5. Пример термометрирования в точке 12 отсека ГТП

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 °C разрушается и не обеспечивает защиту от температурных нагрузок. При температуре 100 °C

снижает температурную нагрузку на 3 %, а при 120 °C – на 1,7 %. Термоизоляционная трубка «Agrotube» не выдержала заявленной изготовителем температуры в 260 °C. 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.

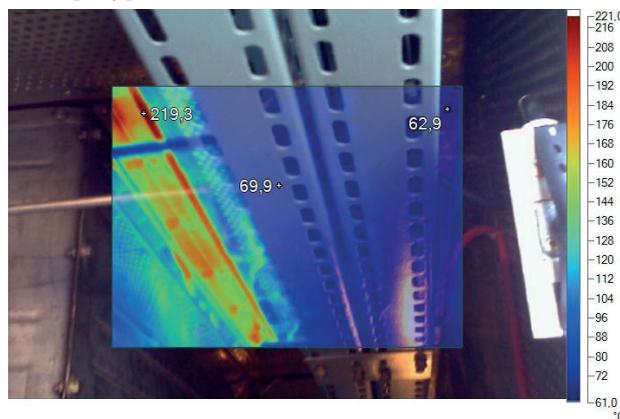


Рис. 6. Пример термометрирования в точке 23 отсека ГТП

---

#### 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.