

О ЗАЩИТЕ ПРИБОРОВ КИПиА

УДК 536.21

А.Г. ФРОЛОВ

Главный инженер ООО НПО «Неотехнология»

Рязань

Надежная работа приборов КИПиА, которые являются «глазами» производства, естественное желание для всех специалистов, думающих о бесперебойной работе предприятия. С освоением новых нефтяных и газовых месторождений, строительством перерабатывающих комплексов и трубопроводных сетей на Крайнем Севере и Сибири, стремление защитить оборудование от воздействия атмосферных осадков и перепадов температур особенно актуально. Но и в средней полосе России, с её достаточно суровым климатом, эта проблема тоже существует.

Основными неблагоприятными факторами воздействия внешней среды являются:

- Низкая температура

Конечно, каждый приличный производитель оборудования КИПиА, стремится свести к минимуму погрешности измерений, связанные с колебаниями температуры. Но, к сожалению, как показывает практика, электроника стабильно работает в достаточно узком диапазоне температур. Например, жидкокристаллический дисплей, которым сейчас оснащается большинство современных приборов, вообще не работает при небольших морозах.

- Высокая температура

В летнее время под лучами прямого яркого солнца легко превышаются допустимые температуры работы приборов.

- Конденсация

Все без исключения электронные приборы не выносят постоянной конденсации влаги. А под открытым небом температура часто проходит «точку росы». Кроме того, в атмосфере промышленного предприятия, капли осадков и конденсата содержат различные химические вещества, вызывающие ускоренную коррозию. Причем коррозионным поражениям в атмосфере с содержанием кислотных осадков подвержена даже нержавеющая сталь.

Таким образом, размещение приборов КИПиА в защитные обогреваемые шкафы, является необходимым условием для их стабильной работы и точности измерений.

Водяной или паровой обогрев шкафа, влечет за собой появление новых, пожалуй, еще больших проблем. К тому же он не экономичен, да и не всегда доступен.

Наилучшим вариантом, на сегодняшний день, является способ обогрева электрическим током. Выполненные во взрывозащищенном исполнении, предназначенные для работы в тяжелых условиях, электрические обогреватели с успехом решают обозначенную проблему.

Конструкция, теплотехнический расчет и испытание защитного шкафа[1].

На рисунке 1 показан разрез стенки шкафа.

1 слой – стеклопластик:

$$\delta_1 = 0,0025 \text{ м}; \gamma_1 = 1833 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda_1 = 0,162 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}.$$

2 слой – заливочный

пенополиуретан марки

Изолан 210-1:

$$\delta_2 = 0,015 \text{ м}; \gamma_2 = 60 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda_2 = 0,022 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}.$$

3 слой – стеклопластик:

$$\delta_3 = 0,0025 \text{ м}; \gamma_3 = 1833 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda_3 = 0,162 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}.$$

Шкаф предназначен для защиты приборов в различных отраслях промышленности от воздействия пыли, атмосферных осадков и действия химических реагентов при температуре окружающей среды от -50°C до $+80^\circ\text{C}$. Изготавливается из химически стойкого, трудногорючего стеклопластика. Имеет замки для закрывания. Защитный кожух представляет из себя диабокс, состоящий из двух створок, разделенных по диагонали.

Определение коэффициента теплопроводности проводилось стационарным методом в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном

режиме» с использованием метода доктора Бокка.

Сущность испытания заключается в создании теплового потока, направленного перпендикулярно к наибольшим граням плоского образца определенной толщины, измерении плотности стационарного теплового потока и температур на противоположных гранях образца.

Плотность теплового потока определялась по показаниям электрического счетчика за определенный промежуток времени и значению константы ступени мощности. Температуры дистиллированной воды при подаче к плитам и отводе из них точно измерялись градуированным термометром с ценой деления $0,2^\circ\text{C}$.

Установка доктора Бокка позволяет определить значения теплопроводности теплоизоляционных и строительных материалов в пределах

$$\lambda = 0,029 \div 1,98 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}.$$

Погрешность при измерении составляет $2 \div 3\%$. Измерения проводились при температуре дистиллированной воды от 20 до 50°C .

Обозначения: d_1, d_2, d_3, d_4 – толщина образца, мм; d – средняя толщина образца, мм; t_{w1}, t_{w2} – температура защитной плитки нагревателя, $^\circ\text{C}$; t_w – средняя температура защитной плитки, $^\circ\text{C}$; t_{k1}, t_{k2} – температура плитки охлаждения, $^\circ\text{C}$; t_k – средняя температура плитки охлаждения, $^\circ\text{C}$; Δt – разность температур, $^\circ\text{C}$; E – работа электрического тока, Вт/ч; Z – время, ч; ΔZ – разность времени между измерениями, ч; q – плотность теплового потока, Вт/м²; k_i – константа ступени мощности, Вт/(м²/Вт/ч); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м⁰/C). ►

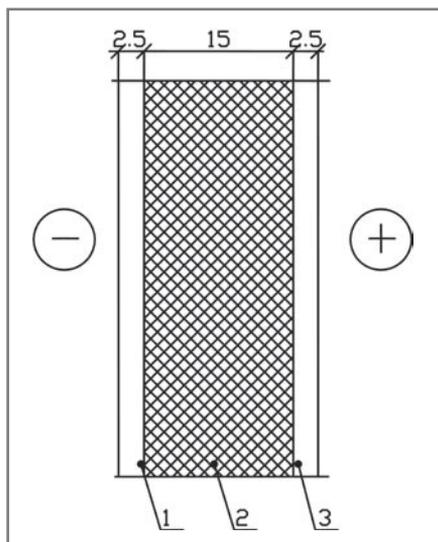


Рис. 1

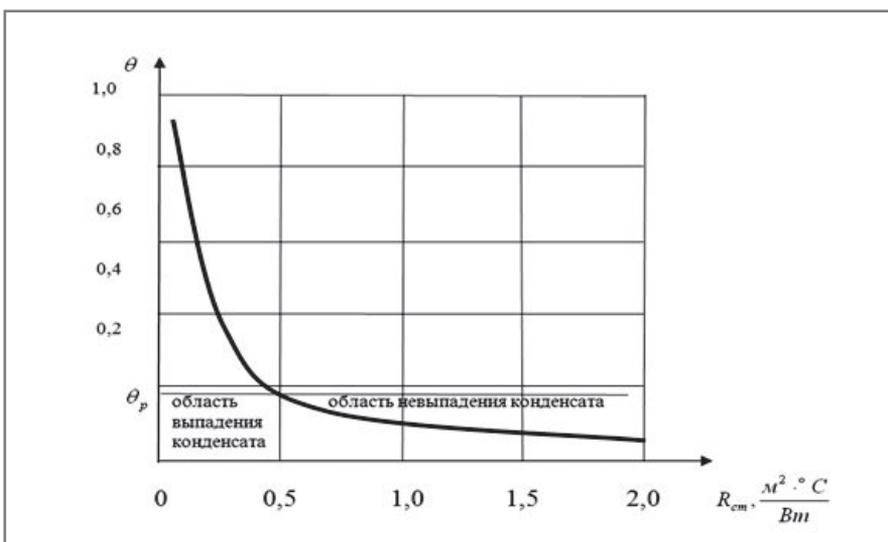


Рис. 2

| $t_n, ^\circ\text{C}$ | Допустимое значение безразмерной температуры θ_p | $R_{\text{пан}}^{\text{мп}}, (\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ |
|-----------------------|---|---|
| -20 | 0,26 | 0,442 |
| -25 | 0,223 | 0,515 |
| -30 | 0,195 | 0,589 |
| -35 | 0,173 | 0,664 |
| -40 | 0,156 | 0,737 |
| -45 | 0,142 | 0,809 |
| -50 | 0,130 | 0,884 |
| -55 | 0,120 | 0,958 |
| -59 | 0,113 | 1,02 |

Таб. 1

Средняя толщина образца равна:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}, \text{ мм}$$

Средняя температура находится по формуле:

$$t_w = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2}, ^\circ\text{C} \quad t_k = \frac{t_{k1} + t_{k2}}{2}, ^\circ\text{C}$$

Разность температур равна:

$$\Delta t = t_w - t_k, ^\circ\text{C}$$

Плотность теплового потока составляет:

$$q = \kappa_i \cdot \frac{\Delta E}{\Delta Z}, \text{ Вт/м}^2$$

Коэффициенты ступени мощности κ_i определялись с использованием тарировки эталонных образцов.

Коэффициент теплопроводности определяется по закону Фурье:

$$\lambda = \frac{q \cdot d}{\Delta t}, \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$$

В целях достижения необходимой точности результатов и их достоверности выполнено не менее 5÷7 опытов на каждом образце. По результатам испытаний определяется среднее значение коэффициента теплопроводности.

Результаты исследования (протоколы испытаний приводятся в [1]):

Стеклопластик плотностью $\rho = 1833 \text{ кг/м}^3$ толщиной 2,5 мм имеет коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,162 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$,

Пенополиуретан марки Изолан 210-1 толщиной 15 мм имеет коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,022 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$.

Теплотехнические расчеты кожуха для защиты приборов от воздействия пыли,

атмосферных осадков и действия химикатов.

Целью теплотехнических расчетов является определение теплозащитных характеристик сэндвич-панелей, обеспечивающих отсутствие выпадения конденсата на внутренних поверхностях защитного кожуха.

Санитарно-гигиеническое условие для ограждающих конструкций формулируется в виде неравенства: $T_e > T_p$,

где T_e – температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^\circ\text{C}$;

T_p – значение температуры точки росы, зависящее от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$.

Для определения T_p можно использовать таблицу из Свода Правил 23-101-20041 или аналитическую зависимость [2]

$$\tau_p = 20,1 - \left(5,75 - 0,00206 \cdot 10^{2,125 + \frac{156 + 8,12 \cdot t_a}{236 + t_a}} \cdot \varphi_a \right)$$

Чтобы придать формуле универсальный характер, введём понятие безразмерной температуры [3]. Тогда неравенство запишется в следующем виде: $\theta < \theta_p$

$$\text{где } \theta = \frac{t_a - \tau_a}{t_a - t_n}; \theta_p = \frac{t_a - \tau_p}{t_a - t_n}$$

С другой стороны величина безразмерной температуры θ внутренней поверхности ограждающей конструкции связана с её термическим сопротивлением R_0 следующим выражением:

$$\theta = \frac{1}{\alpha_a \cdot R_0},$$

где α_a – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждения, определяемый согласно рекомендациям, приведенным в [4], ($\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$,

R_0 – сопротивление теплопередаче ограждения, ($\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Таким образом, задаваясь относительной влажностью и значением температуры внутреннего воздуха, можно определить требуемое значение сопротивления теплопередаче защитного кожуха из условия недопустимости выпадения конденсата на его внутренней поверхности.

На рисунке 2 представлена зависимость требуемого сопротивления теплопередаче защитного кожуха от безразмерной температуры.

Алгоритм теплотехнического расчёта сэндвич-панели защитного кожуха.

1. По заданной температуре внутреннего воздуха и относительной влажности определяется значение температуры точки росы табличным или аналитическим методами.
2. Определяется предельно-допустимое значение безразмерной температуры сэндвич-панели

$$\theta_p = \frac{t_a - \tau_p}{t_a - t_n},$$

где t_n – температура наружного воздуха, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки.

3. Находится значение требуемого сопротивления теплопередаче сэндвич-панели из условия отсутствия выпадения конденсата:

$$R_{\text{пан}}^{\text{мп}} = \frac{1}{\alpha_a \cdot \theta_p}, \frac{\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

4. Определяется сопротивление теплопередаче сэндвич-панели защитного кожуха по формуле ►

$$R_{\text{пан}} = \frac{1}{\alpha_a} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_n}, \frac{\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

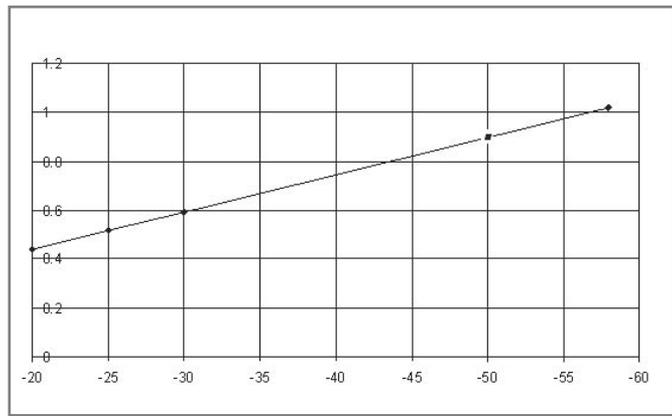


Рис. 3

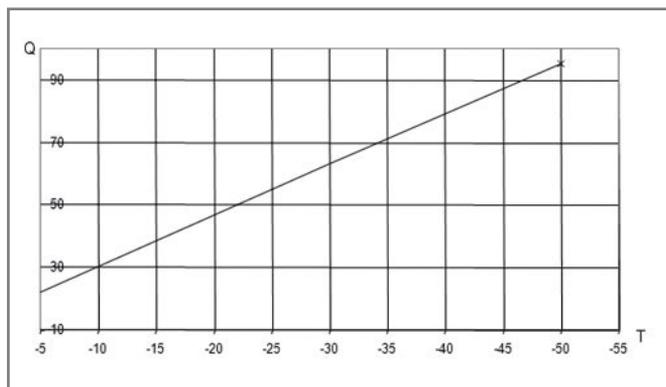


Рис. 4

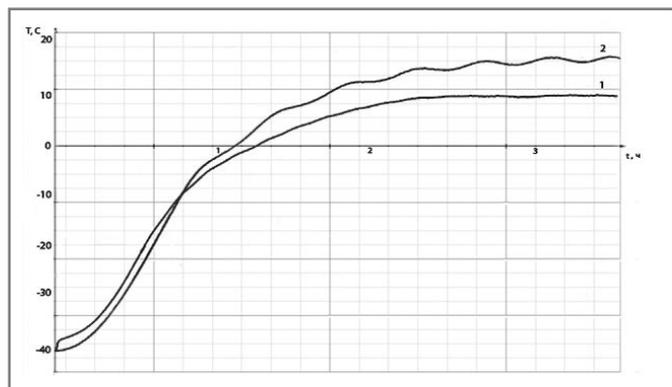


Рис. 5

где $R_t = \frac{\alpha_n}{\lambda_n}$ – термическое сопротивление слоя сэндвич-панели, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

α_n – значение коэффициента теплопередачи со стороны наружного воздуха, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$.

5. Если $R_{пан} > R_{пан}^{пр}$, то теплотехнический расчет заканчивается.

Определим значения требуемого сопротивления теплопередаче сэндвич-панели при различных расчетных температурах наружного воздуха.

Расчетная температура наружного воздуха $t_{нс}$ обеспеченностью 0,92 на территории Российской Федерации изменяется от $-3^\circ C$ (г. Сочи) до $-59^\circ C$ (г. Верхоянск). При этом $t_{нс} = -30^\circ C$.

Температуру внутреннего воздуха в защитном кожухе будем считать равной $10^\circ C$, а относительную влажность – 60%.

Температура точки росы составит $2,2^\circ C$.

Значения допустимой безразмерной температуры и требуемого сопротивления теплопередаче защитного кожуха приведены в таблице 1.

На рисунке 3 представлена зависимость требуемого сопротивления теплопередаче защитного кожуха от температуры наружного воздуха.

Определяем сопротивление теплопередаче сэндвич-панели

$$R_{sum} = \frac{1}{\alpha_n} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0025}{0,162} + \frac{0,015}{0,022} + \frac{0,0025}{0,162} + \frac{1}{23} = 0,884 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

По рисунку 2 минимальное значение температуры наружного воздуха составило $t_{min} = -50^\circ C$.

Выводы и рекомендации

1. По результатам экспериментального исследования определено значение термического сопротивления сэндвич-панели, которое составило

$$R = 0,884 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

2. Конструкция сэндвич-панели обеспечивает нормативный тепловлажностный режим эксплуатации защитного кожуха (без выпадения конденсата) при расчетной температуре наружного воздуха не ниже $-50^\circ C$, т.е. для абсолютного большинства регионов России.

Конструкция электрических нагревателей

Конструктивно обогреватель выполнен в виде оболочки из двух скрепленных между собой металлических ребристых крышек, между которыми помещается плоский нагревательный элемент, изолированный от крышек листами миканита и залитый термостойким компаундом. Снаружи на крышке закреплена металлическая коробка кабельного ввода, в которой находится термостойкий выключатель, отключающий питание обогревателя при аварийном повышении температуры допустимой свыше $+100^\circ C$, и плавкий предохранитель, защищающий обогреватель от коротких замыканий внутри нагревательного элемента.

Отрезок кабеля питания от нагревателя до соединительной муфты имеет нагревостойкую изоляцию, остальной кабель после муфты – обычную изоляцию. Внутри со-

единительной муфты находится терморегулятор, включающий питание при снижении температуры внутри шкафа до $+10^\circ C$ и отключающий питание при температуре свыше $+14^\circ C$. Внутренние полости коробки ввода и соединительной муфты залиты термостойким компаундом.

Обогреватели имеют взрывозащиту вида «герметизация компаундом (m)» и маркировку взрывозащиты 2ExmIIT4. Степень защиты от внешних воздействий не ниже IP54.

Питание обогревателей осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В с частотой 50 Гц.

Область применения – как самостоятельное изделие во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок.

В сентябре 2010 года налажен выпуск модернизированного обогревателя шкафов автоматики. Была произведена замена биметаллического термостата на бесконтактную электронную схему управления. Изменения не коснулись ни одной габаритной характеристики обогревателя, но значительно улучшили его эксплуатационные параметры:

1. Отказ от коммутационных цепей (ресурс порядка 100 000 включений) многократно увеличил надежность работы обогревателя и сделал равномерный цикл системы управления равным всему времени эксплуатации прибора.
2. За счет более точной регулировки температурного режима, уменьшения гистерезиса достигается экономия электроэнергии, что особенно актуально при больших количествах мощных обогревателей.
3. Незначительное увеличение отпускной цены модернизированного обогревателя и отсутствие на отечественном рынке аналогов делает его очень привлекательным и доступным для любых заинтересованных лиц и организаций.

Получен сертификат на электромагнитную совместимость. Проведены подготовительные работы по переходу на перспективные нагревательные элементы.

Расчеты теплототер и потребной мощности электрических нагревателей

Нагрев сопротивлением происходит за счет выделения теплоты в проводящем материале при протекании по нему электрического тока. Этот вид нагрева основан на законе Джоуля-Ленца. Выделяемая в

проводнике тепловая энергия Q в ккал пропорциональна квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока:

$$Q = 0,00024 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ (ккал)},$$

где Q – количество выделяющейся теплоты, ккал;

I – ток, А;

R – сопротивление, Ом;

t – время, с.

Выделяемая в проводнике тепловая энергия может быть использована непосредственно для нагрева самого проводника, который в этом случае является нагреваемым телом (принцип прямого нагрева). При косвенном нагреве энергия нагрева передается специальными проводниками (нагревателями), по которым проходит электрический ток к другим изделиям, подлежащим нагреву путем конвекции и излучения тепловой энергии.

Тепловая мощность электронагревателей, установленных в отапливаемом защитном шкафу должна компенсировать теплототери в окружающую среду, определяемая по формуле

$$Q = F(t_b - t_n) \frac{1}{R_0}, \text{ Вт}$$

где β – коэффициент запаса, учитывающий дополнительные теплототери через замки и кабельный ввод, принимается $\beta=1,1$;

F – поверхность защитного шкафа, в нашем случае $F = 1,29 m^2$.

На рисунке 4 представлена зависимость мощности электронагревателей установленных в защитном шкафу от температуры наружного воздуха.

Были проведены испытания в климатической камере двух видов обогревателей – с биметаллическим терморегулятором и электронным. Результаты, полученные при температуре -40 градусов представлены на рисунке 5.

Обозначены:

- 1 – температурный график нагрева внутреннего объема защитного шкафа обогревателем с электронным управлением;
- 2 – температурный график нагрева внутреннего объема защитного шкафа обогревателем с биметаллическим управлением. ■

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Техническое заключение по теме: «Экспериментальное исследование теплопроводности композиционных материалов и сэндвич панелей»
2. Тихомиров, К.В., Сергеев, Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1991. – 252с.
3. Вытчиков, Ю.С. Оптимизация теплозащитных характеристик оконных конструкций// Повышение энергоэффективности зданий и сооружений. Межвузовский сборник на-учных трудов. Впуск 1, СГАСУ, – Самара, 2006. С.49-53.
4. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Стандарт организаций. – М.: Российское общество инженеров строителей (РОИС), 2006. – 64с.



Рис.6