

Эти показатели необходимо будет проверить путем повторения обмеров среди респондентов той же возрастной группы, чтобы убедиться в наличие связи или в ее отсутствии. Сейчас же пока невозможно достоверно утверждать о наличии последней, так как имеет место случайность или ошибка в расчетах.

Использование метода главных компонент позволило перейти к укрупненным показателям, число которых значительно меньше числа первоначально взятых признаков. Главные компоненты адекватно отражают исходную информацию и содержат больше информации, чем непосредственно наблюдаемые признаки.

Полученные в процессе анализа новые укрупненные показатели являются важным теоретическим материалом для последующих статистических исследований, а проведенное исследование показало, что методика проектирования протеза кисти человека может быть существенно упрощена и ускорена за счет сокращения количества измеряемых показателей. Кроме того, значительно сокращается и количество технологических операций, требуемых для изготовления протеза, что, несомненно, дает существенный технологический и экономический эффекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидченко Е.А. Разработка бионического протеза предплечья человека. // Сборник трудов молодых ученых АНГТУ. Ангарск, 2018. – с. 56– 63;
2. Демидченко Е.А., Истомин А.Л. Анализ антропометрических данных кисти руки

человека для задачи проектирования протеза. // Сборник научных трудов АНГТУ. Ангарск, 2019. – с. 3 – 11;

3. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 512 с.

УДК 65.018:378

Колмогоров Алексей Геннадьевич,
к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: atp@angtu.ru

Тетерин Игорь Юрьевич,
студент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:
teterin.igor2017@ya.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ КОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Kolmogorov A.G., Teterin I.IU.

EXPERIMENTAL STUDY OF INERTIA OF CONTACT TEMPERATURE CONVERTERS ON A LABORATORY STAND

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментального исследования основных датчиков температуры, применяемых на производстве, с точки зрения их инерционности. Рассматривается влияние типа номинальной статической характеристики, длины рабочей части, диаметра защитной арматуры, наличия защитного чехла, наличия защитного термокармана на показатель тепловой инерции.

Ключевые слова: датчик температуры, показатель тепловой инерции, экспериментальное исследование, номинальная статическая характеристика.

Abstract. The article presents the results of an experimental study of the main temperature sensors used in production, in terms of their inertia. Examines the impact of type nominal static characteristics, the length of the working part, diameters, availability of cover, availability of protective thermowell on the show-tel of thermal inertia.

Keywords: temperature sensor, thermal inertia indicator, experimental study, nominal static characteristic.

В настоящее время ни одно производство не может обойтись без автоматизации технологических процессов. Будь то атомная станция или обычный автомобиль – в составе этих и многих других объектов непременно присутствуют элементы контроля и регулирования технологических параметров, таких как давление, температура, расход, уровень, угловая и линейная скорость и пр. Вне зависимости от типа системы управления объектом, ее структуры, года производства и т.д., она всегда оснащается первичными датчиками технологических переменных. Датчики — это устройства, позволяющие измерить необходимый параметр объекта или вещества, используя при этом свойства и характеристики измеряемых тел или среды.

Данная работа посвящена исследованию основных датчиков температуры, используемых в производстве, таких как термоэлектрический преобразователь температуры (термопара) и термометр сопротивления. Эти датчики относятся к контактным, то есть для того, чтобы измерить температуру таким преобразователем, необходим непосредственный контакт его чувствительного элемента с измеряемым веществом или объектом.

Каждый преобразователь температуры обладает набором метрологических характеристик: тип номинальной статической характеристики (НСХ), диапазон измерения, класс допуска, длина монтажной части и пр. Одной из таких характеристик является показатель тепловой инерции. Показатель тепловой инерции [1] представляет собой время, необходимое для того, чтобы при внесении преобразователя в среду с постоянной температурой разность температур среды и любой точки внесенного в нее преобразователя температуры стала равной 0,37 того значения, которое будет в момент наступления регулярного теплового режима. Такой показатель определяется графически, по переходному процессу в режиме простого охлаждения.

Согласно принятой классификации, датчики температуры, в зависимости от величины показателя тепловой инерции, подразделяются на четыре категории (таблица 1).

Инерционность термопреобразователей является важной характеристикой при проектировании автоматизированной системы, т.к. от нее зависит оперативность получения информации о температурном режиме

в объекте, а также качество регулирования в замкнутых автоматических системах с применением таких датчиков.

Таблица 1 – Величина показателя тепловой инерции термопреобразователей

Категория инерционности термопреобразователя	Показатель тепловой инерции термопреобразователя, с, не более	
	Погружаемого	Поверхностного
Малоинерционный	5	10
Средней инерционности	60	120
Большой инерционности	180	300
Не нормированной инерционности	Св. 180	Св. 300

При исследовании различных литературных источников не было обнаружено информации относительно факторов, влияющих на величину данного показателя. В связи с этим целью работы является экспериментальное исследование показателя тепловой инерции различных термопреобразователей с выявлением факторов, влияющих на его величину.

Экспериментальное определение показателя тепловой инерции возможно только на специальном оборудовании, согласно методике, приведенной в [1]. На кафедре автоматизации технологических процессов (АТП) АНГТУ разработан и введен в эксплуатацию лабораторный стенд [2, 3], позволяющий проводить эксперименты по измерению величины данного показателя в соответствии с утвержденной методикой.

Суть эксперимента сводится к тому, что сначала датчик нагревается в воде до температуры, находящейся в диапазоне от 50 до 100 °С. После установления стационарного температурного режима датчик резко охлаждается путем перемещения его в емкость с водой, имеющей температуру 15...20 °С. Переходный процесс при изменении температуры регистрируется во времени при помощи графической панели оператора, встроенной в стенд.

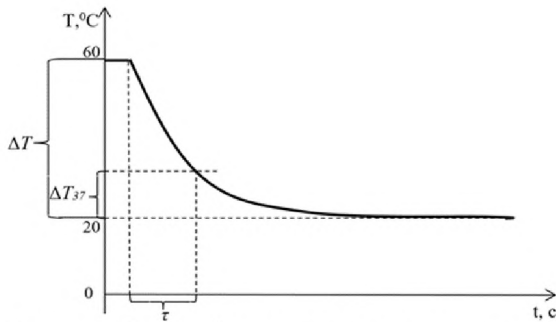


Рисунок 1 - Графическое определение показателя тепловой инерции датчиков температуры

Показатель тепловой инерции определяется по графику следующим образом. На графике определяем перепад температур ΔT от начальной (на рисунке 1 она соответствует $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) до конечной (на рисунке 1 она соответствует $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Далее вычисляется значение ΔT_{37} :

$$\Delta T_{37} = 0.37 \Delta T. \quad (1)$$

На кривой переходного процесса откладывается значение ΔT_{37} от линии, соответствующей конечной температуре. Проекция полученного значения на график определяет величину показателя тепловой инерции τ .

На данный момент было проведено одиннадцать экспериментов по определению показателя тепловой инерции различных датчиков. Исследованию подвергались как стандартные термопары и термометры сопротивления различных НСХ, так и нестандартные (например, без защитной арматуры). Несколько экспериментов было проведено с дополнительным размещением чувствительного элемента термопреобразователя внутри термокармана (рисунок 2), являющегося неотъемлемым конструктивным узлом при закреплении датчика температуры на технологическом оборудовании.

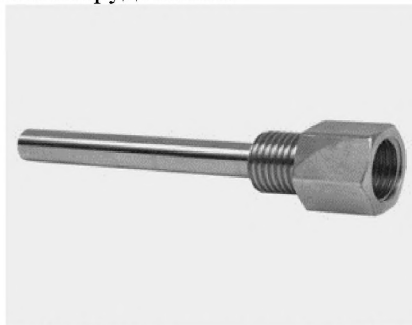


Рисунок 2 - Термокарман для преобразователей температуры

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать выводы о факторах, влияющих на показатель тепловой инерции (таблица 2).

Влияние типа НСХ. При сравнении строк 1, 6, 8, 9 таблицы 2 (термопары ХК, ХА и термометры сопротивления 100М и 100П) при прочих равных условиях наблюдаем практически одинаковую величину показателя тепловой инерции. Отсюда можно сделать вывод, что НСХ преобразователя на показатель тепловой инерции не влияет.

Влияние длины рабочей части. При сравнении строк 1 и 2 таблицы 2 (термопары ХК, имеющие длину чувствительного элемента 140 и 320 мм) наблюдаем незначительное увеличение показателя (на 3 с) при увеличении длины, что может быть обусловлено большим теплоотводом металлического защитного чехла от нагреваемого конца термопары к головке, находящейся вне зоны нагрева. Отсюда можно сделать вывод, что длина рабочей части незначительно увеличивает показатель тепловой инерции.

Влияние диаметра защитной арматуры. При сравнении строк 8 и 10 таблицы 2 (термометр сопротивления 100П с диаметром защитной арматуры 9 мм и 5 мм) наблюдаем уменьшение показателя тепловой инерции практически в 4 раза. Следовательно, можно сделать вывод о том, что диаметр защитной арматуры оказывает значительное влияние на показатель тепловой инерции.

Влияние наличия защитного чехла. При сравнении строк 6 и 7 таблицы 2 (термопара ХА с длиной рабочей части 140 мм, не имеющая защитного чехла, и термопара ХА с длиной рабочей части 140 мм, находящаяся в защитном чехле) видно, что термопара, находящаяся в чехле, почти в 9 раз нагревается медленнее, чем без защитного чехла. То же самое можно наблюдать и у термометров сопротивления при сравнении 9 и 11 строки в таблице 2 (термометр сопротивления 100М без защитного чехла нагревается в 4 раза быстрее, чем термометр сопротивления 100М стандартного исполнения). Отсюда можно сделать вывод, что наличие защитного чехла оказывает значительное влияние на показатель тепловой инерции в сторону увеличения.

Таблица 2 – Величина показателя тепловой инерции преобразователей температуры

	Тип датчика (НСХ)	Диаметр защитной арматуры, мм	Длина рабочей части, мм	Особенности применения	Показатель тепловой инерции, с
Термоэлектрические преобразователи (термопары)					
1	Термопара (ХК)	9	140	Стандартная	23
2	Термопара (ХК)	9	320	Стандартная, удлиненная	26
3	Термопара (ХК)	9	140	Стандартная (помещенная в термокарман без специального заполнения)	254
4	Термопара (ХК)	9	140	Стандартная (помещенная в термокарман со специальным заполнением в виде масла)	104
5	Термопара (ХК)	9	140	Стандартная (помещенная в термокарман со специальным заполнением в виде металлической фольги)	48
6	Термопара (ХА)	9	140	Стандартная	22
7	Термопара (ХА)	9	140	Без защитной арматуры	2,5
Термометры сопротивления					
8	Термометр сопротивления (100П)	9	140	Стандартный	22
9	Термометр сопротивления (100М)	9	140	Стандартный	23
10	Термометр сопротивления (100П)	5	110	Стандартный, с уменьшенным диаметром защитной арматуры	6
11	Термометр сопротивления (100М)	–	110	Без защитной арматуры	6

Влияние наличия и заполнения защитного термокармана. Как видно из таблицы 2, термокарман может быть без специального заполнения, заполнен маслом или металлической фольгой. Сравнивая строки 3 и 5 (термопару ХК со стандартным исполнением 140 мм, имеющую термокарман без специального заполнения, и термопару ХК с таким же стандартным исполнением 140 мм, но в качестве заполнения термокармана используется металлическая фольга) можно сделать вы-

вод, что показатель тепловой инерции у термопары с термокарманом, заполненным металлической фольгой, в 5 раз меньше, чем у термокармана без специального заполнения. Также, при сравнении показателей тепловой инерции масла и металлической фольги (строки 4 и 5 таблицы 2) видно, что масло имеет коэффициент в 2 раза больше, чем металлическая фольга. Это свидетельствует о том, что металлическая фольга является лучшим средством для уменьшения показа-

теля тепловой инерции.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы и рекомендации. Во-первых, при выборе НСХ датчика температуры показатель тепловой инерции не рассматривается в качестве критерия выбора. Во-вторых, рекомендуется использовать датчики с меньшим

диаметром защитной арматуры. В-третьих, при помещении датчика в термокарман нельзя допускать отсутствие какого-либо заполнителя внутри него. Лучшим вариантом будет использование металлического уплотнителя в виде фольги или металлической стружки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023619> (дата обращения: 15.09.2020).

2. Колмогоров А.Г., Григорьева Ю.Е. Разработка лабораторного практикума по измерению температуры контактными датчиками // Сборник научных трудов молодых ученых и студентов [Текст]. – Ангарск: Ан-

гарский государственный технический университет. – 2018. – С.53-55.

3. Колмогоров А.Г., Григорьева Ю.Е. Экспериментальное исследование контактных преобразователей температуры на лабораторном стенде // Вестник АНГТУ [Текст]. – Ангарск: Ангарский государственный технический университет. – 2018. – № 12 – С.151-157.