

УДК 536.52

С. Ю. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, генеральный директор

И. П. ФЕДОРОВ, главный метролог

КП «Харьковские тепловые сети», г. Харьков

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИРОМЕТРАМИ

*В данной статье приведены исследования пирометров типа Fluke и НИМБУС в четырех температурных диапазонах на различных видах поверхности трубопроводов с целью определения границ достоверности измерения температур на действующих объектах коммунального хозяйства.*

*У даній статті приведені дослідження пірометрів типу Fluke і НИМБУС в чотирьох температурних діапазонах на різних видах поверхні трубопроводів з метою визначення кордонів достовірності виміру температур на дійсуючих об'єктах комунального господарства*

### Введение

Хорошо известно, что пирометры имеют ряд преимуществ по сравнению с контактными термометрами, основные из них:

- высокая скорость измерения;
- измерение температур раскаленных объектов, расплавленных металлов и пластмассы;
- измерение температуры труднодоступных и опасных объектов;
- оценка температур движущихся объектов (подшипники, валы, муфты) непосредственно в период их работы;
- определение теплопотерь в зданиях жилого и промышленного назначения, на теплотрассах, эффективное нахождение прорывов теплоизоляционной оболочки;
- безопасное измерение температур токоведущих частей, находящихся под напряжением и т. п.

Рассматривая перечисленные преимущества следует учитывать, что при измерении высоких температур (до 3000 °С) погрешность в 10–15°С является вполне допустимой, а при оценке температуры движущихся объектов или находящихся под напряжением, используется метод сличения температур двух, условно одинаковых, поверхностей. Имеется ввиду, что при поиске неисправности, например в электрощитовой, пирометр наводится поочередно на каждую фазную шину, выполненную из одинакового материала, с целью обнаружить дефектный контакт, имеющий температуру на несколько десятков градусов выше исправных. При этом абсолютное значение температуры имеет второстепенное значение. В тех случаях, когда при измерении пирометром мы хотим получить абсолютное значение температуры единичного объекта, то возможная погрешность измерения может составить десятки градусов.

Причины, влияющие на погрешность измерения пирометрами, подробно описаны и в документации на приборы изготовителями пирометров, и в исследовательских работах метрологических лабораторий. Кратко рассмотрим основные:

– тепловое равновесие чувствительного измерительного элемента пирометра с температурой окружающей среды при выполнении измерений. Рекомендуется выполнять измерение не ранее, чем через 40 минут после входа в помещение;

– показатель визирования (оптическое разрешение) необходимо учитывать каждый раз при выборе расстояния от пирометра до измеряемой поверхности, с которой считываются показания.

– правильное определение коэффициента излучения поверхности (или степень черноты), значение которого, для поверхности каждого конкретного объекта, является индивидуальным.

Если первые две причины можно устранить строгим соблюдением требований руководства по эксплуатации на пирометры, то определение коэффициента излучения

поверхности вызывает определенные трудности. Как известно, на значение этого коэффициента влияют следующие факторы: агрегатное состояние вещества (твердое, жидкое, газообразное); состояние поверхности (полированная, матовая, шероховатая, пористая); длина волны излучения или участок спектра, наличие диффузноизлучательного характера поверхности; угол излучения участка поверхности объекта относительно нормали. Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент излучения характеризует не конкретное вещество или материал, а состояние и свойства лишь тонкого слоя поверхности объекта в определенных условиях в процессе измерения пирометром с соответствующими спектральными свойствами.

На практике информацию о значении коэффициента излучения можно получить на основании априорного экспериментального метода сличения результатов измерений контактным методом и пирометром.

Определение величины достоверности измерений с помощью пирометров имеет большое значение и в коммунальном хозяйстве, где эти приборы широко применяются для контроля температур теплоносителя и горячей воды, как на источниках теплоснабжения, так и у абонентов. Но при этом, очень часто возникают сомнения в достоверности полученных результатов измерения и, соответственно, выводы о неэффективности данных приборов. Проведенные исследования показали о наличии закономерности абсолютной погрешности измерений пирометром от вида поверхности трубопроводов, что дает основания получать достоверные результаты с необходимой точностью.

#### **Постановка задачи**

Провести исследования замеров температур контактным методом и пирометрами на трубопроводах с различными поверхностями, в различных температурных диапазонах, в реальных условиях на действующих объектах теплоснабжения.

Выполнить анализ полученных результатов методом сличения температур с целью поиска закономерности величины абсолютной погрешности измерений.

Провести повторные исследования в тех же условиях с применением корректировки показаний на определенную величину погрешности и сравнить результаты двух опытов.

#### **Основная часть**

Исследования проводились на котельных и теплораспределительных станциях коммунального предприятия «Харьковские тепловые сети».

Для контроля температуры использовались рабочие эталоны второго разряда – стеклянные ртутные термометры типа TGL с ценой деления 0,1 °С.

Испытаниям подвергались два типа пирометров: Fluke в количестве 4 шт. с условными номерами 1, 2, 3, 4 и НИМБУС.

Все измерения пирометрами производились на расстоянии 4 см от измеряемой поверхности и в непосредственной близости от мест врезки рабочих эталонов.

Измерения проводились на трубопроводах и арматуре (задвижки, вентили) теплоносителя, холодной и горячей воды, со снятым теплоизоляционным покрытием. Условные диаметры трубопроводов и арматуры от 50 до 250 мм.

Показания температуры снимались с таких видов поверхностей:

- окрашенный трубопровод;
- окрашенный трубопровод с черной изоляцией;
- окрашенный трубопровод с черной фольгой;
- трубопровод без покрытия;
- трубопровод без покрытия с черной изоляцией;
- трубопровод без покрытия с черной фольгой;
- окрашенная арматура;
- окрашенная арматура с фольгой;
- окрашенная арматура с изоляцией.

Черную изоленту и фольгу (с одной стороны фольга окрашена в черный матовый цвет, а с другой стороны – не окрашена) использовали в качестве компенсирующих блестящих и металлических поверхностей, согласно требований Руководства по эксплуатации пирометров. Снятие показаний с компенсирующих поверхностей проводилось не раньше чем через 15 минут после крепления изоленты и фольги на участок трубопровода, для достижения теплового равновесия с измеряемой поверхностью.

По результатам многократных измерений была определена абсолютная погрешность измерений пирометрами для различных видов поверхностей в четырех температурных диапазонах. Результаты представлены в сводной табл. 1.

Таблица 1

Абсолютная погрешность измерений ( $\Delta$ , °С) пирометрами для различных видов поверхностей в четырех температурных диапазонах.

Виды поверхности	Пирометр Fluke № 1	Пирометр Fluke № 2	Пирометр Fluke № 3	Пирометр Fluke № 4	Пирометр НИМБУС
Температурный диапазон 11 ÷ 13 °С					
Окрашенный трубопровод	0,0	-0,9	0,0	-0,7	-1,2
Окрашенный трубопровод с черной изолентой	-0,8	-1,3	-0,9	-1,3	-2,4
Окрашенный трубопровод с черной фольгой	-2,4	-3,4	-2,4	-3,0	-4,4
Температурный диапазон 40 ÷ 60 °С					
Окрашенный трубопровод	0,0	0,1	0,6	0,4	3,0
Окрашенный трубопровод с черной изолентой	-0,4	0,2	1,4	0,0	3,8
Окрашенный трубопровод с черной фольгой	3,8	4,2	4,3	4,0	6,2
Окрашенная арматура	0,1	-0,4	0,2	0,3	2,5
Окрашенная арматура с черной изолентой	5,3	5,4	5,1	5,7	6,7
Окрашенная арматура с черной фольгой	4,1	3,6	4,0	4,2	6,1
Температурный диапазон 60 ÷ 70 °С					
Окрашенный трубопровод	2,5	0,5	1,2	2,5	2,5
Окрашенный трубопровод с черной изолентой	1,5	2,1	1,5	1,6	4,1
Окрашенный трубопровод с черной фольгой	4,4	4,0	4,0	4,8	5,9
Окрашенная арматура	0,9	0,9	1,1	0,7	3,0
Окрашенная арматура с черной изолентой	6,6	7,9	8,7	8,9	6,6
Окрашенная арматура с черной фольгой	6,8	5,5	5,5	5,6	7,8
Трубопровод без покрытия	16,9	18,2	19,6	18,1	18,7
Трубопровод без покрытия с черной изолентой	4,2	4,8	3,9	4,6	6,7
Трубопровод без покрытия с черной фольгой	4,2	3,8	3,7	3,8	6,5

Продолжение таблицы 1					
Температурный диапазон 70 ÷ 80 °С					
Окрашенный трубопровод	0,2	-1,3	-0,5	-0,9	4,6
Окрашенный трубопровод с черной изолянтной	1,5	1,3	1,2	1,4	7,4
Окрашенный трубопровод с черной фольгой	3,0	3,2	3,0	3,4	7,2

Из обобщенных данных видно, что наибольшая погрешность измерений была у пирометра «НИМБУС» на всех видах поверхностей и во всех температурных диапазонах, что представлено на рис 1.

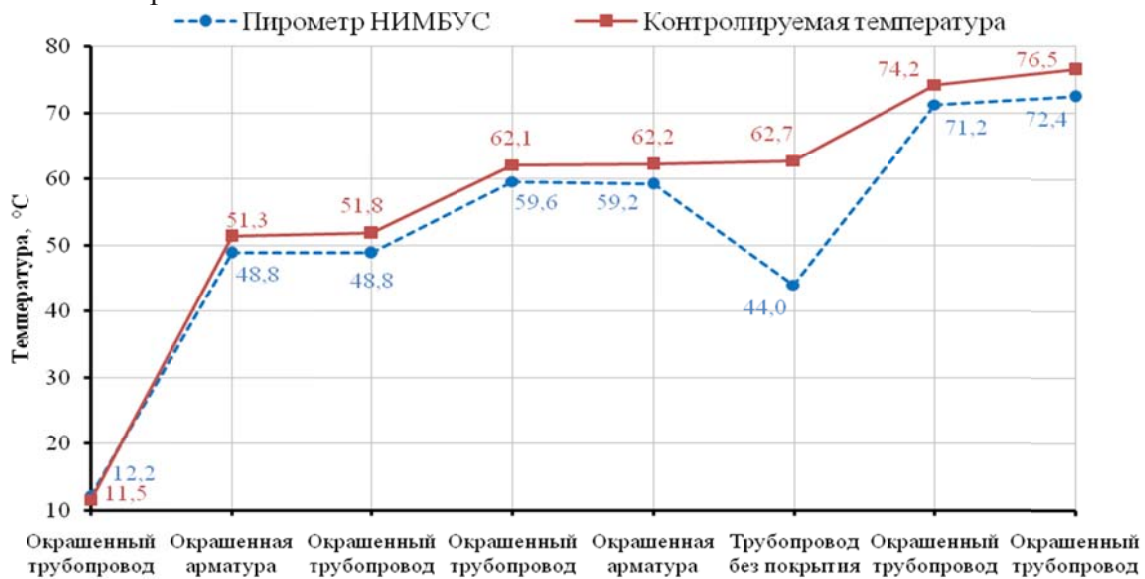


Рис 1. Диаграмма показаний пирометра «НИМБУС»

Вторым очевидным выводом является то, что из всех поверхностей, на которых производились испытания максимальная погрешность измерений проявлялась на стальном трубопроводе без покрытия, которая наблюдалась у всех пирометров и колебалась в пределах от 18,8 до 22,4 °С, но при наложении на трубопровод без покрытия фольги или изолянты показания улучшались, что можно наблюдать на рис. 2.

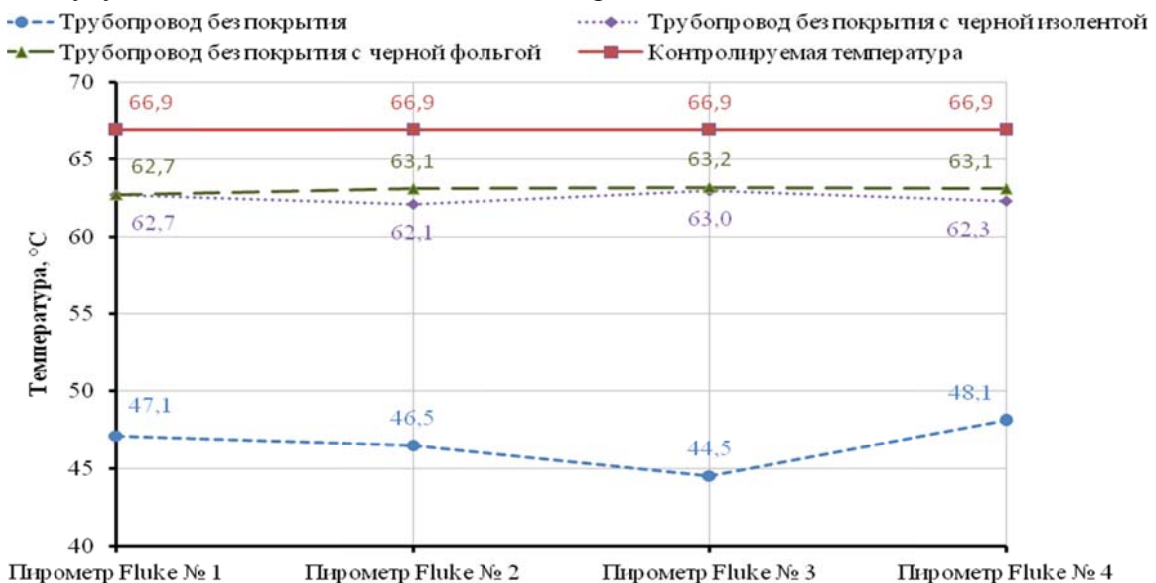


Рис. 2 Показания пирометров на трубопроводах без покрытия

В то же время, наложение изоленды и фольги на трубопроводы с окрашенной поверхностью, давали худшие значения температур. Таким образом, наиболее стабильные показания были на обычных окрашенных трубопроводах с очень близкой закономерностью для всех пирометров, что видно на рис. 3, 4, 5, 6.

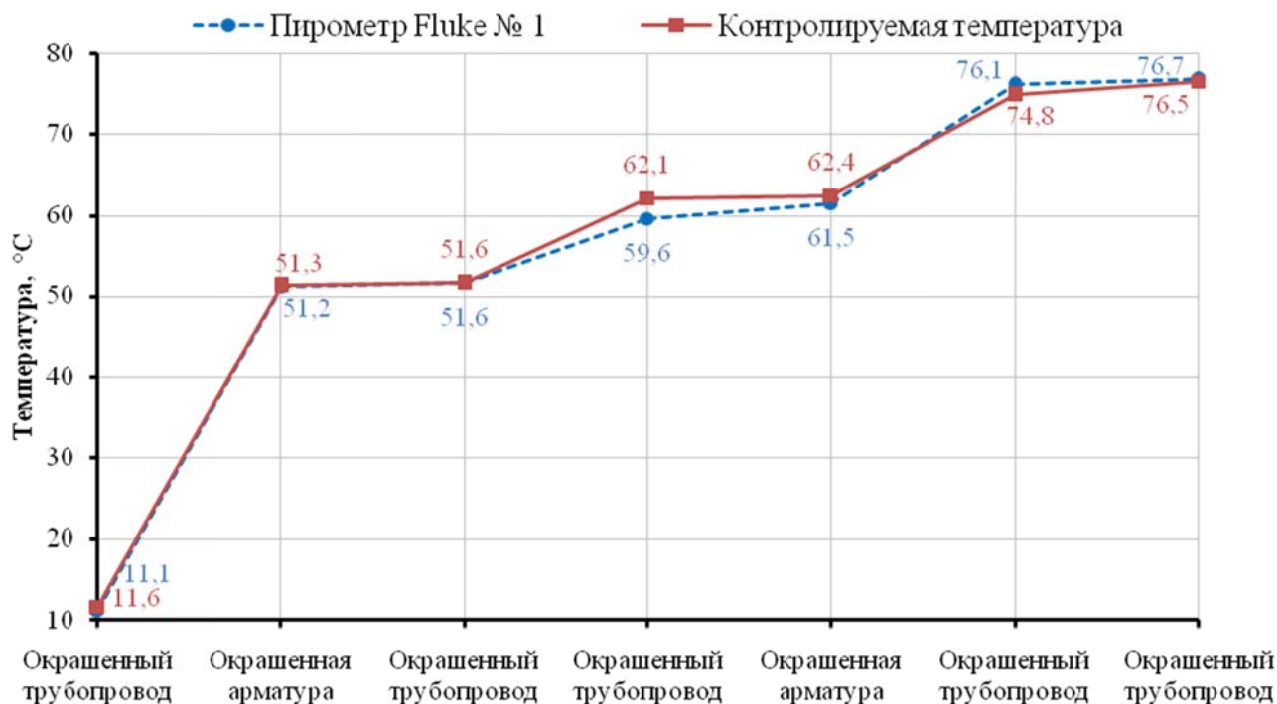


Рис. 3. Показания пирометра Fluke №1 на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

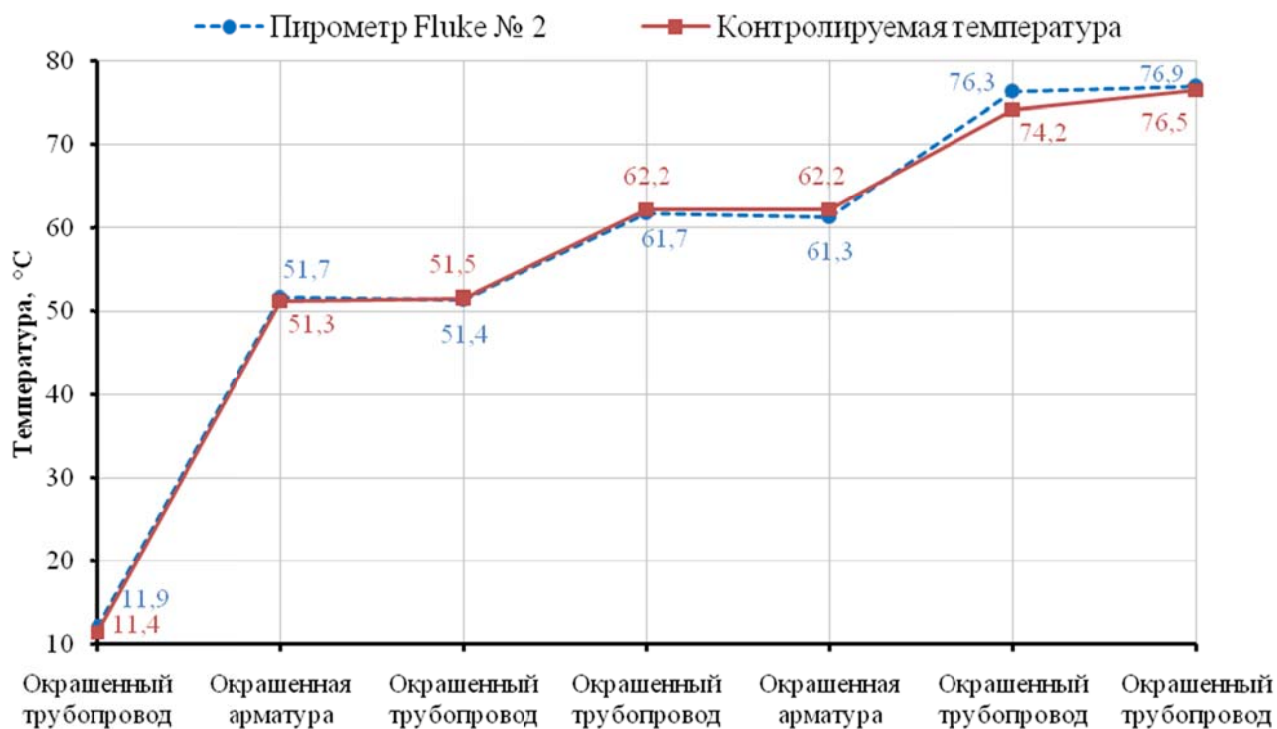


Рис. 4. Показания пирометра Fluke №2 на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона



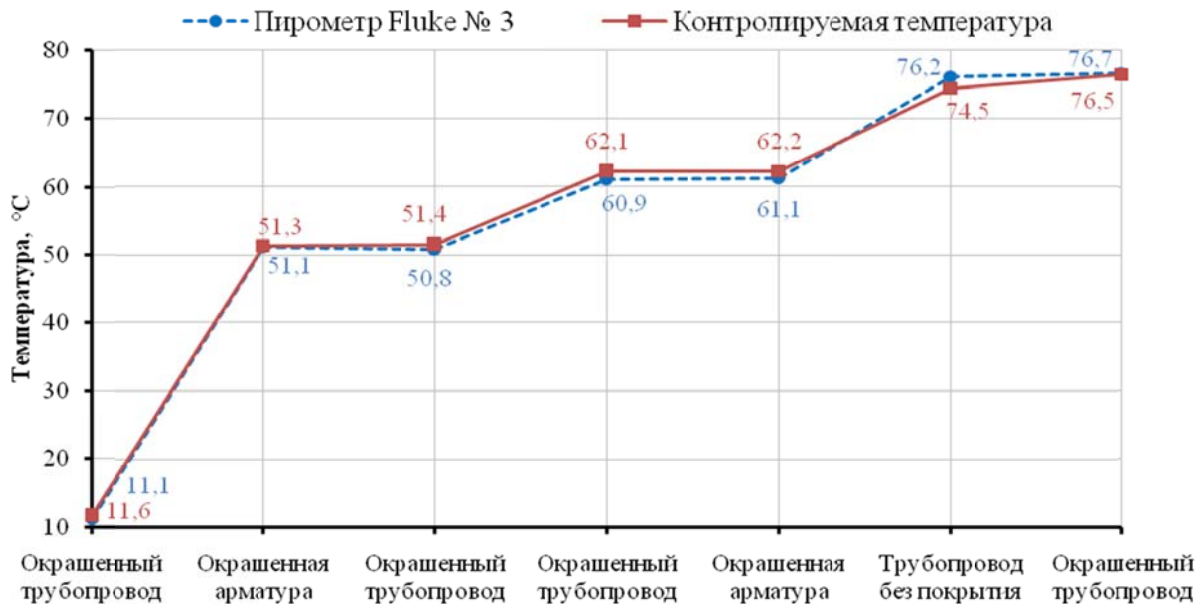


Рис. 5. Показания пирометра Fluke № 3 на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

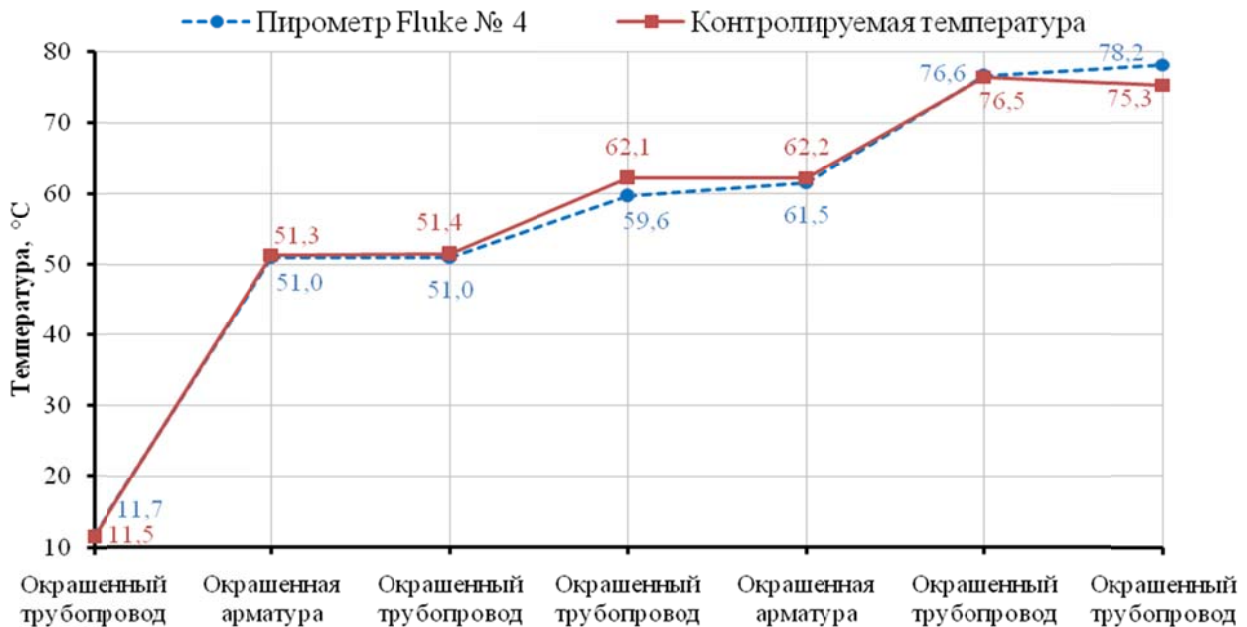


Рис. 6. Показания пирометра Fluke № 4 на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

На основании наблюдаемой закономерности, были рассчитаны корректирующие значения показаний пирометров, в зависимости от вида измеряемой поверхности и температурного диапазона измеряемой среды. Корректирующие значения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Корректирующие значения, °C.

Температурный диапазон измеряемой поверхности, °C	Окрашенный трубопровод				Окрашенная арматура	
	11÷13	40÷60	60÷70	70÷80	40÷60	60÷70
Пирометр Fluke	0,1	0,3	1,7	-1,1	0	0,9
Пирометр НИМБУС	-0,7	3,0	2,5	3,6	2,5	3,0

Следующим этапом было проведение повторных исследований в тех же условиях с применением рассчитанных корректирующих значений и сравнение результатов двух опытов. Полученные результаты представлены в таблицах 3 и 4 и на рисунках 7, 8, 9, 10, 11.

Таблица 3  
Максимальная абсолютная погрешность ( $\Delta$  °C) пирометров Fluke для двух случаев

Виды поверхности	Температурный диапазон, °C	$\Delta$ , °C в 1-м опыте	$\Delta$ , °C во 2-м опыте	
			без поправки	с поправкой
Окрашенный трубопровод	11 ÷ 13	±0,5	0,5	0,4
Окрашенный трубопровод	40 ÷ 60	0,6	0,6	0,3
Окрашенная арматура	40 ÷ 60	-0,4	-0,4	-0,4
Окрашенный трубопровод	60 ÷ 70	2,5	1,8	-0,7
Окрашенная арматура	60 ÷ 70	1,1	2,3	1,4
Окрашенный трубопровод	70 ÷ 80	-2,9	1,3	2,4
Окрашенный трубопровод	70 ÷ 80	-2,1	-2,4	1,8

Таблица 4  
Максимальная абсолютная погрешность ( $\Delta$  °C) пирометра НИМБУС для двух случаев

Виды поверхности	Температурный диапазон, °C	$\Delta$ , °C в 1-м опыте	$\Delta$ , °C во 2-м опыте	
			без поправки	с поправкой
Окрашенный трубопровод	11 ÷ 13	-0,7	-1,5	-0,8
Окрашенный трубопровод	40 ÷ 60	3,0	2,9	-0,4
Окрашенная арматура	40 ÷ 60	2,5	2,1	-0,4
Окрашенный трубопровод	60 ÷ 70	2,5	3,8	1,3
Окрашенная арматура	60 ÷ 70	3,0	4,1	1,1
Окрашенный трубопровод	70 ÷ 80	3,0	3,3	-0,3
Окрашенный трубопровод	70 ÷ 80	4,1	5,6	2,1

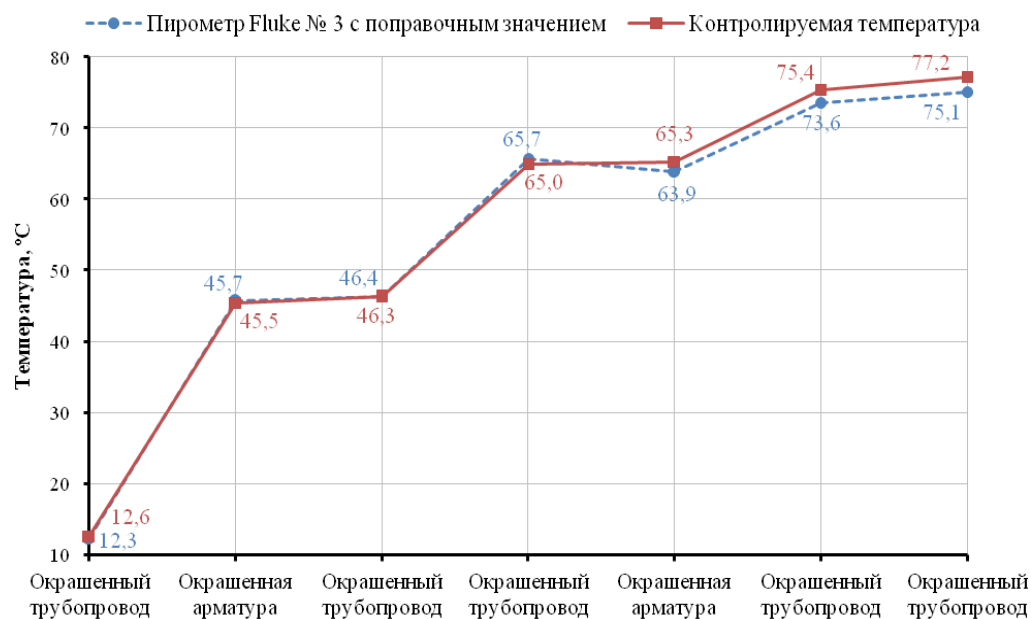


Рис. 7. Показания пирометра Fluke № 1с поправочным значением на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

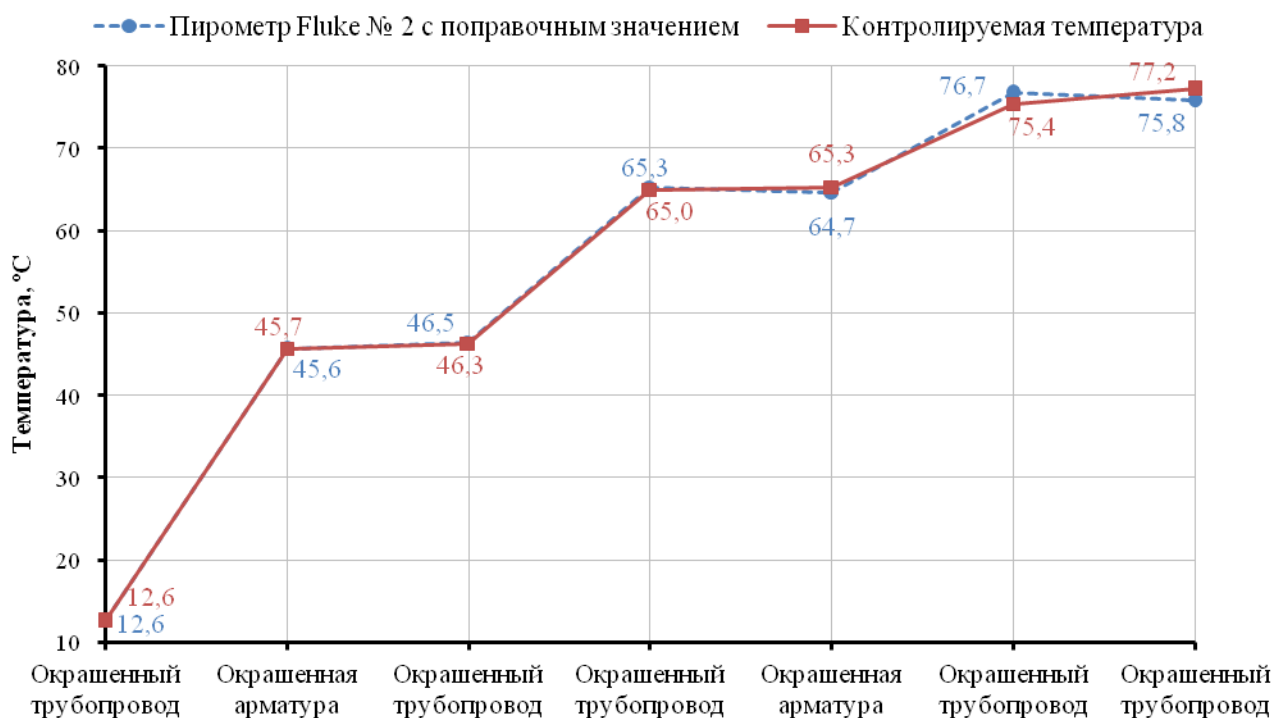


Рис. 8. Показания пирометра Fluke № 2 с поправочным значением на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

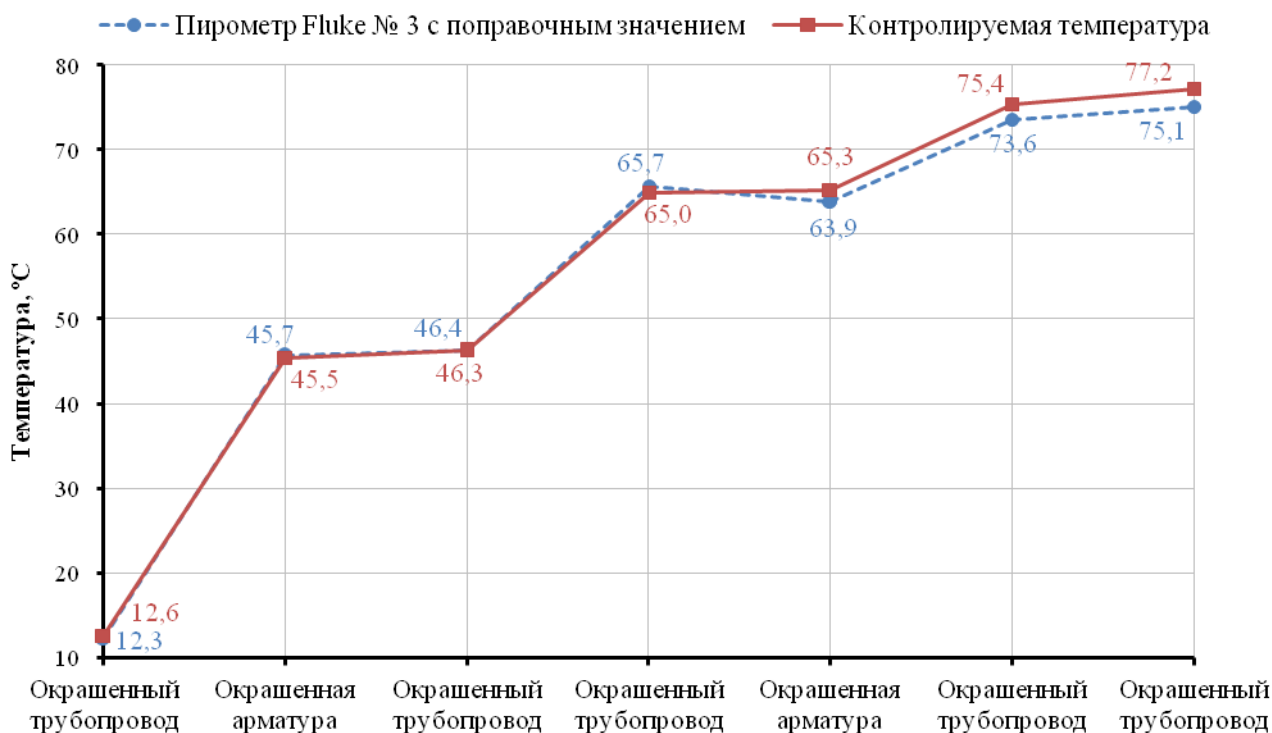


Рис. 9. Показания пирометра Fluke № 3 с поправочным значением на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона



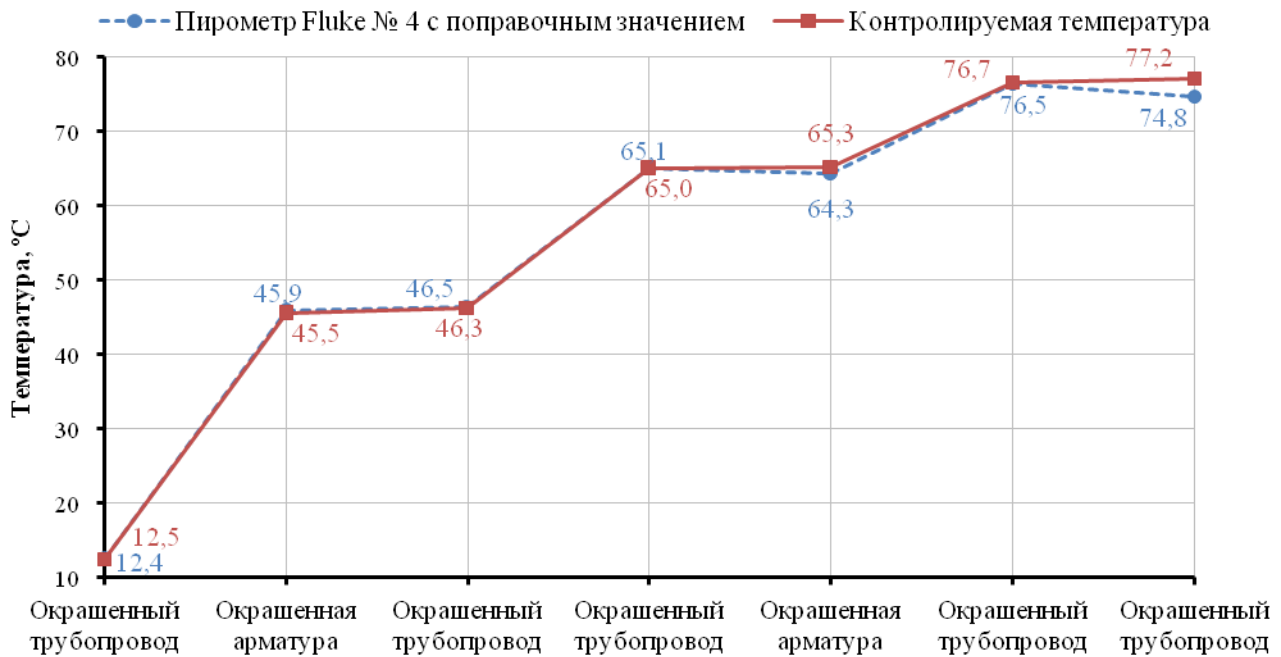


Рис.10. Показания пирометра Fluke № с поправочными коэффициентами на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

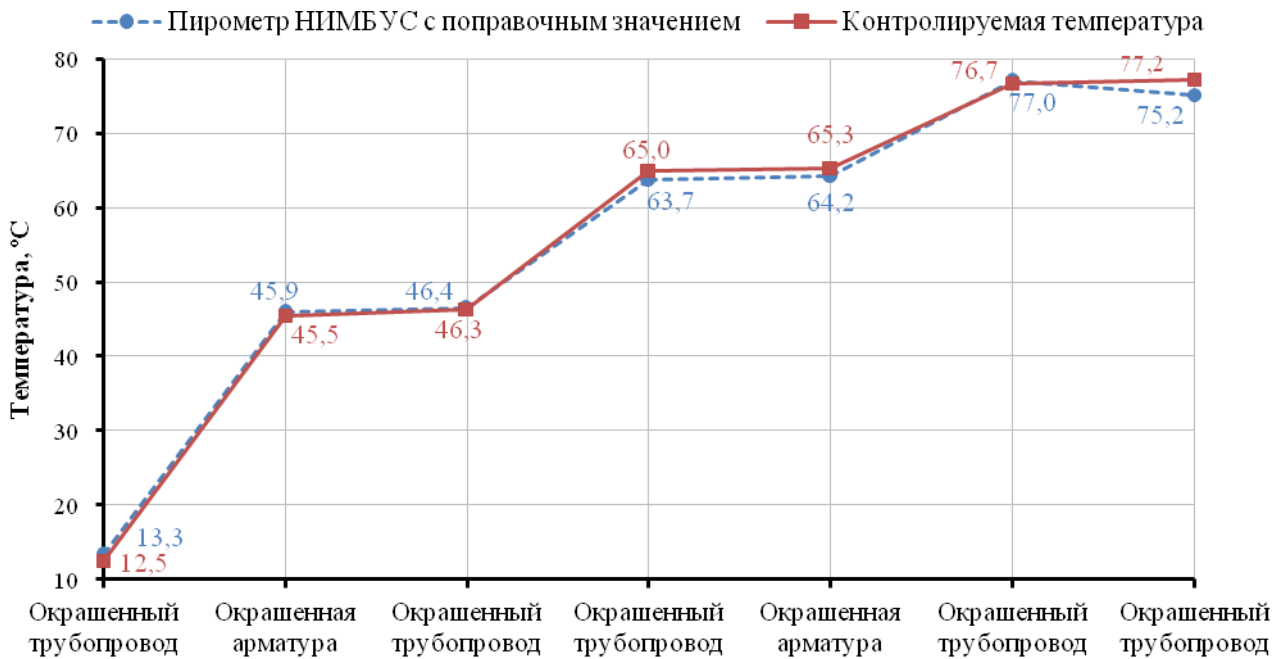


Рис.11. Показания пирометра НИМБУС с поправочными коэффициентами на окрашенных поверхностях в зависимости от температурного диапазона

### Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что заводская настройка пирометров типа Fluke позволяет проводить измерения на трубопроводах с окрашенной поверхностью без применения корректирующих значений. При этом область значений абсолютной погрешности составляла в большинстве случаев от 0,5 до 1 °С.

В то же время, для пирометров типа НИМБУС заводская настройка, на тех же поверхностях трубопроводов, давала возможность измерять температуру с абсолютной погрешностью

до 5,6 °С. Применение корректирующих значений, полученных экспериментальным путем, значительно улучшает точность измерений данным типом пирометров и определяет абсолютную погрешность от 0,1 до 2,1 °С в различных температурных диапазонах.

Учитывая, что повторные опыты практически подтвердили результаты первого, в последующем можно выполнять единичные контрольные исследования, только для интересующей поверхности и в интересующем пользователя, температурном диапазоне. Получаемые значения дают достаточно данных о настройках пирометра для его дальнейшего использования.

Практическое применение экспериментального априорного метода сличения результатов измерений контактным методом и пирометром демонстрирует область доверительных границ достоверности измерений различными типами пирометров и является необходимым предварительным условием для дальнейшего правильного его использования в конкретных условиях.

#### Список литературы

1. Поскачей А. А., Чарихов Л. А. Пирометрия объектов с изменяющейся излучательной способностью. – М.: Металлургия, 1978.
2. Излучательные свойства твердых материалов / Под ред. А. Е. Шейндлина. – М.: Энергия, 1974.
3. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия, 1969.
4. Н. Гоц. Температурная зависимость коэффициента излучения во время измерения температуры. – Х.: Метрология и приборы, 2012.

### EXPERIMENTAL ESTIMATION OF CONFIDING SCOPES OF MEASUREMENTS OF TEMPERATURE PYROMETERS

S. Ju. ANDREEV, Cand. Tech. Scie.  
I. P. FEDOROV

*In this article researches of pyrometers of type of Fluke and NIMBUS are resulted in four temperature ranges on the different types of surface of pipelines with the purpose of determination of scopes of authenticity of measuring of temperatures on the deysvuyuschikh objects of communal economy*

Поступила в редакцию 20.06 2012 г.

### МАГІСТРИ КИЇВСЬКОГО ПОЛІТЕХУ ВРАЗІЛИ СВІТОВУ НАУКОВУ СПІЛЬНОТУ

У місті Анахайм (США) закінчилась одна з найпрестижніших міжнародних конференцій з безпеки АЕС, де були представлені майже всі наукові та інженерні напрями сучасних досліджень в ядерній галузі.

Кафедра атомних станцій НТУУ «КПІ» брала участь у роботі конференції вперше, подолавши конкурсний відбір студентських доповідей. Доповіді Романа Глушенкова, Василя Зайця, В'ячеслава Соловйова, Ірини Терещенко і Олександра Тарановського зацікавили представників багатьох країн. Їхні наукові дослідження були відзначені грантами.

Цікаво, що серед організаторів конференції опинився випускник кафедри атомних станцій НТУУ «КПІ» 1974 роки професор університету Онтаріо Ігор Піоро, який високо оцінив роботи своїх земляків. Відзначимо, що робота викладачів кафедри про нову навчальну дисципліну «Культура безпеки» спонукала представників одного із найстаріших університетів Америки запропонувати кафедрі атомних станцій спільну роботу над новими навчальними курсами з безпеки АЕС.

Pedpresa.com, 14.08.12