

№5 (58) СЕНТЯБРЬ 2017

НЕФТЬ ГАЗ

ЭКСПОЗИЦИЯ

ISSN 2076-6785

ГАЗПРОМ

Исследование скважин
Уренгойского НГКМ
Газлифтная эксплуатация
на Оренбургском НГКМ

РОСНЕФТЬ

Кислотные обработки на
Гремихинском
месторождении
Борьба с гипсовыми
отложениями на
Верхнечонском
месторождении

НОВАТЭК

Повышение успешности
разведочного бурения

ПОЛИТЕХНИКА

Склад ГСМ в считанные дни

БЕТОННОЕ ПОЛОТНО

Открытие первого в мире
демонстрационного парка в Подмоскowie



Научно-технический журнал Входим в перечень ВАК Издаемcя с 2006 года

Подписывайтесь на нас в социальных сетях: [facebook.com/runeft](https://www.facebook.com/runeft) [instagram.com/runeft](https://www.instagram.com/runeft)

Экспериментальное определение методической погрешности измерения температуры газового потока в стальной трубе с помощью накладных датчиков температуры

В.М. Карюк
директор
karuk@binar.ru

А.В. Мальков
н.с.
mav6777@mail.ru

В.Н. Бойков
начальник отдела
boikov@binar.ru

А.С. Суродеев
инженер
surodeev@binar.ru

ООО «Объединение БИНАР», Саров, Россия

В статье рассмотрена возможность измерения температуры газа в стальной трубе с помощью накладных термодатчиков. Приведены экспериментальные результаты по определению погрешности представленного метода измерений. Сформулированы рекомендации по применению накладных термодатчиков.

Ключевые слова
газодобывающие скважины, температура измерения, погрешность измерения, беспроводные технологии, накладные термометры

В некоторых практических случаях для получения данных о режимах работы газодобывающей скважины необходим постоянный контроль над температурой газа, поступающего из скважины в трубу газопровода. При этом для определения режима не требуется высокой точности измерения температуры. Зачастую применение типовых термометров, устанавливаемых в защитной гильзе в газовый поток, недопустимо из-за опасности её разрушения механическими примесями, присутствующими в газовом потоке. Простым решением является применение накладных датчиков, регистрирующих температуру наружной поверхности трубы, по которой возможно определять температуру газа в трубе. Важно понимать, какие при этом возникают погрешности и какие конструктивные решения необходимо применять с целью снижения этих погрешностей.

В реальных условиях измерения температуры среды всегда возможны некоторые расхождения между температурой измеряемой среды и температурой погружаемого в нее датчика. Результаты измерений предопределяются не только свойствами регистрирующего прибора, но и тем насколько удастся приблизить температуру датчика к температуре измеряемой среды. Разность при этом и составляет ошибку измерений. Величина ее зависит от конструкции элементов датчика и способа его размещения в измеряемой среде, влияния тепловых мостов, теплопроводности применяемых материалов в конструкции датчика и его тепловой инерции.

В работе приведены результаты определения опытным путём погрешностей, возникающих при измерении температуры газового потока в стальной трубе, за счёт процессов теплопередачи в элементах датчиков температуры. Приводятся рекомендации по конструктивным решениям для снижения погрешностей и определена величина расхождения между температурой, регистрируемой накладными датчиками, температурными датчиками штатной конструкции и температурой газа для конкретных условий проведения измерений.

Целью исследований является определение возникающих погрешностей и выработка рекомендаций по конструктивным решениям накладных термодатчиков, регистрирующих температуру наружной стенки трубы, для определения с их помощью температуры газового потока в стальной трубе.

Схема проведения исследований приведена на рис. 1. На стальной трубе 1, имитирующей газопровод, закреплялся накладной датчик, а также посредством бобышек 2 устанавливались термодатчики различных конструкций 3. С одного конца трубы подавался нагреваемый воздух 4, с другого конца проводился отсос воздуха 5. Каждый эксперимент начинался с комнатной температуры. Нагрев воздуха осуществлялся электронагревателем 6. В ходе эксперимента велась непрерывная регистрация показаний датчиков. Исследования проводились при различных вариантах теплоизоляции трубы и различных способах установки термодатчиков.

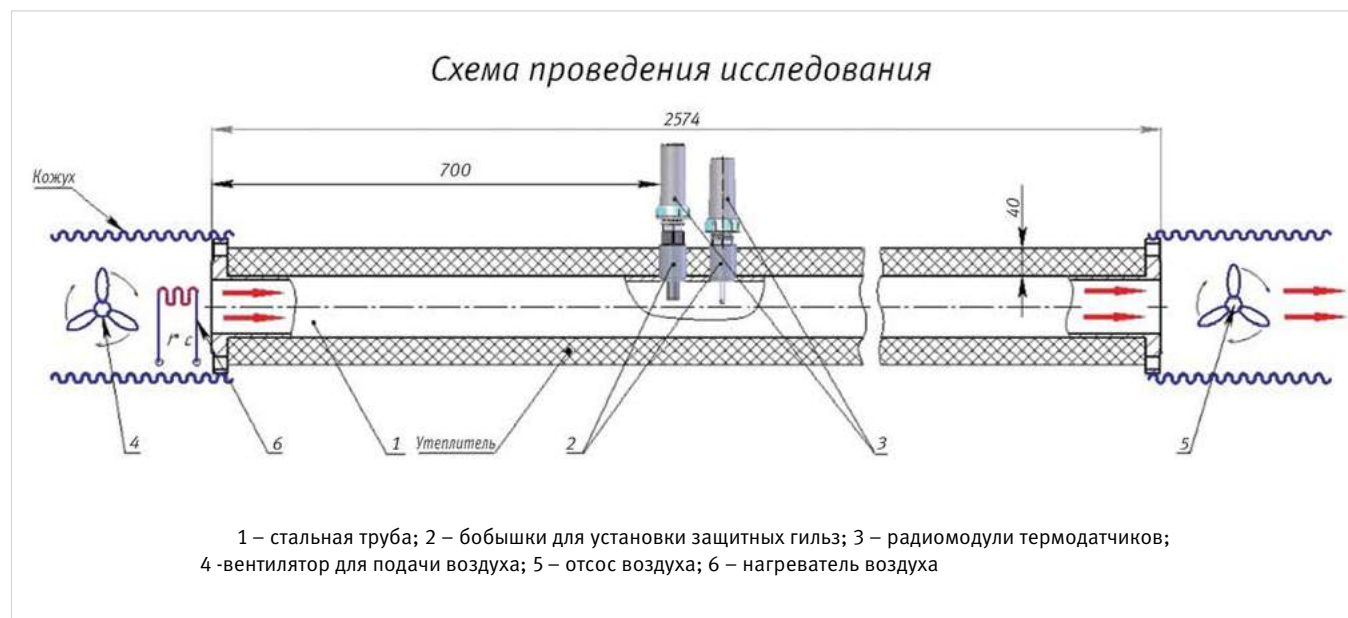


Рис. 1 — Схема проведения экспериментов

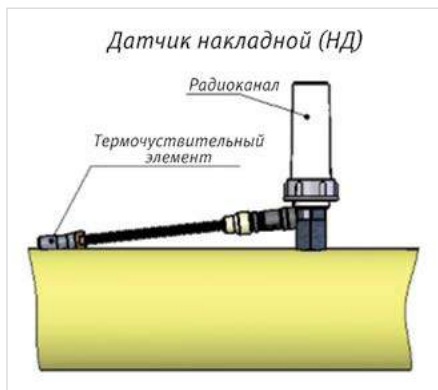


Рис. 2 — Внешний вид накладного датчика температуры

В проведенных экспериментах в трубу подавался воздух при его непрерывном разогреве от комнатной температуры до максимальной в данном цикле.

В качестве чувствительного элемента во всех температурных датчиках применена цифровая 13 битовая термочувствительная микросборка ADT-7301, которая устанавливалась в тонкостенном защитном кожухе. Для улучшения теплопередачи от корпуса к чувствительному элементу термодатчика использовалась термопаста КПТ8.

На рис. 2 приведен вид накладного датчика температуры.

Регистрация сигналов от термосборки, преобразование в натуральные величины и передача на записывающую аппаратуру проводилась с помощью сенсорного модуля ВН1225.700. Термочувствительная сборка к сенсорному модулю пристыковывалась с помощью гибкого кабельного подвода, зачехленного в металлорукав РЗ-ЦП6 в ПВХ изоляции (такое решение продиктовано требованиями уменьшения теплоотдачи от датчика к измерительному модулю с одновременным обеспечением взрывобезопасности).

Непосредственные измерения температуры наружной поверхности стальной трубы газопровода диаметром 114 мм, с толщиной стенки 8 мм, показали, что при средней температуре газа около 60°C и отсутствии теплоизоляции трубы, температура внешней стенки трубы меньше температуры газа на 22°C. Из этого следует, что определение температуры

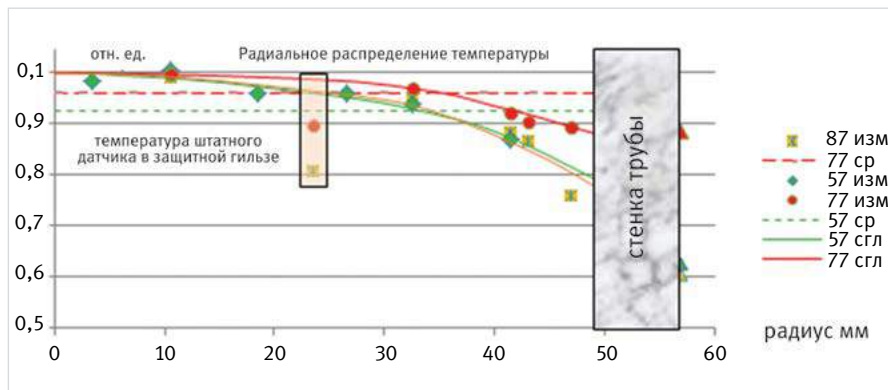


Рис. 3 — Результаты измерения радиального распределения температуры в трубе

газа в трубе, не покрытой теплоизоляционным слоем, на основании измерений температуры накладными датчиками, имеет значительную погрешность. Основные погрешности определяются потерей тепла через стенку трубы в окружающую атмосферу. Уменьшение этих потерь достигается посредством теплоизоляции трубы в месте установки датчиков. Нарастивание толщины теплоизоляции трубы снижает эти потери, следовательно, уменьшается погрешность в определении температуры газа, но при этом возрастают технологические сложности в изготовлении изоляционного слоя. Реализованный компромисс при выборе толщины изоляции и допустимой погрешности показал, что при теплоизоляции из энергофлекса толщиной 40 мм, температура поверхности трубы ниже температуры газа на 8%.

Проведённые сравнительные измерения с различной протяженностью теплоизоляционного слоя показали, что длина теплоизоляционного слоя на наружной поверхности газопровода должна быть не менее 700 мм с обеих сторон от места установки датчика.

Поскольку стенка трубы является тепловым мостом от газа к внешней атмосфере, то газ около стенки трубы, остывающий за счет передачи тепла на стенку трубы, имеет более низкую температуру, чем газ вдоль оси трубы. Внешняя поверхность трубы также имеет температуру, меньшую, чем внутренняя поверхность. Проведённые измерения показали, что наличие теплоизоляции влияет на радиальное распределение температуры.

На рис. 3 приведены результаты измерения радиального распределения температуры.

Наличие теплоизоляции трубы, вследствие уменьшения теплового потока от трубопровода в атмосферу, приводит к выравниванию распределения температуры по радиусу трубы. Это выглядит как «расширение» зоны «теплого» газа в трубе и создаёт эффект приближения температуры накладного датчика к температуре газа в трубе.

Для применяемых на практике в газовой отрасли (штатных) термометров, погруженных в газовый поток, изображенных на рис. 4, чувствительная часть термометра закрыта защитным чехлом датчика, который устанавливается в защитную гильзу.

Гильза необходима для обеспечения целостности измерительной части и возможности её установки внутрь трубы для проведения измерений в среде с рабочим давлением и скоростными напорами, превышающими прочностные характеристики защитного чехла термочувствительного элемента. Для улучшения теплопередачи между защитной гильзой и защитным чехлом зазор между ними рекомендуется заполнять трансформаторным маслом.

Для накладных датчиков основные погрешности при измерении температуры вносят потери при теплопередаче и рассеянии тепла элементами датчика. Для минимизации этих погрешностей предложена конструкция накладного датчика изображенного на рис. 5.

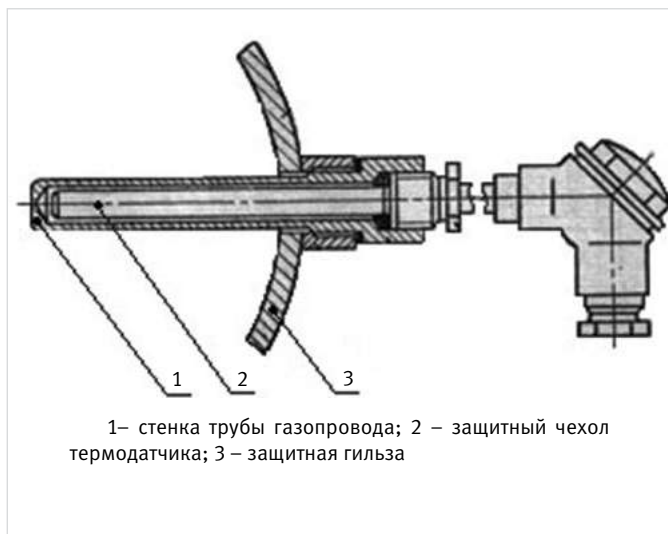


Рис. 4 — Конструкция «штатного» датчика измерения температуры.

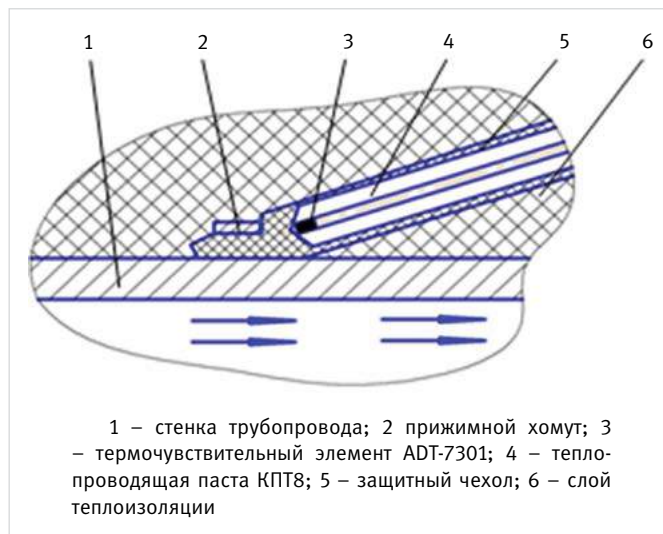


Рис. 5 — Рекомендуемая конструкция накладного термодатчика.

Термочувствительный элемент устанавливается в тонкостенный защитный чехол 5, который изготавливается также как, и труба из стали, с целью предотвращения возникновения гальванической пары с трубой газопровода. Для максимального приближения термочувствительного элемента АДТ-7301 3 к поверхности трубы 1 размер защитного чехла 5 минимизирован и его корпус выполнен в виде усеченного цилиндра. Зазор между термочувствительным элементом и защитным чехлом заполнен теплопроводящей пастой КРТ8 4. Защитный чехол датчика прижимается к наружной стенке трубы с помощью хомутов 2.

На рис. 6 приведена фотография такого накладного датчика. Место установки датчика и сам датчик теплоизолированы от внешнего окружения при помощи теплоизоляционного покрытия.

Описанная конструкция позволяет измерять температуру наружной поверхности трубы газопровода без дополнительных погрешностей, вносимых термодатчиком. Подключение термодатчика к измерительному модулю выполнено посредством гибкого кабеля. Передача сигналов от измерительного модуля осуществляется посредством радиомодуля ВН1225.700 по беспроводной технологии. Это обеспечивает простоту и оперативность в установке накладных датчиков и не требует подведения линий связи и электропитания.

Измерения температуры газа в стальной трубе с помощью температурных датчиков (термометров), не имеющих непосредственного контакта с газом, обладают большой инерционностью.

Наличие в штатных датчиках элементов механической защиты, обеспечивающих сохранность термосборки, а также присутствие масла в конструкции термодатчика, приводит к временным задержкам в показаниях датчика при изменениях температуры газа, а также к тому, что температура термодатчика не достигает температуры газа. Это вызвано тем фактом, что наряду с поступлением тепла от газа на корпус термодатчика, имеет место отток тепла через корпус защитной гильзы к стенке трубы.

Такой же эффект наблюдается и при установке датчиков на наружной поверхности трубы. Временная задержка регистрации температуры составляет от 30 до 70 мин, при этом штатные датчики обладают лучшим временным разрешением по сравнению с накладными датчиками. Это обусловлено тем, что защитная гильза обтекается горячим газом со всех сторон и тепло поступает со всей внешней поверхности, окружённой газом. В случае накладных датчиков, тепловой поток поступает только с внутренней стенки трубы, и одновременно с приходящим теплом имеет место отток тепла через наружную стенку трубы во внешнюю атмосферу. К тому же температура пристенного слоя воздуха ниже температуры воздуха в остальном сечении. На временные задержки в измерении температуры толщина теплоизоляционного слоя на трубе, как показали измерения, практически не влияет.

Результаты проведенных исследований подтверждаются проведенными натурными испытаниями накладного датчика температуры в ООО «НОВАТЭК-ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ» в октябре 2012 года (рис. 7).

В ходе экспериментов не проводились исследования влияния климатических условий эксплуатации на погрешность измерений температуры. Можно предположить, что наличие солнца, ветра, дождя или снега внесёт дополнительные коррективы в точность определения температуры газа. При этом в различных условиях эксплуатации возможно как увеличение, так и уменьшение погрешности.

Итоги

Определение температуры газа в трубе, не покрытой теплоизоляционным слоем, по измерениям температуры, как накладными, так и штатными датчиками имеет значительную погрешность. При средней температуре газа около 60°C температура внешней стенки трубы достигает 37,5±0,6°C, а температура, регистрируемая штатными датчиками, составляет 48±0,6°C.

Уменьшение этих погрешностей достигается путем установки теплоизоляции. В этом случае при средней температуре газа

около 60°C температура внешней стенки трубы достигает 55,2±0,6°C, а температура, регистрируемая штатными датчиками, составляет 56,7±0,6°C. Наличие локальной теплоизоляции в месте установки накладного термодатчика недостаточно, поэтому требуется изолировать также соседние участки трубы, не менее чем по 700 мм с обеих сторон от места установки датчика. В этом случае, уменьшение теплового потока от трубопровода в атмосферу, приводит к более «плоскому» распределению температуры по радиусу трубы. Это выглядит как «расширение» зоны «теплого» газа в трубе и создаёт эффект приближения температуры накладного датчика к температуре газа в трубе. Увеличение толщины теплоизоляции трубы уменьшает погрешность в определении температуры газа, но при этом возрастают технологические сложности в изготовлении изоляционного слоя. С целью снижения тепловых потерь в месте установки датчиков необходимо изолировать их корпуса.

Выводы

Измерение температуры наружной стенки трубы газопровода позволяет определить температуру газа в трубе с точностью ~8% и временными задержками порядка 60 мин. При этом необходимо изолировать отрезок трубы в месте установки датчика не менее, чем по 700 мм с обеих сторон, а толщина теплоизоляционного слоя должна быть не менее 40 мм (эквивалентно энергофлексу). Также рекомендуется изолировать корпус накладного датчика от окружающей среды.



607188, Нижегородская область, г. Саров,
Южное шоссе, д. 12, стр. 17А,
+7(83130) 7-53-50, 7-53-53
binar@binar.ru
www.binar.ru



Рис. 6 — Фото накладного датчика

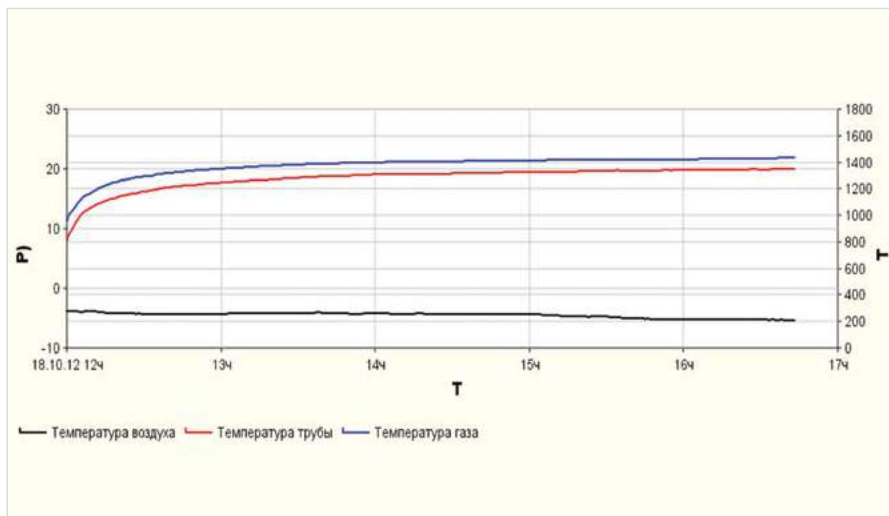


Рис. 7 — Результаты замеров температуры газа штатным термометром и стенки трубы накладным датчиком в ООО «НОВАТЭК-ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ»