

## ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Дарвай И.Я., Карпаш О.М.

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа  
email: mkarpush@nung.edu.ua*

*В статье описана промышленная апробация экспериментальной установки для определения теплоты сгорания природного газа в условиях ОАО "Ивано-Франковскгаз". Для апробации параллельно было отобрано две пробы. Одна из них анализировалась с помощью серийного газового хроматографа, вторая - на экспериментальной установке для определения теплоты сгорания природного газа. Результаты определений теплоты сгорания сравнивались. Приведенная к диапазону погрешность определения низшей теплоты сгорания природного газа равна 1,6 %.*

Ключевые слова: *природный газ, контроль качества, скорость звука, теплота сгорания*

Новый метод определения теплоты сгорания природного газа (ТСПГ), предложенный ранее [1, 2], основан на комплексном учете таких параметров, как скорость распространения звука в газе и содержания диоксида углерода. Эти параметры были выбраны на основе корреляционного анализа ТСПГ с рядом стандартизированных физико-химических параметров природного газа, а именно: содержания углеводородов (метана, этана, пропана, бутана и высших углеводородов), плотности, молярной массы, скорости распространения ультразвука в газе, содержания диоксида углерода и содержания азота.

С целью проверки возможности промышленного использования предлагаемого метода определения ТСПГ было проведено исследование в два этапа. На первом этапе, было проведено экспериментальное исследование в условиях Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа. Абсолютная погрешность экспериментального определения ТСПГ составила 39,64 ккал/м<sup>3</sup>, а приведенная к диапазону погрешность составила 4,66 %. Такие результаты можно считать приемлемыми, поскольку при теоретической проверке метода на данных, взятых из сертификатов качества на природный газ, которые были получены на одном из предприятий Ивано-Франковской области, приведенная к диапазону погрешность составила 4,4 %.

Экспериментальная установка для определения ТСПГ [3] состоит из следующих основных узлов: блока подготовки газа, датчика определения скорости распространения звука в газе, блока измерения концентрации диоксида углерода в природном газе, манометра, термогигрометра и ультразвукового дефектоскопа.

Вторым этапом проверки возможности промышленного использования предлагаемого метода была промышленная его апробация в условиях ОАО "Ивано-Франковскгаз" (рис. 1). В ходе апробации были отобраны 20 проб из газораспределительных станций и пунктов Ивано-Франковска и области (ГРС Горонка, ГРС Коломыя, ГРС Брошнів, ГРС Угрынів - всего 16 объектов).



Рисунок 1. Отбор проб природного газа в условиях ОАО „Ивано-Франковскгаз”

Технология промышленной апробации экспериментальной установки определения ТСПГ следующая. Одновременно отбиралось две пробы газа. Одна проба природного газа анализировалась с помощью хроматографа „Кристалл-2000М” (зав. № 721753). Определялся компонентный состав газа и ТСПГ. С помощью экспериментальной установки (рис. 2) проводили определения теплоты сгорания газа на второй отобранной пробе. Результаты исследований далее сравнивались.

Для обеспечения достоверности проведения измерений температура проб газа была постоянной - в пределах  $(18 \pm 1)$  °С. Также было стабилизировано давление природного газа при измерении параметров распространения звука и содержания диоксида углерода в газе, значение которого составляло  $(2,2 \pm 0,2)$  кПа. С целью определения влияния влажности на изменение показаний скорости распространения звука было проанализировано изменение последнего параметра от зна-

чения относительной влажности в пределах от 3 % до 15 %. Существенного влияния влажности на значение скорости распространения звука в природном газе в указанном диапазоне значений влажности не обнаружено.

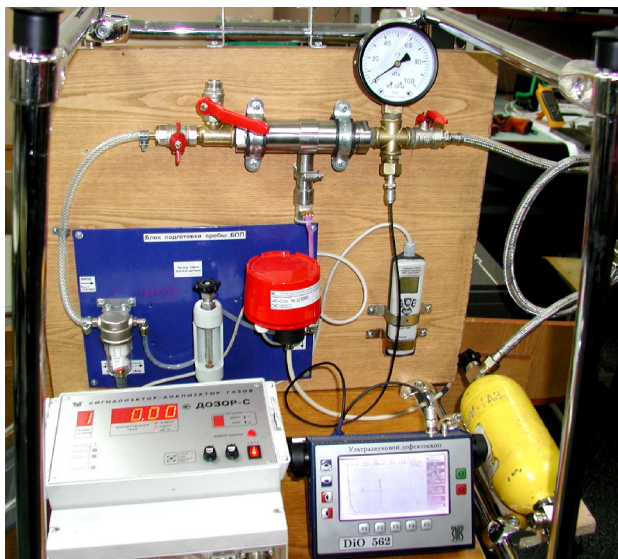


Рисунок 2. Исследование отобранной пробы на экспериментальной установке

В соответствии с разработанной методикой экспериментальных исследований на экспериментальной установке были осуществлены измерения концентрации содержания диоксида углерода в природном газе и скорости распространения звука в нем. В табл. 1 приведены результаты определения основных параметров природного газа, которые необходимы в дальнейших исследованиях. В ходе исследования определялась низшая теплота сгорания газа, поскольку в межгосударственном стандарте ГОСТ 5542 [4] регламентировано требования именно к этому показателю, а не к высшей теплоте сгорания, как это практикуется в Европе и мире.

На рис. 3 приведены зависимости измеренных, с помощью экспериментальной установки значений диоксида углерода от действительных значений диоксида углерода (измеренных хроматографом "Кристалл-2000М). Эта зависимость является линейной и коэффициент корреляции между измеренными значениями диоксида углерода и действительными равен 0,998.

Из табл. 1 и рисунка 3 видно, что необходимо усовершенствовать методику определения диоксида углерода, поскольку возникали трудности с определением этого параметра в диапазоне от 0 % до 0,25 %.

Правильность определения скорости распространения звука в газе с помощью экспериментальной установки проверена программой *FLOWSOLV™ - AGA10 Gas Speed of Sound Calculation Input*, которая позволяет рассчитывать скорость распространения звука в газе на основе полученных хроматографических данных о природном газе и реализует методику, принятую Американской газовой ассоциацией [5]. Результаты проверки правильности определения скорости распространения звука в газе показаны на рис. 4.

Таблица 1

## Результаты исследования проб газа

№ п/п	Теплота сгорания газа низшая, определенная с помощью хроматографа, ккал / м <sup>3</sup>	Содержание диоксида углерода, определенное с помощью хроматографа, %	Содержание диоксида углерода, определенного с помощью экспериментальной установки, %	Скорость распространения звука в газе, м/с
1	8362	0,748	0,85	420,8269
2	8063	0,072	0	437,2918
3	8203	0,732	0,79	425,7564
4	8113	0,532	0,6	427,3900
5	8315	0,616	0,69	423,7630
6	8128	1,345	1,59	424,6738
7	8114	0,53	0,56	430,7159
8	8114	0,538	0,59	430,2920
9	8132	1,565	1,86	424,7973
10	8054	0,071	0	437,1080
11	8122	1,332	1,57	425,5931
12	8368	0,173	0	424,9928
13	8493	0,409	0,44	419,6791
14	8129	0,985	1,13	428,0924
15	8107	0,404	0,43	431,3390
16	7998	0,089	0	436,9938
17	8057	0,07	0	437,3565
18	8289	0,526	0,56	424,2429
19	8263	0,489	0,53	424,8192
20	8132	0,976	1,05	427,5515

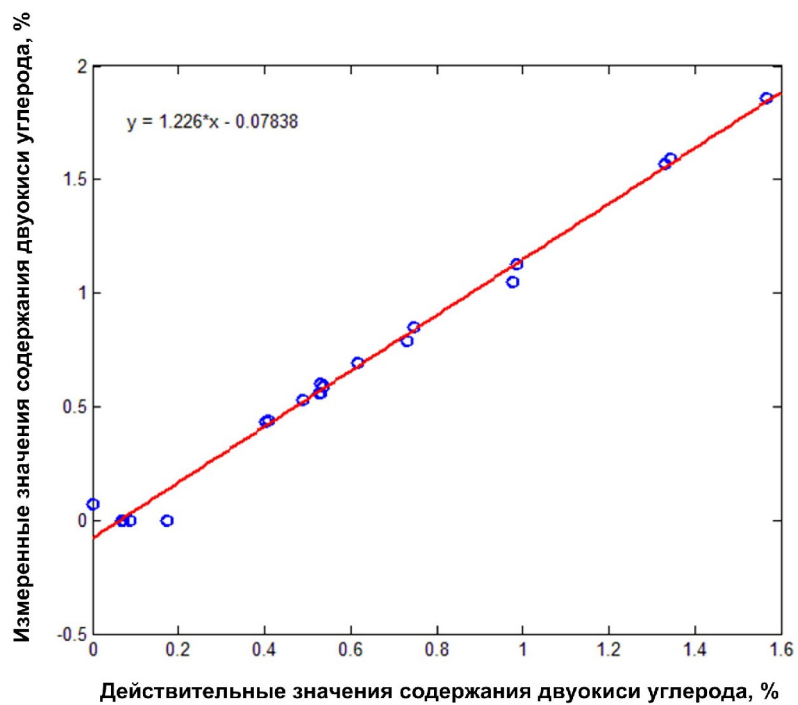


Рисунок 3. Зависимость измеренных значений диоксида углерода от действительных значений

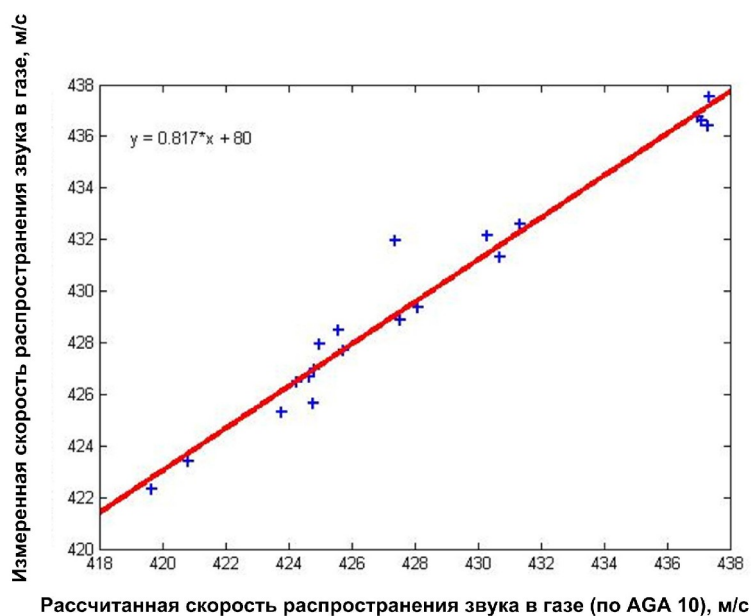


Рисунок 4. Зависимость измеренной скорости распространения звука в газе от рассчитанной по AGA 10

Как видно из рис. 4 измеряемая скорость распространения звука в природном газе соответствуют значениям, которые рассчитаны с помощью программы *FLAWSOLV™ - AGA10 Gas Speed of Sound Calculation Input*. Коэффициент корреляции между этими значениями равен 0,98.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить наличие и характер зависимости между теплотой сгорания природного газа и скоростью распространения звука (рис. 5).

Зависимость на рис. 5 является нелинейной обратнопропорциональной, коэффициент корреляции равен -0,82. Теоретически рассчитанное значение этого коэффициента составляет -0,63, что указывает на соответствие экспериментальных результатов теоретическим [6].

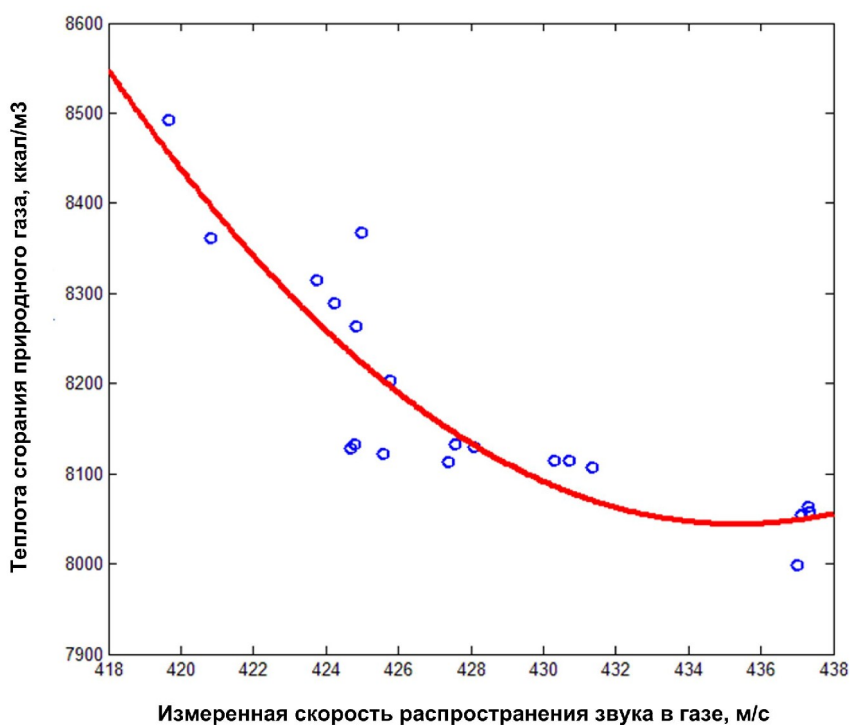


Рисунок 5. Зависимость нижней ТЗПГ от скорости распространения звука в газе

С целью определения ТСПГ пробы газа разделены на две группы (17 проб и 3 пробы). На результатах исследования 17 образцов газа были выполнены настройки программного обеспечения, которое обеспечивает определение теплоты

сгорания газа. На результатах остальных 3 образцов газа было осуществлено тестирование разработанного метода определения теплоты сгорания.

Результаты расчетов теплоты сгорания согласно разработанному методу по сравнению с результатами, полученными хроматографическим анализом, приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты апробации

Номер пробы (по протоколу)	Низшая теплота сгорания (по протоколу), ккал/м <sup>3</sup>	Содержание двуокиси углерода (по протоколу), %	Низшая теплота сгорания (показания эксп. установки), ккал/м <sup>3</sup>	Содержание двуокиси углерода (показания эксп. установки), %	Скорость распространения ультразвука (показания эксп. установки), м/с
1 (11)	<b>8203</b>	0,732	<b>8209</b>	0,79	425,76
2 (1)	<b>8129</b>	0,985	<b>8115</b>	1,13	428,09
3 (16)	<b>8263</b>	0,489	<b>8259</b>	0,53	424,82

Приведенная к диапазону погрешность определения низшей теплоты сгорания природного газа составляет 1,6 % (абсолютная погрешность равна 8 ккал/м<sup>3</sup>). Полученное значение погрешности можно считать вполне приемлемым в сравнении со стандартными методами определения ТСПГ (калориметрический, хроматографический).

Преимуществом предлагаемого метода является скорость проведения определения ТСПГ. Время проведения анализа одной пробы природного газа на современном хроматографе составляет около 20 минут, а с помощью экспериментальной установки - до пяти минут, что является существенным преимуществом, поэтому экспериментальную установку можно применять и в полевых условиях.

К недостаткам экспериментальной установки следует отнести отсутствие автоматизированного процесса расчета ТСПГ. Для решения этой проблемы будет разработано специализированное программное обеспечение на базе алгоритма расчета, реализованного в программной среде MATLAB R16.

Для обеспечения практического использования результатов исследований был разработан проект нормативного документа «Газ природный горючий. Экспресс контроль теплоты сгорания природного газа». Этот нормативный документ

согласован с международным стандартом ISO 15112 (п. 6.3.1), которым предусмотрено использование для определения ТСПГ наряду с использованием традиционных методик (прямые измерения - с помощью калориметрической аппаратуры, косвенные измерения - с помощью газохроматографической аппаратуры) применение методик, которые отнесены к категории корреляционных [7].

Упомянутый проект нормативного документа содержит методические рекомендации и описание алгоритма выполнения измерений и расчетов на разработанной экспериментальной установке определения ТСПГ. Также в проекте нормативного документа приведены практические наставления по внедрению предлагаемого метода в промышленности Украины.

Во время проведения и на основе полученных результатов промышленной апробации экспериментальной установки сделаны следующие выводы:

1. Предлагаемый метод и экспериментальная установка, которая его реализует, позволяют определять ТЗПГ в экспресс-режиме и с удовлетворительной точностью (до 5 %) путем измерения скорости распространения звука и содержания диоксида углерода в природном газе. Эти положения полностью согласуются с теоретическими результатами, полученными авторами ранее [8, 9].

2. Экспериментальную установку определения ТЗПГ с учетом выявленных недостатков можно допустить к метрологической аттестации и более широкой ее апробации в сочетании с проектом нормативного документа, регламентирующего порядок получения и использования результатов измерений низшей теплоты сгорания природного газа.

### **Литература**

1. Карпаш О.М., Дарвай И.Я., Карпаш М.О. Новые информативные параметры для определения теплоты сгорания природного газа // Нефтяная и газовая промышленность. - 2008. - № 4. - С. 57-60.

2. Карпаш О.М., Дарвай И.Я. Теоретическое обоснование метода экспресс-контроля теплоты сгорания природного газа / Неразрушающий контроль и техническая диагностика: материалы 6-той Национальной научно-технической конференции и выставки. - Киев, 9-12 июня 2009, издательство, 2009. - 221 с.

3. Пат. 48121 Украина, МПК (2009), G01N25/20. Устройство для экспресс-определения теплоты сгорания природного газа / Карпаш О.М., Дарвай И.Я.; заявитель Ивано-Франковский национальный техн. унив. нефти и газа. - № u200908918; заявл. 27.08.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5 - 3 стр.: ил.

4. Газы горючие Природные для промышленного и коммунально-бытового назначения: ГОСТ 5542-87 - [Введен 1988-01-01] .- М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982 .- 6 с.

5. Speed of Sound in Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases. AGA Report No. 10, American Gas Association. – 2003. - 177 p.

6. Дарвай И.Я., Карпаш О.М. Оптимизация количества информативных параметров для определения теплоты сгорания природного газа / Методы и средства неразрушающего контроля промышленного оборудования: материалы 2-гои научно-практической конференции студентов и молодых ученых - Ивано-Франковск, 25-26 ноября 2009. - С. 34.

7. Natural gas - Energy determination: ISO 15112 - [First edition 2007-12-01] .- Geneva: ISO copyright office, 2007. - 64 p.

8. Дарвай И. Я. Теоретическое обоснование метода определения теплоты сгорания природного газа / Нефтегазовая энергетика: проблемы и перспективы: материалы Международной научно-технической конференции и выставки, 20-23 октября 2009 - Ивано-Франковск: Факел, 2009. - 125 с.

9. O. Karpash, I. Darvay, M. Karpash. New approach to natural gas quality determination // Journal of Petroleum Science and Engineering. -2010. -Vol.71, Issue 3- 4, p.133-137.