

УДК 622.76:621.311.23:622.33

**В.Ю. Жиряков**, научный сотрудник научно-исследовательского отдела; **М.Ю. Тарасов**, канд. техн. наук, начальник лаборатории промыслового сбора, транспорта и подготовки нефти, газа и воды, e-mail: tarasov@gtng.ru; **С.С. Иванов**, канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела, e-mail: ivanov@gtng.ru; **А.А. Зобнин**, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, ОАО «Гипротюменнефтегаз» (Группа ГМС), e-mail: ZobninAA@gtng.ru

## ПОДГОТОВКА ШАХТНОГО ГАЗА ДЛЯ ПИТАНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*В статье приведен пример реализованного проекта утилизации шахтного газа на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь». Утилизация шахтного газа на данном объекте заключается в выработке тепловой и электрической энергии на газопоршневых теплоэлектростанциях (ГПТЭС) № 1 и 2. В статье рассмотрена применяемая технология подготовки шахтного газа, проведена сравнительная оценка подготовленного шахтного газа ГПТЭС № 1, 2 на соответствие требованиям, предъявляемым к топливному газу для газовых двигателей, установленных на ГПТЭС.*

**Ключевые слова:** шахтный газ, газопоршневая теплоэлектростанция, массообменный аппарат пенного типа, капельная жидкость, механические примеси.

Эффективное использование шахтного газа для горной промышленности – такая же актуальная проблема, как и утилизация попутного нефтяного газа в нефтяной отрасли. Для успешной реализации проектов по утилизации шахтного газа необходимо его не только собирать и сжигать, но и использовать для получения электрической, а также тепловой энергий [1].

Шахтный газ (также в литературе встречается как рудничный газ) разделяют на следующие группы:

1. Шахтный газ из нетронутых горными работами месторождений (метан угольных пластов). Метан угольных пластов более чем на 90% состоит из метана и в некоторых месторождениях может быть получен независимо от угольных разработок. Состав газа, как правило, стабильный, так что газ может подаваться в существующие газопроводы.
2. Шахтный газ из действующих горных разработок (метан угольных разработок). Метан угольных разработок – это освобожденная в результате добычи угля метаново-воздушная смесь, которая из соображений безопасности должна отводиться. Метан угольных

разработок обычно имеет долю кислорода от 5 до 12 объемных %.

3. Шахтный газ из законсервированных шахт (метан угольных шахт). Даже после остановки разработки месторождений каменного угля может происходить освобождение шахтного газа. Шахтный газ в своем составе из законсервированных горных разработок обычно не имеет кислорода и изменяет свой состав очень медленно.

С целью обеспечения дегазации на действующих шахтах используется принудительная откачка шахтного газа с помощью вакуумных насосов.

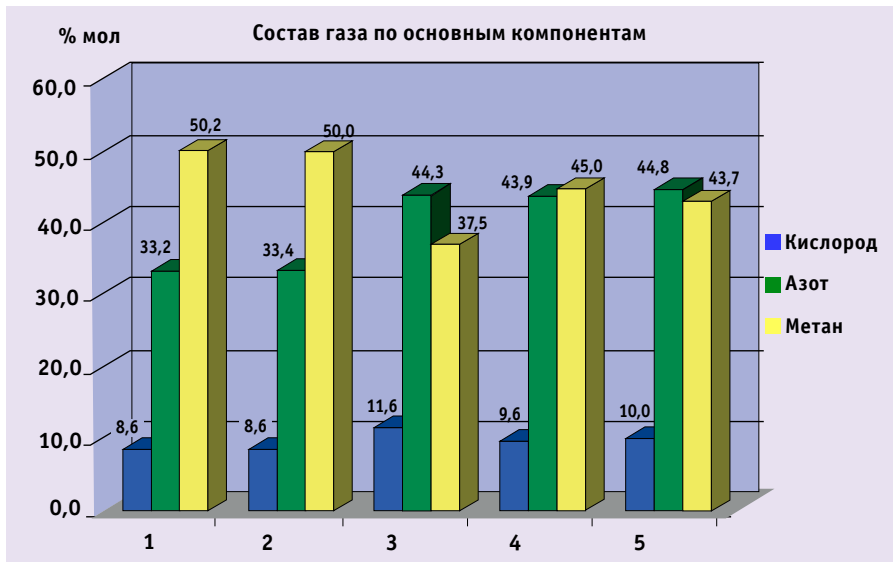
Скачкообразное изменение состава откачиваемого газа из действующих угольных разработок затрудняет использование его в качестве топлива для газовых двигателей. Эта проблема решается отслеживанием изменения теплотворной способности топлива и корректировкой работы двигателя так, чтобы обеспечить его устойчивую работу. Однако шахтный газ имеет свою специфику и особенности и без определенной подготовки не может быть использован в качестве топливного [2, 3]. Определенные общие требования и нормативные документы к качеству

очистки шахтного газа отсутствуют. Требуемые характеристики к такому топливному газу предъявляет завод-изготовитель газовых двигателей.

В качестве одного из первых примеров реализации системы подготовки шахтного газа можно привести газопоршневую теплоэлектростанцию ГПТЭС СП «Шахта Северная» (ОАО «Воркутауголь») разработки и поставки ОАО «Звезда-Энергетика».

Проектированию ГПТЭС предшествовали промысловые исследования, которые выполнили сотрудники ОАО «Гипротюменнефтегаз» (Группа ГМС). Результаты данных исследований использовались в качестве исходных данных при проектировании для выбора технологии подготовки шахтного газа в качестве топливного и выбора типа энергомашин. Полученные компонентные составы шахтного газа приведены на рисунке 1.

Компонентный состав газа непостоянный, соотношение метана и воздуха в нем меняется: содержание кислорода в исследуемом газе – от 8 до 12% молярных, метана – от 37 до 50% молярных. Проведенный анализ компонентного состава газа показал, что газ по своей те-

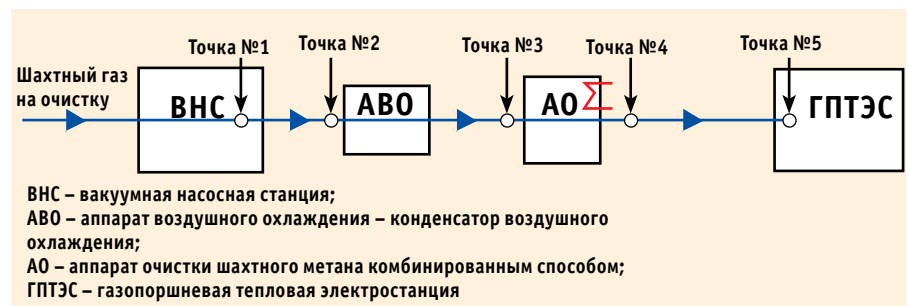


**Рис. 1. Состав шахтного газа по основным компонентам:**  
 1, 2 – вакуумная насосная станция № 1, машинный зал № 1 (проба 1 и 2 соответственно),  
 3 – вакуумная насосная станция № 1, машинный зал № 2,  
 4, 5 – вакуумная насосная станция № 3, вакуумный насос 6 (проба 1 и 2 соответственно)

плотворной способности может быть использован в качестве топливного, однако для выполнения некоторых требований необходима его подготовка (связано в первую очередь со способом добычи). Некоторые свойства газа, а также способ его добычи из угольного пласта или шахты предопределяют способ его подготовки до требований, предъявляемых к топливному газу производителями энергомашин. Так, после анализа состава и свойств шахтного газа СП «Шахта Северная» институтом были даны рекомендации по подготовке топливного газа. Шахтный газ СП «Шахта Северная» откачивается из шахты вакуумными водокольцевыми насосами, в связи с этим в газе было обнаружено повышенное содержание капельной жидкости – воды. Помимо этого, в шахтном газе, а также в донных отложениях водоотделителя вакуумного насоса были обнаружены механические примеси, представляющие собой главным образом угольную пыль с небольшим содержанием окислов железа. Для подготовки топливного газа СП «Шахта Северная» необходима его осушка (удаление воды из газа), тонкая очистка газа от капельной влаги и механических примесей. В конце 2012 г. были введены в эксплуатацию две ГПТЭС на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь».

В процессе пусконаладочных работ институтом проведены промышленные работы по исследованию качества топливного газа на ГПТЭС № 1, 2 шахты «Северная». Поставленная задача заключалась в оценке эффективности работы установки подготовки шахтного газа, для этого были определены компонентный состав газа, содержание капельной жидкости и количество механических примесей в топливном газе. На исследуемом объекте был проведен сбор (мониторинг) параметров работы системы газоочистки (температура, давление, перепад давления на аппаратах очистки газа, а также расход шахтного газа, поступающего на установку очистки). Обследование (отбор проб газа, замеры уноса капельной жидкости и механических примесей) было проведено после ревизии обслуживающим персоналом объекта, а также продувки

системы и прогрева технологического оборудования. Отбор проб газа производился по ГОСТ 31370-2008 «Газ природный. Руководство по отбору проб». Хроматографический анализ отобранных проб был выполнен по ГОСТ 31371.7-2008 «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7». Отбор газа с целью определения уноса капельной жидкости и содержания механических примесей производился по РД 39-1-61-78 «Методическое руководство по исследованию сепарационных установок». Подготовка шахтного газа на ГПТЭС осуществляется следующим образом: шахтный газ, поступающий от вакуумной насосной станции (далее – ВНС), проходя аппарат воздушного охлаждения, подается на установку очистки газа, где происходит его осушка, а также очистка от механических примесей. Далее подготовленный газ подогревается и поступает на прием газопоршневых агрегатов. Принципиальная схема сбора и подготовки шахтного газа приведена на рисунке 2. Разработанная аппаратура для очистки шахтного газа от капельной влаги и механических примесей и доведения относительной влажности топливного газа до 80% позволяет вести технологический процесс без применения компрессорного оборудования (рабочее давление исходного газа – 2500–4000 мм вод. ст.). Основным элементом установки очистки шахтного газа от капельной влаги и механических примесей на шахте «Северная» является массообменный аппарат пенного типа. Очистка газа от механических примесей происходит при его прохождении через слой пены



**Рис. 2. Принципиальная схема сбора и подготовки шахтного газа**

**Таблица 1. Сравнение характеристик топливного газа с требованиями технических характеристик газообразного топлива для газовых двигателей MWM для ГПТЭС № 1**

Параметр	Требования к топливному газу	Фактические показатели топливного газа		Соответствие/ несоответствие требованиям MWM
		ГПТЭС № 1	ГПТЭС № 2	
Объемная теплота сгорания низшая, кВтч/м <sup>3</sup>	более 4,0	4,02÷4,04	4,35	на грани предельного значения/соответствует
Содержание сероводорода, % об.	менее 0,15	не обнаружено	не обнаружено	соответствует
Содержание мехпримесей, мг/10 кВтч	ниже 10	0,8÷0,9	5,69	соответствует
Максимальный размер мехпримесей, мкм	3–10	–	2,2	соответствует
Масляные пары:				
• больше С5/меньше С10, мг/10кВтч	ниже 3000	не обнаружено	не обнаружено	соответствует
• больше С10, мг/10кВтч	ниже 250	не обнаружено	не обнаружено	соответствует
• капельная влага, мг/10кВтч	нет требований	0,17÷1,66	9,01	
Относительная влажность, %	менее 80	69,9	44,9	соответствует

**Таблица 2. Результаты замеров уноса капельной жидкости на ГПТЭС № 2**

Номер точки отбора	№ замера	Унос капельной жидкости, г/нм <sup>3</sup>	
		Расход шахтного газа 2000,0÷2100,0 нм <sup>3</sup> /час	Расход шахтного газа 3200,0÷3400,0 нм <sup>3</sup> /час
1	1	4,1244	3,3727
	2	2,7514	2,4356
2	1	9,0703	9,0326
	2	9,8876	6,8640
3	1	3,9555	2,7954
	2	3,4953	4,4343
4	1	0,0040	0,0002
	2	0,0053	0,0004

рабочего раствора. В верхней части аппарата установлен сетчатый каплеотбойник, в котором газ очищается от капельной влаги, и малогабаритный пластинчатый теплообменник для понижения относительной влажности газа на выходе из установки. Нижняя часть аппарата заполнена рабочим раствором до заданного уровня. В качестве рабочего раствора в аппарате применяется ТОСОЛ 65М.

Шахтный газ поступает в аппарат с давлением не более 0,4 кг/см<sup>2</sup> (изб.) и температурой не более 35 °С, по входному трубопроводу газ подается под перфорированные решетки, погруженные в рабочий раствор. Прохождение газа через перфорацию решеток вызывает турбулизацию газо-жидкостной системы, сопровождающуюся образованием сильно подвижной пены за счет кинетической энергии газа. Взаимодействие шахтного газа с раствором происходит в слое пены, где улавливаются механические примеси из газа. Далее газ

последовательно проходит сетчатый каплеотбойник, избавляясь от капельной влаги, подогреватель очищенного газа, в котором нагревается до 50 °С, и подается на вход газопоршневых агрегатов. Механические примеси, попадая в рабочий раствор, смачиваются им и оседают в нижней части массообменного аппарата. Периодически производится разгрузка аппарата в металлические бочки для осаждения твердых частиц и дальнейшего использования отстоявшегося рабочего раствора в установке. Промысловые исследования на ГПТЭС № 1 и 2, проведенные в конце 2012 г. – начале 2013 г., показали эффективную работу установки подготовки шахтного газа, позволяющую подготовить газ до необходимых требований. В таблице 1 приведена сравнительная оценка подготовленного шахтного газа ГПТЭС № 1, 2 на соответствие требованиям, предъявляемым к топливному газу для газовых двигателей MWM, установленных на ГПТЭС.

Содержание капельной влаги (воды) на ГПТЭС № 1 по точкам отбора следующее: перед аппаратом очистки шахтного газа составляет 0,07÷0,24 мг/нм<sup>3</sup>, после аппарата очистки шахтного газа – 0,08÷0,09 мг/нм<sup>3</sup>, на входе ГПЭА (линия подачи газа к ГПЭА) – 0,50÷0,67 мг/нм<sup>3</sup>. Механические примеси представляют собой мелкодисперсные частицы оксида железа (ржавчина).

Проведенные на ГПТЭС № 2 шахты «Северная» промышленные исследования качества топливного газа также показали эффективную работу системы подготовки газа. Газ, поступающий от вакуумной насосной станции на ГПТЭС № 2, характеризуется большим содержанием воды в газе (2,5÷9,0 г/нм<sup>3</sup>). Содержание капельной жидкости на выходе аппарата очистки газа составляет 0,2÷4,0 мг/нм<sup>3</sup>. Результаты замеров уноса капельной жидкости (воды) в точках отбора на ГПТЭС № 2 (точки отбора см. рис. 2) представлены в таблице 2. Относительная влажность топливного газа ГПТЭС № 2 в зависимости от расхода газа определена на выходе установки очистки газа. Полученные результаты приведены в таблице 3. Шахтный газ, поступающий на ГПТЭС № 2, по содержанию мехпримесей, максимальному размеру мехпримесей, относительной влажности соответствует техническим характеристикам газообразного топлива для газовых двигателей MWM.

Однако используемая технология имеет и свои недостатки. Так, массовая концен-



Таблица 3. Относительная влажность шахтного газа после УОГ

Расход шахтного газа, м <sup>3</sup> /час	Давление после УОГ, кгс/см <sup>2</sup> (изб.)	Температура после УОГ, °С	Давление перед УОГ, кгс/см <sup>2</sup> (изб.)	Температура перед УОГ, °С	Относительная влажность, %
2000,0÷2100,0	0,140	47,4	0,150	12,6	22,0
2000,0÷2100,0	0,140	47,7	0,150	19,5	27,6
3200,0÷3400,0	0,120	42,0	0,130	24,2	44,9

трация гликоля в тосоле (рабочей жидкости) до и после проведения испытаний составляет 65 и 60% соответственно. Скорость разбавления составила 1%/сут. Следовательно, для эффективной работы данной технологии необходима периодическая замена рабочей жидкости либо регенерация тосола.

В целом путем проведенных на ГПТЭС № 1, 2 шахты «Северная» промысловых исследований качества топливного газа показана возможность эффективной работы системы подготовки газа. Дальнейшее совершенствование системы осуществляется в процессе ее промышленной эксплуатации.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Лубчук И. Пора приручить метан // Украинский деловой журнал «Эксперт». – 2007. – № 16 (114). – 23 апр.
2. Белошицкий М.В., Троицкий А.А. Использование шахтного метана в качестве энергоносителя // Турбины и дизели. – 2006. – ноябрь-декабрь. – С. 2–9.
3. Глушич Д.В., Горбачев А.С., Куруч П.И., Капралов Д.А. ГПЭС на метане угольных пластов – новый опыт в российской энергетике // Турбины и дизели. – 2011. – июль-август. – С. 22–25.

**Colliery gas**

V.Yu. Zhiryakov, scientific researcher of the R&D department; M.Yu. Tarasov, PhD in Technical Sciences, the head of laboratory of oil, gas and water gathering, transportation and treating, e-mail: tarasov@gtng.ru; S.S. Ivanov, PhD in Technical Sciences, the chief of the R&D department, e-mail: ivanov@gtng.ru; A.A. Zobnin, senior scientific researcher of the R&D department, Giprotymenneftegaz JSC, HMS Group, e-mail: ZobninAA@gtng.ru

**The coal mine gas treatment for supplying of gas-reciprocating power plants**

The example of completed project of coal mine gas utilization at the mine «Северная» (JSC «Vorkutaugol») is discussed in the paper. The coal mine gas utilization for this object consists of production of thermal and electric power in the gas-reciprocating thermal power plants GPTEs № 1 and № 2. The issue studies the used technology of gas treatment, the comparative estimation of the treated coal mine gas of GPTEs № 1, № 2 in the accordance with the requirements for fuel gas for the GPTEs № 1 and № 2 gas engines is made.

**Keywords:** coal mine gas, gas-reciprocating thermal power plant, foam-type mass transfer apparatus, dropping liquid, mechanical impurities.

**References:**

1. Lubchuk I. Pora priruchit' metan (It's time to tame methane) // Expert business magazine, the Ukraine. – 2007 – No. 16 (114). – April 23.
2. Beloshitskiy M.V., Troitskiy A.A. Ispol'zovanie shakhtnogo metana v kachestve energonositelya (Using coalmine methane as energy carrier) // Turbines & Diesels. – 2006. – November-December. – Pp 2–9.
3. Glushich D.V., Gorbachev A.S., Kuruch P.I., Kapralov D.A. GPES na metane ugol'nykh plastov – novyi opyt v rossiyskoi energetike (GPPPs fueled by CBM: a new experience in Russian power industry) // Turbines & Diesels. – 2011. – July–August. – Pp 22–25.

**Уважаемые работники нефтегазовой промышленности!**

«Воронежский механический завод» - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» поздравляет вас с профессиональным праздником, а также с 55-летием подземного хранения газа в России!

День работников нефтяной и газовой промышленности - это праздник людей, которые посвятили свою жизнь добыче важнейших в мире видов топлива и химического сырья. Именно благодаря вам развивается главная отрасль России, во многом определяющая экономику и технический потенциал нашей страны.

Воронежский механический завод уже более 20 лет сотрудничает с предприятиями нефтегазовой отрасли, внося свой вклад в освоение новых месторождений. Надеемся, что и в будущем мы также будем способствовать развитию передовых технологий в добыче нефти и газа.

Желаем всем работникам нефтяной и газовой промышленности крепкого здоровья, личного счастья, профессиональных успехов, надежных партнеров и стабильности в экономике!



**Воронежский механический завод**



генеральный директор «ВМЗ» - филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»  
И. Т. Концев