

Исследование воздействия пароводяной смеси на геосреду при свободном истечении в атмосферу (Мутновское месторождение парогидротерм, Камчатка)

Фирстов П.П.^{1,2}, Чернев И.И.³, Макаров Е.О.², Чернева Н.В.¹

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

²Камчатский филиал геофизической службы РАН, Россия

³ООО “Геотерм”, Россия

Основным требованием к методам измерения расходных параметров скважин на стадии пробного выпуска является простота практической реализации. По данным пробного выпуска выбирается оборудование для более точных методов и определяется режим опытного или опытно-эксплуатационного выпуска. С учетом данного требования привлекают внимание возможность применения геофизических методов для диагностики расходных параметров скважин, реализация которых не требует установки измерительного оборудования на устье скважины. К таким методам можно отнести:

1. Акустический – регистрация аэродинамического шума, связанного с генерацией который широко применяется для диагностики расходных параметров скважин газовых и газоконденсатных месторождений [1].
2. Электрический – при истечении свободной струи в атмосферу за счет конденсации пара образуется пароводяное облако заряд, которого зависит от ряда параметров, в том числе и от содержания пара в пароводяной смеси ПВС.
3. Сейсмический – во время истечения ПВС в стволе скважины возникает гидродинамический источник возбуждающий сейсмические колебания, связанные с расходом ПВС.

В данной работе приведены краткие результаты перечисленных выше наблюдений, выполненных на Мутновском месторождении парогидротерм, направленных на создание экспресс метода по измерению расходных параметров пароводяных скважин.

Зависимость параметров аэродинамического шума пароводяных скважин от их расхода и паросодержания

Непрерывное истечение различных струй в атмосферу сопровождается шумом аэродинамического происхождения, который обусловлен взаимодействием потока струи с окружающей средой. В 1989-1991 гг. была проведена серия экспериментов по регистрации шума от пароводяных потоков на скважинах Мутновского геотермального месторождения и на специальном стенде “Камчатэнерго” [2,3]. Выполненный комплекс наблюдений и полученные результаты явились первым этапом работ по исследованию пароводяных скважин акустическим методом, который, к сожалению, не получил дальнейшего развития.

В табл. приведены термодинамические параметры скважин, на которых регистрировался аэродинамический шум при выпусках ПВС в атмосферу. Термодинамические параметры на этих скважинах изменялись в значительных пределах (расход ПВС $Q_{\text{ПВС}} = 9 - 45$ кг/с, паросодержание $\chi = 0.16 - 0.64$), что позволило исследовать интенсивность и частотный состав аэродинамического шума для струй в значительном диапазоне расходов.

Для нескольких скважин (1, 04, 03, 24, 016) исследовался шум при полностью открытой задвижке. На оголовках этих скважин был установлен лубрикатор диаметром 106 мм

и длиной 160 см. На оголовке скважины 13 лубрикатор отсутствовал; эксперимент на ней проводился на нескольких режимах, регулируемых с помощью задвижки. Обильное выпадение конденсированной воды и высокий уровень звукового давления позволили проводить на этой скважине измерения на расстоянии, начиная с 20 м. Измерения проводились при четырех фиксированных положениях задвижки. Для скважины 01 исследовалась динамика шума и изменение его спектрального состава во время равномерного открытия задвижки. В табл. 1. приведены: максимальное значение уровня звукового давления на расстоянии 10 м (L_{10}), полученное с помощью октавных фильтров; значения верхней и нижней частоты ($f_H - f_B$); среднегеометрическая частота (f_{CP}); ширина полосы ($\Delta f_{0,7}$) для уровня 0.7 октавного спектра.

Таблица 1. Основные параметры скважин и характеристики их аэродинамического шума

№	°С	ккал/кг	Расход кг/с			P , кгс/см ²	Хар-ки аэродинамического шума			
			ПВС	Пара			L_{10} , дБ	f_{CP} , кГц	$f_H - f_B$, кГц	$\Delta f_{0,7}$, кГц
1	165	268	23	4.3	0.19	4.2	108	0.7	0.32–1.7	1.38
3	138	253	9.2	1.5	0.16	3.5	96	1.0	0.5–2.0	1.5
4	158		25	6.0	0.24	5.5	108	1.7	0.7–3.2	2.5
013	181	296	45	11.8	0.26	10.4	123	0.6	0.1–3.0	2.9
			40	10.3	0.25	12.0	120	1.0	0.4–2.4	2.0
			25	5.8	0.23	16.0	116	1.0	0.4–2.4	2.0
			7	3.2	0.45	17.6	114	1.4	0.5–4.0	3.5
016	172	488	29.4	18.9	0.64	7.4	117	3.0	1–10	9
24	167	253	28	4.5	0.16	7.7	109	0.9	0.25–1.7	1.45

Примечание: t массовое расходное паросодержание; P – давление на устье скважины; L_{10} – максимальное значение уровня звукового давления на расстоянии 10 м, полученное с помощью октавных фильтров; $f_H - f_B$ – значения верхней и нижней частоты; f_{CP} – среднегеометрическая частота; $\Delta f_{0,7}$ – ширина полосы для уровня 0.7 октавного спектра.

Октавные спектры L_p аэродинамического шума для всех скважин значительно различаются по абсолютному значению, по преобладающим частотам и ширине полосы аэродинамического шума (рис. 1а). На рис. 2б видно, что поле точек образует две группы, обусловленные диаметром выходного отверстия.

Проведенные исследования генерации шума при выпусках ПВС в атмосферу из скважин Мутновского геотермального месторождения показали, что уровень звукового давления и спектральные характеристики шума связаны с гидродинамическими параметрами ПВС. Как видно на рис.1 б) и рис. 1 в) в первом приближении наблюдаются линейные зависимости уровня звукового давления от логарифма расхода ПВС $L_p = f(\lg Q_{ПВС})$ и логарифма среднегеометрической частоты по уровню 0.7 полуоктавных спектров от логарифма массового расходного паросодержания $\lg f_{CP} = f(\lg \chi)$.

Электрические параметры облака, возникающего в результате непрерывного истечения пароводяной смеси из геотермальных скважин

В 2004–2006 г.г. во время выпусков ПВС из скважин Мутновского месторождения парогидротерм, с целью изучения формирования объемного заряда в пароводяном облаке (ПВО), регистрировались напряженность электрического поля атмосферы (E_Z ЭПА) и

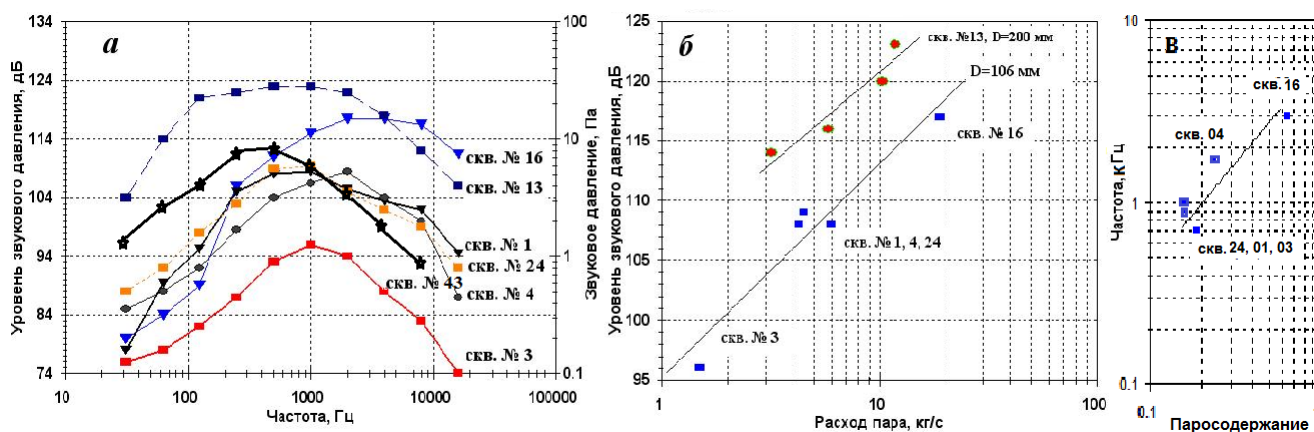


Рис. 1. Октавные спектры уровня звукового давления аэродинамического шума для всех исследуемых скважин, приведенных к расстоянию 10 м – а), зависимость уровня звукового давления от расхода пара – б), зависимость максимальной частоты от паросодержания в ПВС – в)

удельные положительные и отрицательные электрические проводимости воздуха (L_+ , L_-) [4,5]. Напряженность ЭПА измерялась в непосредственной близости от открываемых на время наблюдений скважин, из которых происходило истечение в атмосферу ПВС. При формировании струи и ПВО на высоте его зависания, формируется аэроэлектрическая структура, которая влияет на электропроводность и E_Z ЭПА у земной поверхности. Формирование такой структуры зависит от многих причин, в том числе и от давления на устье скважины и паросодержания.

В сентябре 2006 года эксперимент был проведен на скважинах с большим различием паросодержания. Если на скважине 042 оно составляло 0.2, то на скважине 016 более 0.6. Измерения параметров ЭПА проводилось с помощью аппаратно-программного комплекса, где в качестве датчик E_Z ЭПА использовался флюксометр “Градиент МЗ” и датчика удельной электрической проводимости воздуха “Электропроводность-2”.

В естественном облаке, как и в восходящем потоке ПВС, происходит конденсация, коагуляция, кристаллизация капель и их разрушение. Эти процессы приводят к образованию электрических зарядов [6]. При открытии скв. 042 наблюдается уменьшение E_Z почти с 0.2 до -1.5 кВ/м и уменьшение L_- с 25 до 5 см/м, что говорит об уменьшении концентрации легких ионов. Это свидетельствует в пользу того, что в первой порции ПВС при открытии задвиги превалировала вода, которой через 10 минут работы скважины значительно уменьшилось и E_Z стало возрастать 1.5 кВ/м, а затем стабилизировалось на уровне 0.7 кВ/м. Для скв. 016 E_Z стабилизировалось на уровне 1.5 кВ/м, что объясняется значительно большим паросодержанием для этой скважины.

Комплексные геофизические наблюдения за истечением пароводяной смеси из скважины

В сентябре 2012 г. проводились комплексные геофизические наблюдения при выпуске ПВС из скважины 43 с $Q_{ПВС} = 50$ кг/с и $Q_{П} = 10$ кг/с с помощью программно-аппаратурного комплекса. Комплекс позволял регистрировать смещение почвы (сейсмометр был установлен на постаменте оголовка скважины), E_Z по двум каналам и избыточное атмосферное давление в диапазоне частот 0.03-100 Гц. Кроме того с помощью измерителя шума и вибрации исследовались октавные спектры аэродинамического шума. Размещение датчиков показано на врезке рис. 3, где также показано направление ветра, под действием которого

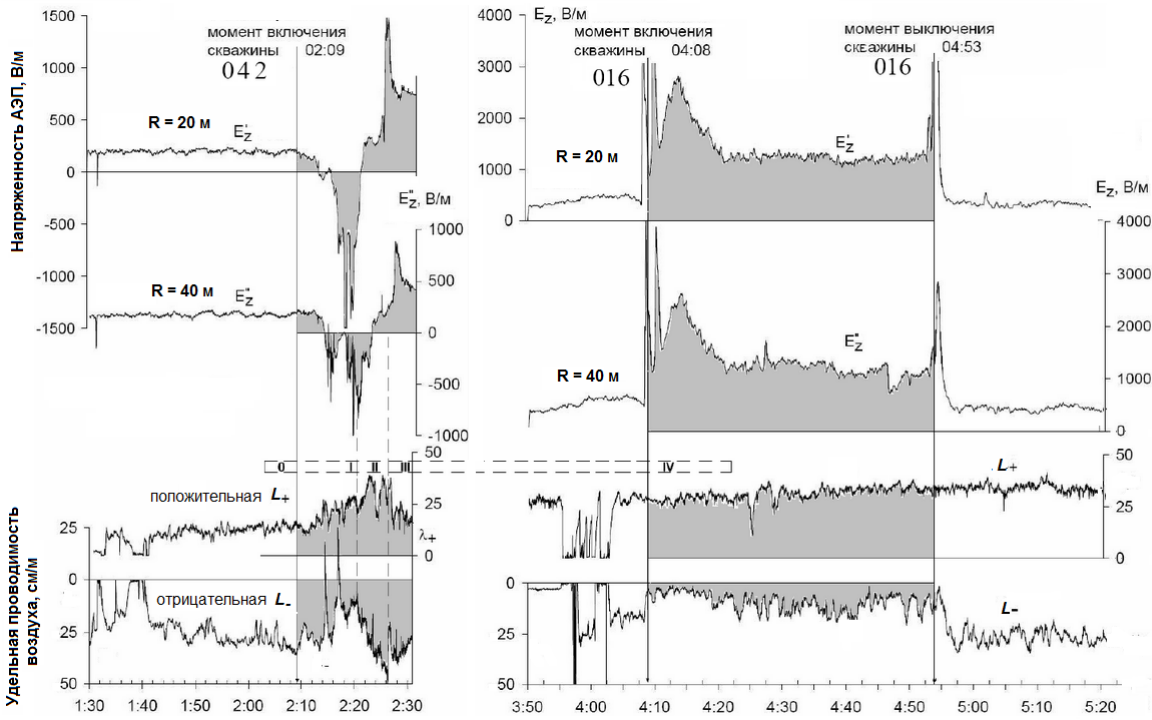


Рис. 2. Динамика E_z и L_+ , L_- во время открытия скважин 042 и 016 с различным паросодержанием (12 сентября 2006 г., время UT)

сносился шлейф ПВС.

На рис. 3 приведены записи со всех датчиков и показаны основные манипуляции с задвижкой скважины. Во время открытия задвижки в атмосферу выбрасывалась ПВС, нагруженная песком, на что указывал цвет струи. Затем струя стабилизировалась, была сделана попытка закрыть скважину, что отразилось на всех каналах. На сейсмическом канале этот период зафиксирован в виде помех от движения операторов, а на акустическом в виде уменьшения интенсивности аэродинамического шума. В дальнейшем задвижку открыли, и работа скважины стабилизировалась. Уровень звукового давления, приведенный к расстоянию 10 м, составил 110 дБ (рис. 1а). Исходя из уровня звукового давления (рис. 1б) по данным акустики можно оценить $Q_{П} = 7$ кг/с, что несколько ниже реального расхода пара.

Наблюдается интересное поведение E_z АЭП на флюксометрах: 1 - расположенного в 35 метрах в стороне от скважины (рис. 3б); 2 - расположенного почти под шлейфом ПВС на расстоянии 54 м (рис. 3в). После открытия задвижки регистрируется небольшое увеличение E_{z1} 0.02 кВ/м и значительно большее увеличение E_{z2} - на 0.15 кВ/м. В дальнейшем происходит уменьшение E_z на обоих каналах. В течение всей работы скважины выделяются колебания ~ 50 с, связанные с визуально наблюдаемыми пульсациями ПВС. Эти колебания наиболее ярко видны в E_{z2} , где их амплитуда достигает до 0.2 кВ/м.

Показано, что комплексные наблюдения за воздействием пароводяной смеси (ПВС) на геосреду и атмосферу, могут быть использованы для создания экспресс методики параметров ПВС. Наблюдается взаимосвязь между расходом ПВС и интенсивностью аэродинамического шума и сейсмических колебаний, а спектральные характеристики аэродинамического шума и заряд пароводяного облака на качественном уровне связаны с паросодержанием.

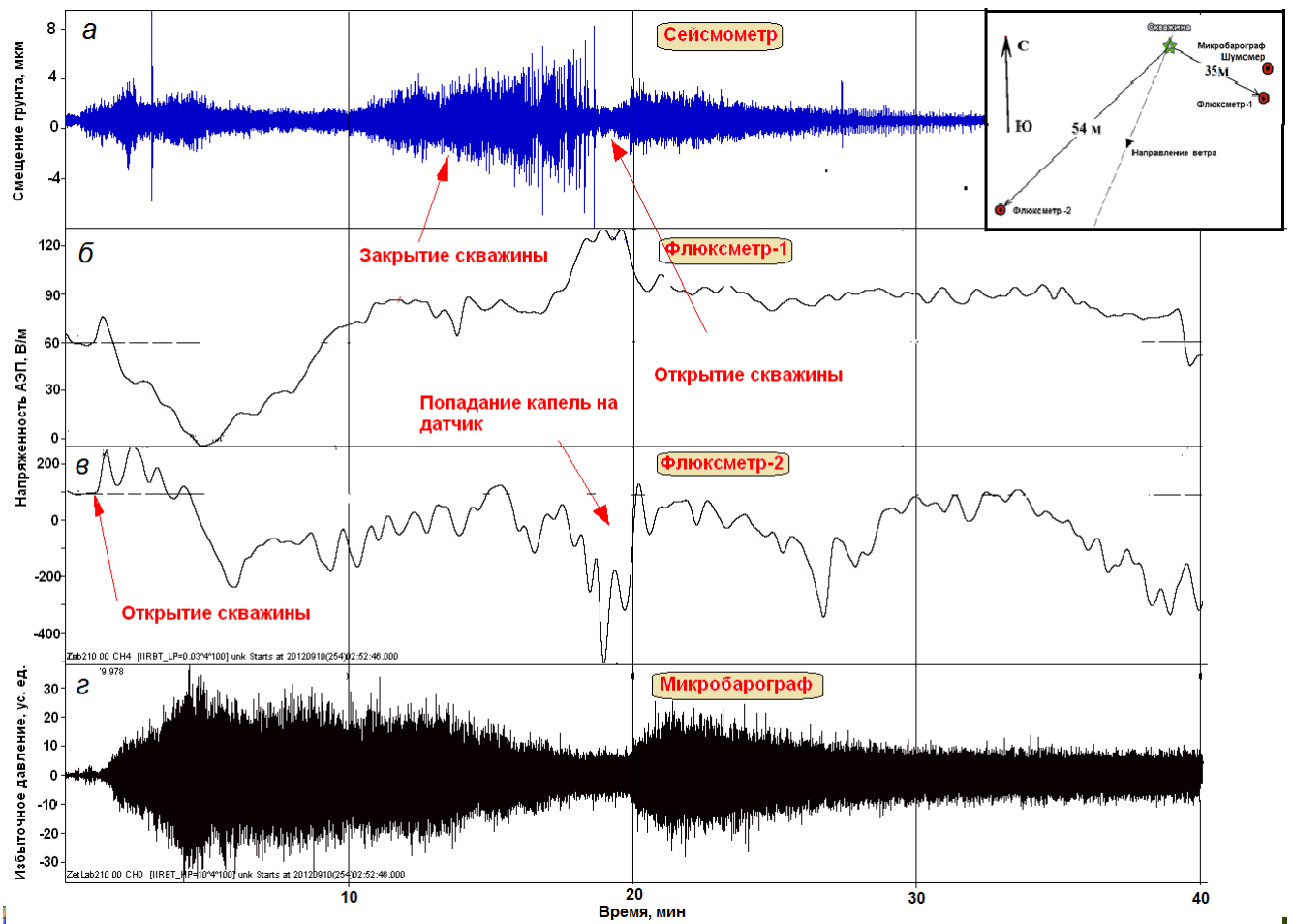


Рис. 3. Запись смещения грунта (а), напряженности АЭП двумя флюксметрами (б,в), запись избыточного давления микробарографом (г). На врезке показано размещение датчиков

Литература

1. *Кортаев Ю.П., Грдзелова К.Л.* Исследование газовых скважин с помощью шумо-метрии // Газ. пром. Сер.: Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – 1983. – №2. 49 с.
2. *Шулюпин А.Н., Фирстов П.П.* Перспективы диагностики расходных параметров пароводяных геотермальных скважин по шуму истекающей струи // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. Тр. VII международной конференции. Санкт- Петербург. – 2004. С. 6-9.
3. *Фирстов П.П.* Особенности спектрального состава аэродинамического шума пароводяных скважин Мутновского геотермального месторождения (Камчатка) // Вулкано-логия и сейсмология. – 2005. – №4. С. 47-55.
4. *Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю.* Исследование влияния искусственного облака на атмосферное электрическое поле. // Физика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 43. №2. С. 266–271.
5. *Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю.* Эксперименты по активному воздействию струи водяного пара на атмосферное электрическое поле // Физика атмосферы и океана. – 2009. – Т.45. – №6. С.803-808.
6. *Качурин Л.Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеоиздат. – 1990. 463 с.

Investigation of steam mixture effect on geomedium during its free outflow into the atmosphere (Mutnovks parohydroterm field, Kamchatka)

Firstov P.P.¹, Chernev I.I.², Makarov E.O.³, Cherneva N.V.¹

¹ *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

² *«Geotherm JSC», Russia*

³ *Kamchatkan Branch of Geophysical Service RAS, Russia*

It has been shown, that complex observations of steam-water mixture (SWM) effect on the geosphere and atmosphere may be applied to develop an express method of SWM parameters. Relation of SWM volume and aerodynamic noise intensity and seismic oscillations is observed. At the same time aerodynamic noise spectral characteristics and steam-water cloud charge are associated with steam content on the qualitative level.