

## ПОРТАТИВНЫЙ РЕГИСТРАТОР ВОДОРОДА ДЛЯ ПЛОЩАДНОЙ СЪЁМКИ И МОНИТОРИНГА

*Воропаев В.Ф.<sup>1</sup>, Кузьмин Д.Ю.<sup>1</sup>, Лунатов В.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, [vyf@emsd.iks.ru](mailto:vyf@emsd.iks.ru),  
<sup>2</sup>ГЕОХИ РАН, Москва

### **Введение**

Водород играет важную роль в химических процессах земной коры. Благодаря своей подвижности он быстро достигает поверхности Земли и может являться источником оперативной информации о процессах, происходящих в её глубинах. Он быстрее других газов проходит через породы, хотя первым улетучивается из газовой смеси.

Величина концентрации водорода зависит как от места отбора пробы (шурф, скважина, шахта и пр.), геологических условий места наблюдения, так и от тектонической активности региона. Последнее предполагает изменение концентрации водорода в воздухе во времени – в течение часов, суток, месяцев и т.д.

В связи с этим представляет интерес как проведение съёмки на местности для поиска естественных выходов водорода и картирования неоднородностей геологической среды, так и мониторинг концентрации водорода в выбранной точке.

Аппаратура для проведения таких работ должна обладать следующими свойствами.

1 Предел обнаружения по водороду должен быть на уровне фоновых значений концентрации водорода в воздухе ( 0.5 ppm ).

2 Аппаратура вместе с источником питания должна иметь приемлемые массо-габаритные характеристики для её перемещения на местности от одной точки к другой. При этом следует учитывать возможность работы в условиях бездорожья. Приемлемыми могут быть масса до нескольких килограмм и размеры, позволяющие носить аппаратуру в полевой сумке.

3 Возможность быстрого развёртывания на местности. Идеальным является вариант с возможностью выполнения измерений в ходе пешеходного маршрута.

4 Должна обеспечиваться индикация результатов измерения концентрации водорода, а также их автоматическая регистрация.

5 Кроме измерений основного параметра (концентрации водорода) следует обеспечить автоматическую регистрацию координат точек измерения, времени измерения, а также регистрацию климатических параметров: атмосферного давления, относительной влажности и температуры воздуха, который является анализируемой пробой. Надо учесть, что эти параметры влияют как на концентрацию водорода в приземном слое атмосферы, так и на характеристики аппаратуры.

Обзор имеющихся на отечественном рынке регистраторов водорода показал, что ни один из них всем комплексом перечисленных свойств не обладает. В связи с этим Камчатским филиалом ГС РАН в содружестве с ГЕОХИ была предпринята попытка создания портативного регистратора водорода.

### **Датчик водорода и газовая линия регистратора**

При выборе типа детектора (датчика) учитывались:

- предел обнаружения по водороду;
- быстродействие;
- энергопотребление;
- масса и габариты;
- возможность восстановления или замены датчика.

Под последним имеется в виду следующее. При проведении съёмки на водород и водородосодержащие газы на Камчатке возможно воздействие на датчик ураганных концентраций различных газов (Камчатка является активным вулканическим районом), способных отрицательно повлиять на метрологические характеристики датчика и даже вывести его из строя. Отсутствие запасных датчиков будет означать выход из строя всего создаваемого аппаратно-программного

комплекса. Поэтому условием применения датчиков является наличие их запаса, либо устойчивое присутствие их на отечественном рынке, либо освоённая технология производства датчиков.

Решением явилось использование датчика водорода на базе гетерополисоединения с протонной проводимостью, разработанного в ГЕОХИ В. М. Лупатовым.

Исследования гетерополисоединений на основе фосфолибдатов, кремнелибдатов, фосфовольфрамов и др. позволили выделить наиболее перспективные составы для создания детектора водорода в воздухе. Использование кулонометрического принципа детектирования позволило достигнуть чувствительности 0,1-0,5 ppm при быстрой реакции 1-2 секунды. В основе работы датчика лежит механизм конверсии молекулярного водорода в протоны на каталитической поверхности датчика с последующим переносом их через протонопроводящую мембрану в виде ионного (протонного) тока. На противоположной стороне мембраны, протоны обратно конвертируются в молекулярный водород на другой каталитической поверхности. Разность концентрации водорода между двумя каталитическими поверхностями приводит к возникновению градиента протонов в мембране и соответственно ионного тока, который регистрируется на последовательно включённой нагрузке.

На основе данного детектора в ГЕОХИ была разработана аппаратура для анализа водорода в диапазоне (0.1- 10 ppm). Промышленный течеискатель для определения утечек в газо- и нефтепроводах, а также в реакторах, используемых в арсенид-галлиевой технологии, прошёл полевые и производственные испытания и показал долговременную устойчивую работу разработанных детекторов.

Схематично устройство датчика представлено на рис. 1. Твёрдый керамический датчик 1 с нанесёнными на поверхность электродами 2 и 3 вставлен в корпус. Вся конструкция стягивается винтами. Резиновые прокладки (на рисунке не показаны) обеспечивают герметичность конструкции и разделение газовых камер датчика 5 и 6. С помощью входных и выходных штуцеров датчика осуществляется подача исследуемого газа в рабочий канал датчика (водород) и в канал сравнения (воздух). Электрический контакт поверхности датчика с электрической схемой прибора осуществляется с помощью контактов 4.

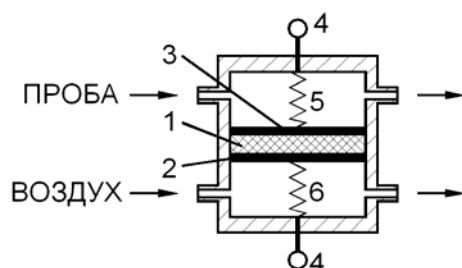


Рис.1. Устройство датчика водорода:  
1 - твердотельный керамический датчик,  
2, 3 – электроды,  
4 – контакты,  
5, 6 – газовые камеры.

Построение газовой линии регистратора водорода с данным датчиком показано на рис. 2. Здесь отбираемая проба воздуха поступает на вход 1 газовой линии и проходит через осушитель 2, полость с размещённым в ней датчиком 3 температуры и влажности, первую камеру 4 датчика водорода, микронасос 5 и выбрасывается в атмосферу с выхода 6. Вторая ветвь газовой линии состоит из второй камеры 7 датчика водорода, микронасоса 8 и полости 9 с поглотителем водорода.

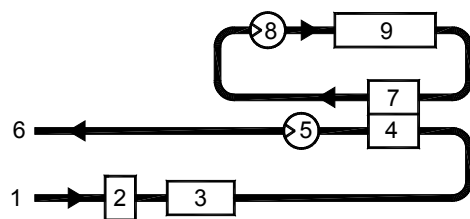


Рис. 2. Газовая линия регистратора:  
 1 – вход линии,  
 2 – осушитель,  
 3 – датчик влажности и температуры,  
 4 – первая камера датчика водорода,  
 5 – насос,  
 6 – выход,  
 7 – вторая камера датчика водорода,  
 8 – насос,  
 9 – поглотитель водорода.

### Блок-схема регистратора

Блок-схема регистратора приведена на рис. 3.

Основной частью регистратора является описанная выше газовая линия, состоящая из внешнего осушителя О, датчика влажности и температуры ДВТ, датчика водорода ДВ, микронасосов МН1 и МН2 и поглотителя водорода ПВ. Управление микронасосами осуществляется от стабилизатора оборотов СО.

Интеллектуальным ядром регистратора является микроконтроллер МК, обеспечивающий взаимодействие всех элементов схемы.

Управление работой микроконтроллера осуществляется с помощью переключателя режимов ПР ("Режим") и кнопок 1 ("Далее") и 2 ("Стоп").

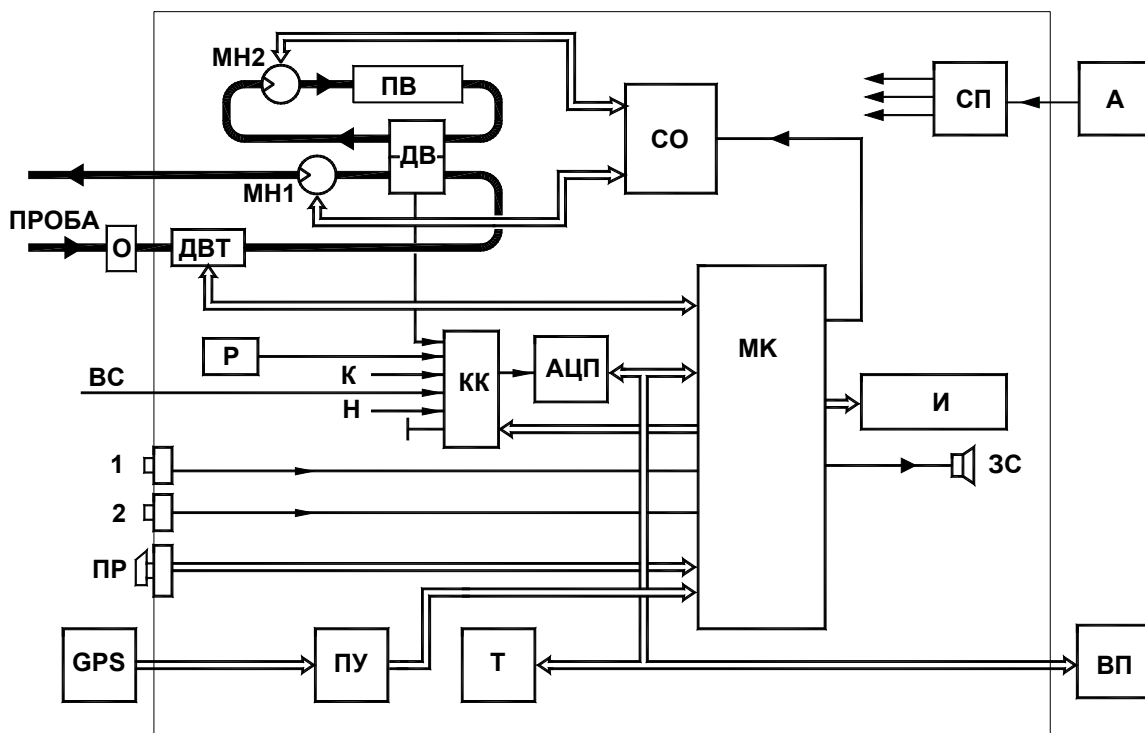


Рис. 3. Блок-схема регистратора водорода

Аналоговые сигналы с выхода датчика водорода ДВ, датчика давления Р, внешний сигнал ВС, калибровочные напряжения К и Н поступают на вход АЦП через коммутатор каналов КК, управляемый микроконтроллером. Цепь управления и выхода АЦП связана с микроконтроллером.

Цифровые сигналы с выходов датчика давления и температуры поступают непосредственно на микроконтроллер.

Сигналы с выхода приёмника GPS поступают на вход интерфейса UART микроконтроллера через преобразователь уровня ПУ.

В схеме регистратора содержится также таймер Т, который используется в качестве источника даты и времени в режимах мониторинга, когда в постоянной работе приёмника GPS нет необходимости.

Выходы микроконтроллера связаны с внешней памятью ВП, индикатором И, источником звукового сигнала ЗС и упомянутым выше стабилизатором оборотов микронасосов.

Питание регистратора осуществляется от внешнего аккумулятора через стабилизатор питания СП.

### **Режимы работы**

Регистратор может работать в одном из 8 режимов.

Режим 1 – режим водородной съёмки на местности при перемещении с относительно большой скоростью (транспортный режим). Измерение концентрации водорода производится один раз в две секунды с параллельной регистрацией координат и времени. Каждые 10 минут дополнительно измеряются и регистрируются атмосферное давление, влажность и температура анализируемого воздуха.

Режим 2 – режим водородной съёмки при на местности перемещении с относительно низкой скоростью (пешеходный режим). Измерение концентрации водорода производится один раз в десять секунд с параллельной регистрацией координат и времени. Каждые 10 минут дополнительно измеряются и регистрируются атмосферное давление, влажность и температура анализируемого воздуха.

Режим 3 – режим кратковременного мониторинга в выбранной точке. Каждые 6 секунд регистрируются время, координаты, концентрация водорода, давление, влажность, температура. Режим позволяет получить усреднением более точные координаты и остальные данные.

Режим 4 - режим длительного мониторинга в выбранной точке. В начале режима производится запись координат в память, а дата и время, определённые по GPS, записываются во встроенный календарь, с которого они и считываются при каждом измерении. Далее GPS-отсоединяется от регистратора. Регистрация времени и концентрации водорода производится каждую минуту. Давление, влажность и температура регистрируются раз в 10 минут.

Режим 5 – режим работы в помещении (спутники GPS недоступны). Координаты не регистрируются. Каждые две секунды регистрируются время и концентрация водорода. Давление, влажность и температура регистрируются один раз в 10 минут. Время вычисляется внутренним таймером-календарём, устанавливающимся автоматически на ноль 00ч 00мин 1 января нулевого года. Данный режим используется при калибровке датчика водорода.

Режим 6 – режим длительного мониторинга внешнего электрического сигнала, поданного на клеммы регистратора. Координаты регистрируются в начале режима однократно. Каждую минуту регистрируются время и напряжение внешнего сигнала. Давление, влажность и температура регистрируются один раз в 10 минут. После начала режима модуль GPS отключается, время вычисляется внутренним таймером-календарём.

Режим 7 – режим просмотра данных. По нажатию кнопки «Далее» на индикатор выводятся записи из накопителя. Порядок вывода – обратный, начиная с последней записи. Режим позволяет убедиться в корректности записанных данных.

Режим 8 - Режим форматирования (очистки) накопителя.

### **Основные технические данные**

Результатом разработки явился регистратор водорода со следующими основными характеристиками.

Измеряемые и регистрируемые параметры	-	концентрация водорода,
	-	напряжение питания,
	-	смещение нуля
	-	отклик на калибровочный сигнал,
	-	температура газа
	-	атмосферное давление
	-	относительная влажность,

	-	географические координаты
Индикация результатов измерения	-	в текстовой форме на дисплее
Регистрация результатов измерения	-	в отделяемых накопителях
Интерфейс связи с GPS	-	RS-232
Интерфейс связи с накопителем	-	TWSI (I2C)
Канал водорода:		
- порог обнаружения водорода, ppm	-	0.1
- пределы измерения, ppm	-	0,1 - 40
Канал измерения напряжения питания:		
- диапазон измерения, В	-	0 - 20
- погрешность измерения, В	-	+/- 0,02
Канал измерения калибровочных сигналов:		
- диапазон измерения, мВ	-	0 - 4096
- погрешность измерения, мВ	-	+/- 0,2
Канал измерения внешнего сигнала:		
- диапазон измерений, мВ	-	+/- 2048
- погрешность измерения, мВ	-	+/- 0,2
Канал измерения атмосферного давления:		
- диапазон измерения, ГПа	-	0 - 1150
- погрешность, %	-	не более 3
Канал измерения температуры:		
- диапазон измерения, оС	-	от - 40 до + 123,8
- погрешность, оС	-	+/- 0,3
Канал измерения относительной влажности:		
- диапазон измерения, %	-	0 - 100
- погрешность, %	-	+/- 2
Ошибка позиционирования, м	-	не более 25
Интерфейс для вывода данных в компьютер	-	RS-232
Габаритные размеры блока, мм	-	280 x 170 x 82
Масса, кг	-	не более 2

Длительность непрерывной работы регистратора без смены накопителя зависит от назначенного режима работы и может составлять от нескольких часов в режимах 1 – 3, 5 до нескольких суток в режимах 4, 6. Ограничивающими факторами являются как ёмкость накопителя, так и ёмкость аккумулятора питания.

При использовании аккумуляторной батареи UDVB-02 ёмкостью 6,6 Ач (входит в комплект регистратора) должна обеспечиваться непрерывная работа регистратора:

- в режимах 1- 3, 5 - в течение суток;
- в режиме 4 - в течение 3 суток;
- в режиме 6 - в течение 20 суток.

При этом без смены накопителя регистратор может работать:

- в режиме 1 - 169 минут;
- в режиме 2 - 854 минуты (14,25 часа);
- в режиме 3 - 351 минуту или выполнять измерение на 334 точках при десятикратной регистрации параметров на каждой точке;
- в режимах 4, 6 - 11562 минуты (192 часа или 8 суток).

### **Заключение**

Опытный образец регистратора был откалиброван путём ввода в его газовую линию эталонных проб водорода. С помощью регистратора выполнялась газовая съёмка на местности, результаты которой показали возможность его использования для обнаружения аномалий концентрации водорода в приземном слое воздуха.