

Генераторы влажного газа эталонные Суховей-1 и Суховей-1П

Дикевич А.А., к.т.н., главный метролог ООО НПК «МИКРОФОР»,
mail@microfor.ru

дата публикации: 30.04.2021

Содержание:

[1 - Введение](#)

[2 - Область применения генераторов влажного газа](#)

[3 - Генераторы влажного газа \(относительной влажности\), применяемые в России](#)

[4 - О метрологических характеристиках генератора влажного воздуха HygroGen](#)

[5 - Устройство и принцип работы генераторов Суховей-1 и Суховей-1П](#)

[6 - Основные метрологические и технические характеристики генераторов Суховей-1 и Суховей-1П](#)

[7 - Управление генератором](#)

[8 - Процесс проведения поверки](#)

[9 - Система подготовки сжатого воздуха](#)

[10 - Техническое обслуживание и поверка](#)

[11 - Выводы](#)

[12 - Ссылки](#)

1 - Введение

ООО НПК «МИКРОФОР» выпускает и проводит техническое обслуживание более 10000 средств измерения влажности в год. Для этого требуется проводить градуировку и поверку более 100 приборов ежедневно, что невозможно без применения высокопроизводительных генераторов влажного газа.

С проблемой отсутствия на рынке таких генераторов мы столкнулись более 20 лет назад - имевшиеся у нас на тот момент 2 генератора «Родник-2» перестали справляться с объемом выпускаемой продукции. Тогда были начаты работы по модернизации и автоматизации генераторов «Родник-2» [1], затем полученный опыт был использован при разработке собственных генераторов влажного газа, работа которых основана на фундаментальных физических принципах. На этом пути был получен огромный опыт, разработано несколько поколений модулей измерения и регулирования давления и температуры, конструкций насытителя и рабочей камеры, генераторы прошли неоднократную модернизацию. Планы по внесению этих генераторов в Госреестр были, но из-за имевшейся возможности самостоятельно аттестовывать эталоны по результатам калибровки, эта процедура постоянно откладывалась. Вступление в силу в начале 2020 года изменений в постановление Правительства №734 от 23.09.2010 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» [2] закрыло возможность для самостоятельной аттестации не внесенных в Госреестр эталонов, поэтому мы были вынуждены резко ускорить проведение испытаний генераторов влажного газа «Суховей» в целях утверждения типа.



Рисунок 1 – Внешний вид генератора Суховей-1П.

В конце 2020 года приказом Росстандарта в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений под номером 80277-20 был внесен новый тип средств измерений – «Генераторы влажного газа эталонные Суховей» [3]. Генераторы имеют несколько модификаций:

- Генераторы **Суховей-1** и **Суховей-1П** (рис. 1) предназначены для **поверки** гигрометров различных производителей по каналу измерения относительной влажности (одновременно до 8). Измерительная камера, в которую устанавливаются зонды гигрометров, не имеет активного термостатирования с модулями Пельтье, но интенсивно обдувается встроенным вентилятором, что позволяет минимизировать градиенты температуры по объему камеры и между камерой и поверяемыми гигрометрами.
- Генератор **Суховей-2** предназначен для **градуировки и поверки** гигрометров производства ООО НПК «МИКРОФОР» (одновременно до 11). Зонды гигрометров устанавливаются в термостатируемую измерительную камеру с воздушным термостатом. Конструкция воздушного термостата и посадочных мест измерительной камеры рассчитана на приборы, выпускаемые ООО НПК «МИКРОФОР», поэтому работа с приборами других производителей не всегда возможна. В связи с этим для поверочных лабораторий мы рекомендуем модификации Суховей-1(П), как имеющие большие возможности для установки гигрометров других производителей.
- Генераторы **Суховей-3**, **Суховей-3П**, **Суховей-4** и **Суховей-4В** предназначены для поверки и градуировки гигрометров различных производителей по каналу измерения точки росы (иней) и будут подробно рассмотрены в другой статье.

Отличие между генераторами Суховей-1 и Суховей-1П заключается в погрешности воспроизведения относительной влажности – $\pm 1\%$ у генератора Суховей-1, погрешность же генератора Суховей-1П в диапазоне от 0 до 98 % составляет $\pm 0,5\%$ (в диапазоне от 98 до 100 % его погрешность также $\pm 1\%$). Таким образом, генератор Суховей-1П (в отличии от Суховея-1) может применяться для поверки гигрометров, имеющих погрешность измерения относительной влажности $\pm 1\%$ в соответствующем диапазоне (например, ИВА-6АР с измерительным преобразователем ДВ2ТСМ-1Т-2П-Б, Rotronic HygroPalm и других).

Цены на генераторы и аксессуары к ним приведены в актуальном прайс-листе [4] (страница 5 и далее).

2 - Область применения генераторов влажного газа

В действующем ГОСТ 8.547-2009 «Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов» [5] рабочие средства измерений относительной влажности (термогигрометры, измерители влажности, приборы комбинированные и т.п.) выделены в две группы (см. таблицу 1).

Таблица 1. Рабочие средства измерений относительной влажности согласно ГПС.

№ группы	Абсолютная погрешность, %	Методы передачи единицы относительной влажности	Эталоны
1	от 1 до 3	метод прямых измерений	генераторы влажного газа 1-го разряда (относительная влажность) с погрешностью воспроизведения $\pm (0,5 \dots 1) \%$
2	от 3 до 25	метод непосредственного сличения	эталонные гигрометры 2-го разряда (относительная влажность) с погрешностью измерений $\pm (1 \dots 3) \%$
		метод прямых измерений	генераторы влажного газа 1-го и 2-го разряда (относительная влажность)
		метод косвенных измерений	генераторы влажного газа 1-го разряда (молярная доля влаги, температура точки росы/иней)

Рабочие средства измерения относительной влажности, относящиеся к первой группе (имеющие погрешность лучше 3 %), согласно Государственной поверочной схеме можно поверять, используя только генераторы влажного газа 1-го разряда с погрешностью воспроизведения относительной влажности $\pm (0,5 \dots 1) \%$. К первой группе относятся все типы термогигрометров ИВА-6 и преобразователей ДВ2 (НПК «МИКРОФОР»), измерители влажности и температуры ИВТМ-7 («ЭКСИС»), некоторые типы логгеров и комбинированных приборов Testo, большинство гигрометров Rotronic и многие другие. Практически всегда они имеют одну общую особенность конструкции – наличие зонда измерения влажности, вынесенного за пределы блока индикации.

Генераторы Суховей-1 и Суховей-1П предназначены для поверки средств измерения относительной влажности, имеющих вынесенный за габариты корпуса герметичный зонд измерения влажности, либо представляющие собой такой зонд.

Поверку приборов второй группы (погрешность от 3 % и хуже) обычно проводят методом непосредственного сличения в климатической камере, помещая в нее эталонный гигрометр относительной влажности 2-го разряда и поверяемые приборы.

Анализ записей во ФГИС «Аршин» [6] о произведенных поверках термогигрометров показал, что ряд организаций проводят поверку средств измерений первой группы, используя в качестве эталона относительной влажности эталонные гигрометры 2-го разряда, что является нарушением и с точки зрения Государственной поверочной схемы и требований соответствующих методик поверки по использованию других средств измерений, обеспечивающих необходимую точность.

3 - Генераторы влажного газа (относительной влажности), применяемые в России

К нашему сожалению, приходится констатировать, что за прошедшие 20 лет проблема с метрологическим обеспечением средств измерения влажности газов решена так и не была. Большинство ЦСМ используют неплохие генераторы HygroGen, имеющие совершенно неадекватную цену и ряд других недостатков, о которых будет сказано далее. В Госреестр было внесено несколько генераторов российского производства, но, как будет показано далее, их соответствие заявленным метрологическим характеристикам весьма сомнительно.

В таблице 2 показаны эталонные генераторы влажного газа 1-го разряда, воспроизводящие единицу относительной влажности, внесенные в Госреестр средств измерений (Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений) и применяемые в России в настоящее время.

Таблица 2. Сравнение представленных в РФ генераторов влажного газа.

Наименование генератора (погрешность)	Преимущества	Недостатки
Генератор влажного воздуха HygroGen 1 ($\pm 1\%$) и HygroGen 2 ($\pm 0,5\%$)	+ поверяемый гигрометр при необходимости можно поместить в рабочую камеру целиком; + быстрая стабилизация относительной влажности и температуры в рабочей камере благодаря активному перемешиванию воздуха в его объеме; + удобный интерфейс пользователя, простота использования; + возможность поверки гигрометров по температуре	– очень высокая стоимость, длительный и дорогостоящий ремонт; – работа основана на методе смешивания по показаниям контрольного гигрометра, что неизбежно приводит к дрейфу воспроизводимой влажности со временем; – использование контрольного конденсационного гигрометра не обеспечивает воспроизведение относительной влажности с погрешностью $\pm 0,5\%$ (см. далее)
Образцовые генераторы влажного газа Родник-2 и Родник-2М ($\pm 0,5\%$)	++ работа основана на фундаментальном физическом принципе – методе двух давлений	– давно не производятся - запасных частей нет, ремонт сложен; – управление сложное и архаичное, требует специфических знаний, умений и постоянного внимания
Генераторы влажного газа Родник-4 и Родник-4М ($\pm 1\%$)	++ работа основана на фундаментальном физическом принципе – методе двух давлений	– управление архаичное, требует умения и постоянного внимания
Генераторы влажного газа ТКА-ГВЛ-01-1 ($\pm 1\%$)	нет	– – использование метода смешивания по показаниям контрольного гигрометра в сочетании с отсутствием термостатирования рабочей камеры приводят к большой ошибке воспроизведения единицы относительной влажности (см. далее)
Генераторы влажного газа ГВГ-901 и ГВГ-902 ($\pm 1\%$)	нет	

Наименование генератора (погрешность)	Преимущества	Недостатки
Генераторы влажного газа эталонные Суховой-1 (± 1 %) и Суховой-1П ($\pm 0,5$ %)	++ работа основана на фундаментальных физических принципах – сочетании методов двух температур и двух давлений; + удобный интерфейс пользователя, простота использования	– невозможность поверки гигрометров с негерметичным зондом или не имеющих выносного зонда

Работа половины из представленных в таблице генераторов основана на методе смешивания сухого и влажного газовых потоков по показаниям контрольного гигрометра. К достоинствам генераторов на основе метода смешивания можно отнести простоту конструкции. Существенным недостатком является необходимость использования контрольного гигрометра для измерения задаваемой влажности. В качестве контрольного гигрометра используют «высокоточные» преобразователи на основе емкостного сенсора или, в более продвинутых генераторах, конденсационные гигрометры.

Весьма спорным является вопрос о том можно ли считать такие генераторы реализующими метод прямых измерений, так как фактически передача единицы измерения относительной влажности производится от контрольного гигрометра, который подвержен дрейфу градуировочной характеристики в зависимости от условий эксплуатации, имеет гистерезис (зависимость показаний от направления изменения относительной влажности).

Основанные на методе смешивания генераторы ТКА-ГВЛ, ГВГ-901 и ГВЛ-902 не имеют термостатируемой камеры, которая в генераторах HygroGen используется, чтобы температура зондов поверяемых гигрометров и контрольного гигрометра была одинаковой. Необеспечение равенства этих температур вследствие наличия градиента по рабочей камере происходит по следующим причинам:

- 1) генератор сам по себе является источником тепла;
- 2) некоторые преобразователи поверяемых гигрометров имеют саморазогрев;
- 3) в помещении, где располагается генератор, почти всегда есть сквозняки, работают нагревательные приборы, кондиционер.

Несоответствие температуры поверяемых гигрометров и контрольного датчика генератора приводит к дополнительной погрешности при передаче единицы относительной влажности, которая при большой влажности может значительно превышать заявленную погрешность генератора. Оценим к какой ошибке это может приводить. Для этого воспользуемся формулами в соответствии с [7] и [8], либо метрологическим калькулятором Микрофор [9].

Рассчитаем какие показания будут у поверяемого гигрометра, если его температура будет отличаться от температуры контрольного гигрометра на 0,1 и 0,2 °С (см. таблицу 3).

Если учесть, что к этой ошибке добавляются погрешности контрольного гигрометра по относительной влажности и температуре, то возникают очень большие сомнения в способности таких генераторов влажного газа (работа которых основана на методе смешивания и не имеющих термостатируемой измерительной камеры) обеспечить заявленную погрешность воспроизведения относительной влажности ± 1 % в соответствии с описаниями типа на них.

Таблица 3. Ошибка измерения относительной влажности при несоответствии температур контрольного и поверяемого гигрометра.

Контрольный гигрометр		Поверяемый гигрометр		Ошибка, %
Температура, °С	Относительная влажность, %	Температура, °С	Относительная влажность, %	
23,0	50,0	23,1	49,7	-0,3
		23,2	49,4	-0,6
23,0	75,0	23,1	74,6	-0,4
		23,2	74,1	-0,9
23,0	90,0	23,1	89,5	-0,5
		23,2	88,9	-1,1
23,0	95,0	23,1	94,4	-0,6
		23,2	93,9	-1,1
23,0	98,0	23,1	97,4	-0,6
		23,2	96,8	-1,2

Генераторы Родник, которые реализуют фундаментальные методы воспроизведения относительной влажности (к ним относятся метод двух температур, метод двух давлений и метод фазового равновесия – [8]), являются сложными в эксплуатации и морально устаревшими.

Генераторы Суховой-1 и Суховой-1П воспроизводят единицу относительной влажности, используя сочетание методов двух давлений и двух температур, имеют современную элементную базу, удобное управление и высокую автоматизацию.

4 - О метрологических характеристиках генератора влажного воздуха HygroGen

Отдельно следует отметить эталонный генератор влажного воздуха HygroGen 2, получивший наибольшее распространение в России за последние 10 лет благодаря удобству использования и качественному исполнению. В соответствии с описанием типа на него (номер в ФИФ 32405-11 [10]), почти все модификации этого генератора имеют погрешность воспроизведения относительной влажности $\pm 0,5$ % в диапазоне от 0 (или 5) до 100 %. Эти характеристики вызывают большие сомнения по двум причинам:

1) Спецификация производителя Rotronic радикально отличается от спецификации Российских дистрибьютеров (характеристики у последних соответствуют описанию типа СИ – [11], [12]).

В полной актуальной на дату написания статьи спецификации производителя от 03.11.2016 ([13]) записано (см. таблицу 4), что точность контрольного датчика генератора HG2-S (соответствует HygroGen 2 в описании типа) составляет $\pm 0,8$ %, а его тип – HygroClip2 (его подробные характеристики приведены в [14]).

Таблица 4. Характеристики генераторов HygroGen на сайте производителя.

HygroGen2 Specifications		HG2-S	HG2-XL
Chamber volume		2 litres	20 litres
Working volume		1.5 litres	17 litres
Humidity changes (± 0.1 %RH stability)	5...95 %RH	<5 minutes	<15 minutes
Temperature changes (± 0.01 °C stability)	23...50 °C	<5 minutes	<15 minutes
	23...0 °C	<25 mins	<35 minutes
Thermal gradients	15...50 °C	± 0.05 °C	± 0.05 °C
	5...60 °C	± 0.1 °C	± 0.1 °C
	0...5 °C	± 0.15 °C	± 0.15 °C
Probe mounts		Up to 6 probes through door ports	Up to 19 probes through door, plus internal shelf racks
Weight & Dimensions		13 kg, 45 x 41 x 21 cm	37 kg, 80 x 62 x 41 cm
Generation method	Mixed flow with desiccant drier cell and piezoelectric humidifier; Peltier thermoelectric element with radial chamber mixing fan		
Control probe specification	± 0.8 %RH (10...30 °C), ± 2 %RH (0...60 °C) ± 0.1 K (10...30 °C), ± 0.3 K (0...60 °C)		
Typical calibration uncertainty	± 1.5 %RH (k=2) at 23 °C, ± 0.15 °C (k=2) 15...50 °C		
Sensor	HygroClip2, capacitive RH sensor, Pt100 temperature sensor		

Также приводятся значения факторов, которые вносят дополнительную погрешность воспроизведения – градиенты температуры и влажности по камере, погрешность измерения и установки температуры в камере. Самым интересным является параметр "Типичная неопределенность калибровки" ("Typical calibration uncertainty") $\pm 1,5$ %.

Вывод – в настоящее время (и, судя по дате спецификации, с 2016 года) Rotronic не производит генераторы влажного воздуха HygroGen в модификации, которая могла бы обеспечить погрешность воспроизведения относительной влажности $\pm 0,5$ %.

2) В описании типа на HygroGen [10] указано, что контрольный сорбционно-емкостной датчик (HygroClip) используется «для измерения воспроизводимых значений относительной влажности» только в генераторах HygroGen 1 с погрешностью ± 1 %, в остальных генераторах (с погрешностью $\pm 0,5$ %) используются различные конденсационные гигрометры с погрешностью измерения температуры точки росы (иней) $\pm 0,2$ °C и температуры $\pm 0,1$ °C. Сам Rotronic в настоящее время таких модификаций не предлагает.

Проведем оценку погрешности измерения относительной влажности конденсационным гигрометром косвенным методом, при котором значение относительной влажности рассчитывается на основе измеренных конденсационным гигрометром значений точки росы и температуры. Для этого воспользуемся формулами в соответствии с [7] и [8] или калькулятором [9] – примем, что в рабочей камере установлена температура 23°C и рассчитаем какую погрешность по относительной влажности будет иметь конденсационный гигрометр с погрешностью по точке росы (иней) $\pm 0,2$ °C при различных значениях относительной влажности (см. таблицу 5).

Из таблицы видно, что смысл от использования конденсационного гигрометра имеется только в диапазоне приблизительно 50 % и меньше. Но в диапазоне менее 25 % (когда точка иней становится ниже 0 °C) у него появляется другая проблема – неопределенность фазы конденсата (вода или лед) при отрицательной температуре зеркала (об этом мы уже писали ранее [15]). С учетом этой неопределенности, погрешности $\pm 0,5$ % по относительной влажности сложно достигнуть даже в этой области.

Также необходимо учесть погрешность измерения температуры конденсационным гигрометром, которая составляет $\pm 0,1$ °C – в этом случае ошибка при передаче единицы увеличится еще в 1,5 раза [15].

Таблица 5. Результаты расчеты погрешности конденсационного гигрометра по относительной влажности.

Заданная относительная влажность, %	Соответствующая точка росы/иней, °С	Измеренная конденсационным гигрометром относительная влажность, %		Погрешность конденсационного гигрометра по относительной влажности, %	
		при погрешности -0,2 °С	при погрешности +0,2 °С	при погрешности и -0,2 °С	при погрешности +0,2 °С
0,1	-52,7	0,1	0,1	0	0
25	1,9	24,6	25,3	-0,4	+0,3
50	12,0	49,3	50,6	-0,7	+0,6
75	18,3	73,9	75,8	-1,1	+0,8
95	22,1	93,5	95,8	-1,5	+0,8

Вывод – использование конденсационного гигрометра не позволяет достичь погрешности воспроизведения относительной влажности генератора HygroGen 2 $\pm 0,5$ % в заявленном диапазоне.

Конденсационный гигрометр значительно стабильнее при длительной эксплуатации, чем сорбционно-емкостной HygroClip2 (или любой другой) – наверняка именно поэтому Rotronic раньше предлагал его в комплекте с генератором.

Так как срок действия свидетельства об утверждении типа на генераторы HygroGen заканчивается в конце 2021 года, а представленные в этом описании типа генераторы HygroGen 2 достаточно сложно скомплектовать (из-за особенностей слияний и поглощений производящих генераторы и конденсационные гигрометры компаний, которые сейчас являются конкурентами на мировом рынке), с интересом ожидаем какие характеристики будут иметь эти генераторы в новом описании типа, которое на момент написания этой статьи готовилось.

5 - Устройство и принцип работы генераторов Суховой-1 и Суховой-1П

Принцип действия генераторов Суховой-1 и Суховой-1П основан на использовании метода двух температур, метода двух давлений и их комбинаций. Генератор содержит предварительный увлажнитель газа, насытитель, регуляторы температуры увлажнителя и насытителя, регуляторы давления газа в насытителе и измерительной камере, а также измерительную камеру с 8 портами, в которые устанавливаются зонды поверяемых гигрометров.

Газ от внешнего источника (это может быть баллон с азотом или сжатым воздухом с редуктором, компрессор, либо специально разработанная ООО НПК «МИКРОФОР» система подготовки сжатого воздуха) подается на вход генератора и, проходя через пропорциональный клапан регулятора давления К1, последовательно поступает в увлажнитель и насытитель, давление и температура в котором поддерживается на заданном уровне Р1 регуляторами давления и температуры (см. газовую схему генератора на рисунке 2).

Увлажнитель представляет собой термостатируемый стакан с водой с измерителем уровня жидкости. Стакан содержит вертикальную перегородку из газопроницаемого смачиваемого материала. Значение температура воды в стакане поддерживается на несколько градусов выше

температуры насытителя. Газ, проходя через увлажнитель, слегка нагревается и насыщается влагой. Температура точки росы газа на выходе увлажнителя выше, чем температура насытителя.

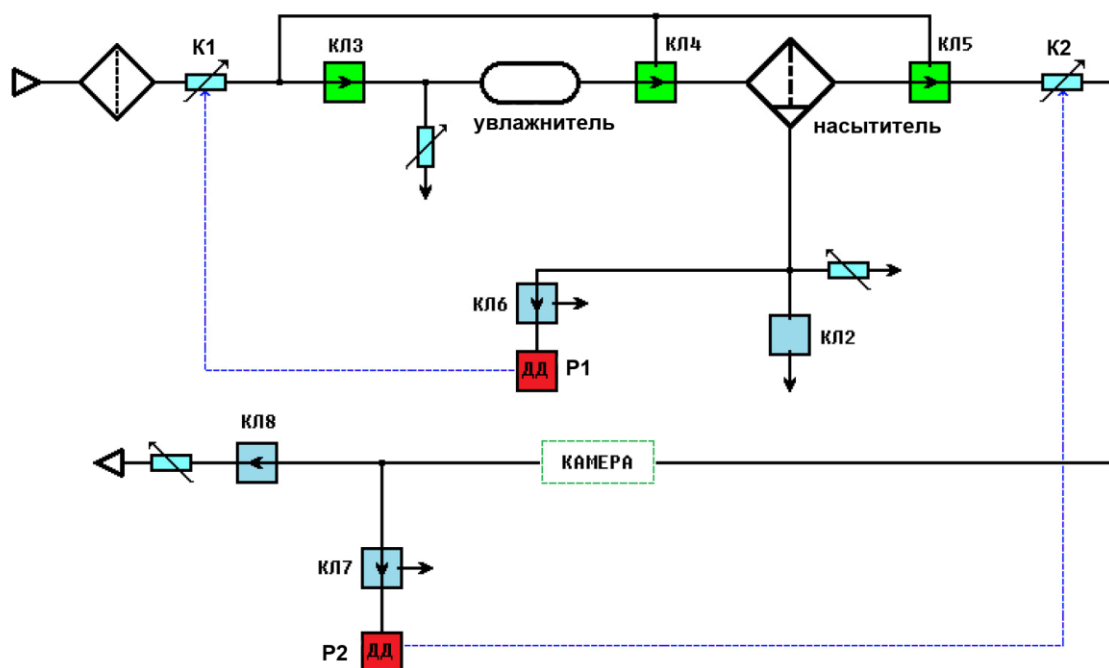


Рисунок 2 – Схема газовой системы генераторов Суховой-1 и Суховой-1П.

Насытитель представляет собой термостатируемую с помощью термоэлектрического модуля камеру с системой каналов, проходя через которые увлажненный газ охлаждается, принимая температуру камеры, сконденсировавшаяся на стенках каналов влага стекает в нижнюю часть камеры и удаляется наружу.

Из насытителя газ с заданным значением точки росы поступает через пропорциональный клапан K2 во встроенную измерительную камеру с поверяемыми зондами гигрометров. Давление P2 в измерительной камере поддерживается регулятором давления, температура камеры измеряется установленным в ней платиновым термопреобразователем. На выходе измерительной камеры с обратной её стороны установлен контрольный измерительный преобразователь влажности и температуры ДВ2ТС-1Т-2П, предназначенный для контроля работы генератора. Он не участвует в установке относительной влажности, может быть отключен и демонтирован – это не повлияет на работу генератора. С выхода измерительной камеры газ сбрасывается в атмосферу. Измерительная камера имеет мощный вентилятор принудительного обдува, который позволяет привести температуру зондов гигрометров и камеры к температуре окружающей среды и минимизировать температурные градиенты в зоне измерений.

Клапан KЛ2 используется для сброса конденсата из насытителя при просушке. Клапаны KЛ3-KЛ5 обеспечивают подачу в измерительную камеру сухого воздуха от внешнего источника и просушку насытителя перед выключением генератора. Клапаны KЛ6 и KЛ7 предназначены для установки нулей соответствующих датчиков давления. Клапан KЛ8 предназначен для запираания измерительной камеры при выполнении процедуры проверки ее герметичности.

Высокая точность воспроизведения единицы относительной влажности генераторами Суховой-1 и Суховой-1П достигается следующими техническими решениями:

- 1) фундаментальными физическими принципами методов воспроизведения – воспроизводимая относительная влажность определяется только температурами и давлениями в насытителе и измерительной камере и атмосферным давлением;

- 2) применяемые современные сенсоры температуры (платиновые термометры сопротивления) и давления (тензорезистивные датчики) имеют высокую точность и стабильность, в отличие от любых современных сенсоров влажности;
- 3) для повышения точности измерений давлений в насытителе и измерительной камере сенсоры давления и их электронный модуль поддерживаются при постоянной температуре, установка «нуля» давлений осуществляется перед каждой установкой относительной влажности в процессе работы генератора;
- 4) активный обдув окружающим воздухом и конструктивные особенности измерительной камеры позволяют минимизировать градиенты температур между ней и преобразователями поверяемых гигрометров до 0,02 ... 0,05 °С;
- 5) конструкция конденсационной камеры насыпителя обеспечивает полное насыщение влагой проходящего через нее газа.

Градуировка генераторов Суховой-1 и Суховой-1П по относительной влажности **невозможна** – вместо этого в процессе производства градуировку проходят модули измерения температуры насыпителя и измерительной камеры, модули измерения давлений в насытителе и измерительной камере и модуль измерения атмосферного давления.

Расчет значения воспроизводимой относительной влажности в генераторе осуществляется на основе измеренных значений атмосферного давления, избыточных давлений и температур в насытителе и измерительной камере специальным программным модулем в полном соответствии с [7] и [8] (с учетом неидеальности газа). На основе этого программного модуля выполнена программа RH Calc (рисунок 3).

The screenshot shows a software window titled "RH Calc" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections: "Исходные данные" (Input data) and "Результаты" (Results).

Исходные данные (Input data):

- Формула: ГОСТ (dropdown menu)
- t камеры: 23 °C
- t насыпителя: 6 °C
- P атмосферное: 100 кПа (dropdown menu)
- dP камеры: 3 кПа (dropdown menu)
- dP насыпителя: 600 кПа (dropdown menu)
- Коэф. разбавл.: 1
- Молярная доля: 0 млн-1

Результаты (Results):

- Ps нас: 9,3453 гПа
- f нас: 1,0271
- Ps кам: 28,0834 гПа
- f кам: 1,0046
- RH идеальная: 4,8965 %
- RH с поправкой: 5,0057 %
- dP ид.: -16,9688 °C
- dP попр.: -16,7331 °C
- Молярная доля: 1,364840110E+3 млн-1

Рисунок 3 - Окно программы RH Calc.

6 - Основные метрологические и технические характеристики генераторов Суховей-1 и Суховей-1П

Таблица 6 – Метрологические и технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон воспроизведения относительной влажности*, %: - при питании осушенным газом - при питании сжатым воздухом непосредственно от компрессора	от 0 до 100 от 5 до 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при воспроизведении относительной влажности, %: - для генератора Суховей-1: - для генератора Суховей-1П: - в диапазоне от 0 (не включительно) до 98 % (включительно) - в диапазоне от 98 % (не включительно) до 100 % (не включительно)	±1,0 ±0,5 ±1,0
Время установления относительной влажности, мин, не более	30
Расход газа на выходе генератора, л/мин	от 1 до 1,5
Габаритные размеры (ширина×высота×глубина), мм, не более	500×350×420
Масса генератора, кг, не более	25
Напряжение питания переменного тока, В	220 ± 22
Потребляемая мощность, Вт, не более	300
Средняя наработка на отказ в нормальных условиях, ч, не менее	10 000
Средний срок службы, лет, не менее	8
* - время установления зависит от направления хода генератора (понижение или повышение влажности), расхода газа, величины воспроизводимой влажности и степени просушки газовых коммуникаций генератора.	

Таблица 7 – Требования к питающему газу

Наименование характеристики	Значение
Тип газа	сжатый воздух
Избыточное давление газа на входе в генератор, МПа	от 0,6 до 0,9
Температура точки инея питающего газа при рабочем давлении на входе в генератор, °С, не хуже: - диапазон воспроизведения относительной влажности от 5 до 100 % - диапазон воспроизведения относительной влажности от 0 до 100 %	нет требований -20*
Содержание механических примесей (пыль, сажа, окалина, масло и др.), мг/м ³ , не более	2
* - вместо сжатого воздуха допускается использование баллонного азота технического по ГОСТ 9293-74 или более качественного.	

Требования таблицы 7 для диапазона воспроизводимых значений относительной влажности от 0 до 100 % обеспечиваются Системой подготовки сжатого воздуха, о которой будет рассказано ниже.

7 - Управление генератором

Генераторы Суховой-1 и Суховой-1П управляются при помощи сенсорного экрана, расположенного на передней панели слева от измерительной камеры (см. рисунок 1). Интерфейс ориентирован на использование пальца и состоит из двух зон – вертикального ряда кнопок слева, с помощью которого выбирается режим отображения зоны справа. Две нижние кнопки служат для взаимодействия пользователя с текущей программой, поэтому их текст и назначение изменяются в зависимости от выполняемой программы.

На экране «Состояние» (см. рисунок 4) отображается текущее значение относительной влажности в измерительной камере, статус генератора и другая справочная информация.



Рисунок 4 – Экран «Состояние».

На экране «График» (рисунок 5) отображаются зависимости от времени для текущего и заданного значений относительной влажности, а также показания контрольного датчика. Масштаб времени можно легко менять, нажимая на сам график.

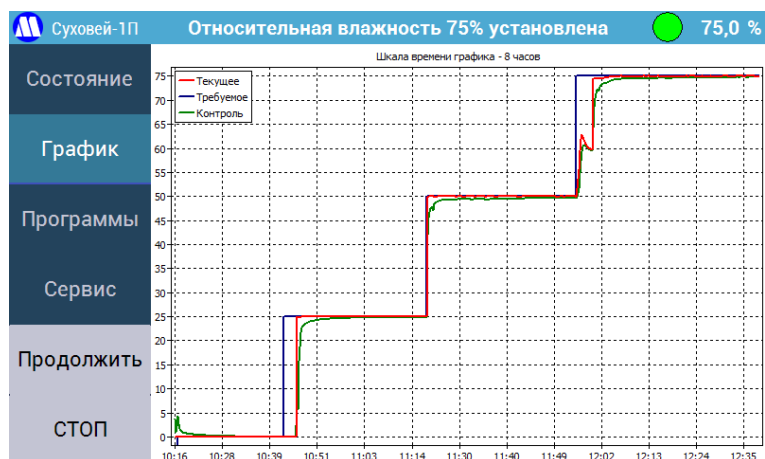


Рисунок 5 – Процесс установки нескольких значений относительной влажности на графике.

Установка относительной влажности может производиться либо нажатием на программируемые кнопки из меню «Установка» (рисунок 6 слева), либо по программам поверки из меню «Программы» (рисунок 6 справа).

Наиболее интересным представляется режим работы по программам, так как по нему будут последовательно установлены все значения относительной влажности в соответствии с методикой поверки. Генератор выполнит проверку герметичности, установит первую точку по методике поверки и будет автоматически ее поддерживать, пока пользователь не нажмет кнопку

«Продолжить» (слева на рисунке 4), после чего генератор установит следующую точку по методике поверки и так далее.

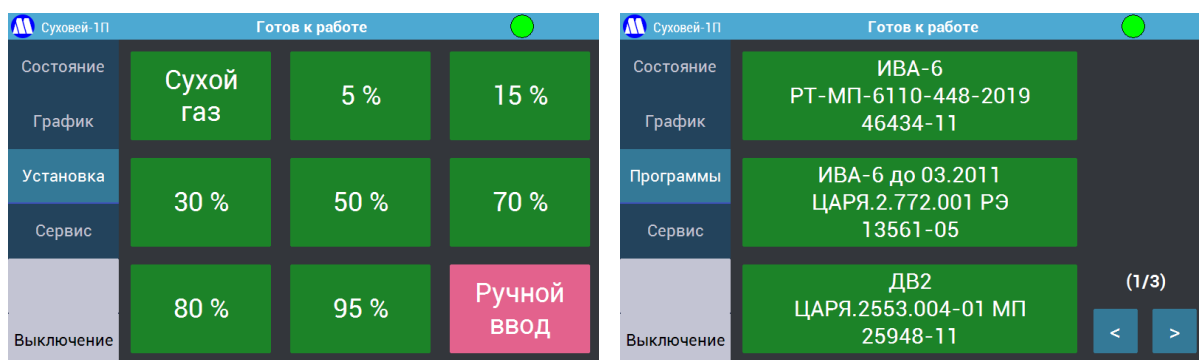


Рисунок 6 – Экраны меню установки относительной влажности.

Программы поверки будут постоянно обновляться (при внесении изменений) и пополняться, в том числе по запросам пользователей. На момент написания статьи имеется 30 программ для поверки гигрометров различных производителей (ИВА-6, ДВ2, ИВТМ-7, многочисленные приборы Testo, ОВЕН ПВТ100, CENTER 310-317, Rotronic HygroPalm и другие).

На экране «Сервис» (рисунок 7 слева) имеются различные сервисные программы, включая программы для слива и залива воды в увлажнитель и проверку герметичности. Вид меню «Настройки» показан на рисунке 6 справа.

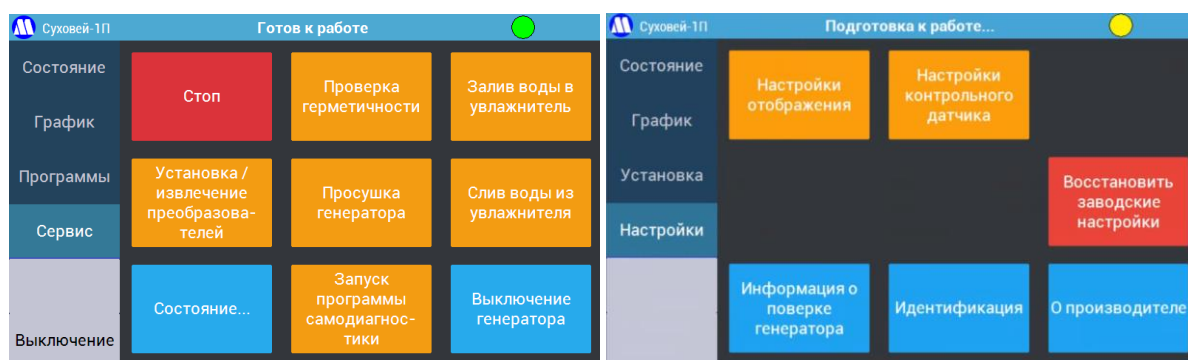


Рисунок 7 – Экраны «Сервис» и «Настройки».

8 - Процесс проведения поверки

Поверка гигрометров по относительной влажности с использованием генераторов Суходей-1 или Суходей-1П начинается с его включения, в ходе которого генератор устанавливает связь со всеми собственными модулями, проверяет соответствие температуры измерительной камеры рабочим условиям применения, наличие газа на входе и наличие установленных в измерительную камеру зондов гигрометров. После завершения проверок на экране загорится статус «ГОТОВ» (см. рисунок 8).



Рисунок 8 – Генератор готов к работе.

Рабочие порты измерительной камеры имеют резьбу М24×1. Преобразователи ДВ2 исполнения -В устанавливаются в них непосредственно (крышка измерительной камеры сделана из титана, поэтому в резьбе их «закусывать» не будет). Для зондов с другими установочными размерами в комплект поставки входит набор переходных втулок, обеспечивающих необходимое уплотнение. Установка втулок и зондов производится с помощью входящего в комплект поставки рожкового ключа.

Далее будет продемонстрирован пример одновременной поверки 7 шт. термогигрометров ИВА-6Н и одного ИВА-6Б2 с измерительным преобразователем ДВ2ТСМ-1Т-4П-В. На рисунке 8 показано как зонды семи ИВА-6Н установлены в порты измерительной камеры генератора через втулки, а в восьмой порт непосредственно установлен измерительный преобразователь ДВ2ТСМ-1Т-4П-В.

Поверка запущена по программе «ИВА-6» (рис. 6 справа). Генератор производит проверку герметичности установки зондов, затем устанавливает точку 0 % в соответствии с методикой поверки на ИВА-6. После завершения установки генератором относительной влажности 0 % (т.е. выхода на режим подачи в измерительную камеру сухого газа от системы подготовки сжатого воздуха), генератор покажет статус «ГОТОВ» (рис. 9).



Рисунок 9 – Воспроизведение точки 0 % относительной влажности.

После фиксации показаний термогигрометров (для этого на блоках индикации ИВА-6Н следует нажать правую кнопку – они на время перейдут в режим «быстрых» измерений), следует нажать на экране генератора кнопку «Продолжить». После этого генератор начнет установку следующей точки по методике поверки и так далее (рис. 10).



Рисунок 10 – Воспроизведение остальных значений относительной влажности в соответствии с методикой поверки.

После фиксации показаний термогигрометров в последней точке и нажатия на кнопку «Продолжить», генератор задаст вопрос следует ли завершить работу (в этом случае он приступит к просушке насытителя), либо извлечь текущие зонды для установки следующей партии.

Весь процесс выполнения поверки для этой демонстрации занял 2 часа 10 минут с момента включения генератора от установки зондов термогигрометров до момента их извлечения.

Для средств измерения, произведенных ООО НПК «МИКРОФОР», имеется возможность автоматизации проведения поверки, о которой будет подробно рассказано в другой статье.

9 - Система подготовки сжатого воздуха

ООО НПК «МИКРОФОР» специально для генераторов влажного газа эталонных Сухолей разработало два вида автономных систем питания генераторов газом – Систему подготовки сжатого воздуха (для генераторов Сухолей-1, Сухолей-1П и Сухолей-2) и Систему подготовки сжатого воздуха с глубокой осушкой (для генераторов Сухолей-3, Сухолей-3П и Сухолей-4).

В Систему подготовки сжатого воздуха входят:

- малозумный компрессор с со встроенным ресивером;
- фильтры конденсата, масла и частиц;

- блок осушки с автоматической холодной регенерацией, которая производится автоматически без прерывания подачи газа;
- термогигрометр ИВА-6Б2 с измерительным преобразователем ДВ2ТСМ-1Т-4П-В или преобразователем измерительным влажности и температуры ДВ2ТС-1Т-4П-В для контроля точки инея сжатого воздуха с возможностью подключения их к генератору.

10 - Техническое обслуживание и поверка

Объем технического обслуживания генераторов Суховой-1 и Суховой-1П заключается в периодической (примерно раз в месяц при интенсивном использовании) заправке увлажнителя дистиллированной водой. Уровень воды в увлажнителе выводится на экран «Состояние».

Поверка генераторов производится с использованием гигрометра-компаратора из состава Государственного первичного эталона единиц относительной влажности газов, молярной (объемной) доли влаги, температуры точки росы/инея, температуры конденсации углеводородов ГЭТ151-2020. Межповерочный интервал составляет 1 год. Генераторы имеют возможность ввода даты следующей поверки с настройкой оповещений о ее приближении.

11 - Выводы

Генераторы Суховой-1 и Суховой-1П обеспечивают возможность поверки широкой номенклатуры гигрометров с герметичным выносным зондом, обладают лучшими реальными метрологическими и техническими характеристиками среди всех аналогов, имеют адекватную стоимость и производятся Российской компанией с многолетней историей. ООО НПК «МИКРОФОР» всегда готово оказать оперативную поддержку и учесть пожелания потребителей.

12 - Ссылки

- [1] - <https://microfor.ru/tools/standard/microfor1/>
- [2] - постановление Правительства №734 от 23.09.2010 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»
- [3] - приказ Росстандарта № 2224 от 23.12.2020 «Об утверждении типов средств измерений»
- [4] - https://microfor.ru/microfor_price.php
- [5] - ГОСТ 8.547-2009 «Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов»
- [6] - <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/>
- [7] - ГОСТ 8.811-2012 «Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения»
- [8] - РМГ 75-2014 «Измерения влажности газов. Термины и определения»
- [9] - <https://microfor.ru/soft/mcalc.zip>
- [10] - <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/340725>
- [11] - <http://www.hygrometer.ru/pc/calibration.html>
- [12] - <http://rotronic-rus.ru/catalog/calibration-hygrogen2>
- [13] - <https://www.rotronic.com/en/productattachments/index/download?id=1221>
- [14] - <https://www.rotronic.com/en/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/humidity-measurement-feuchte-messung/probes-hygroclip2-fuehler/hc2-icxxx.html>
- [15] - <https://microfor.ru/tools/recommendations/>