

УДК 550.832.53

*В. Г. Черменский**ООО “Октургеофизика”**В. А. Велижанин**ООО “Нефтегазгеофизика”**А. А. Кощев, С. П. Коньшев**ФГУП “Комбинат “Электрохимприбор”*

ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЙТРОННЫХ СЧЕТЧИКОВ СНМ 56М И СНМ 67Э ПРОИЗВОДСТВА ФГУП “КОМБИНАТ “ЭЛЕКТРОХИМПРИБОР”

Приведены результаты испытаний нейтронных счетчиков, разработанных ФГУП “Комбинат “Электрохимприбор” для нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: нейтронный счетчик, схема, спектр, сигнал, тестирование.

Возникшую на рынке скважинного приборостроения для нефтегазовой отрасли ситуацию с нейтронными счетчиками СНМ 56, СНМ 67, СНМ 80 можно охарактеризовать как тревожную: производства, традиционно выпускающие данные типы счетчиков еще с советских времен, в силу определенных технических причин практически не работают. Те небольшие количества продаваемых счетчиков, которые еще можно получить у некоторых компаний-поставщиков из старых запасов, зачастую имеют низкое качество и не соответствуют требованиям, предъявляемым к данному типу продукции. Настоящая статья посвящена исследованиям счетчиков СНМ 56М и СНМ 67Э, разработанным ФГУП “Комбинат “Электрохимприбор” (далее ЭХП) и появившимся на отечественном рынке в 2012 г. Во избежание недоразумений в статье к названиям счетчиков, произведенным ЭХП, приписываются буква “М” для счетчика СНМ 56, буква “Э” для счетчика СНМ 67, в то время как счетчики советского производства маркируются без индексов.

Внешний вид счетчиков СНМ 56М, СНМ 67Э отличается от внешнего вида классических счетчиков СНМ (рис. 1). Наиболее характерное отличие первых – исполнение анодного и катодного выводов в виде лепестков. Для счетчиков, предназначенных к применению в скважинной геофизической аппаратуре, это удобно.



Рис. 1. Внешний вид счетчиков CHM 56 (вверху) и CHM 56M (внизу)

Партия серийно выпускаемых ЭХП счетчиков CHM 56M и CHM 67Э была проверена на стенде в режимах работы в “коронном” и пропорциональном разрядах.

На рис. 3 и 4 приведены принципиальные схемы блока высокого напряжения питания счетчиков (БВН) и блока сбора информации (БСИ) соответственно. Последний включает в себя усилитель входных сигналов, счетные устройства, интерфейс и узел управления дискриминатором нижнего уровня (ДНУ) и БВН.

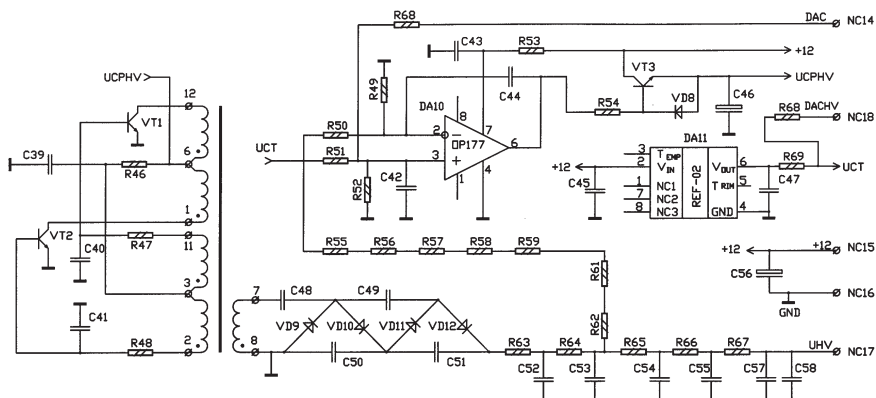


Рис. 3. Принципиальная схема БВН

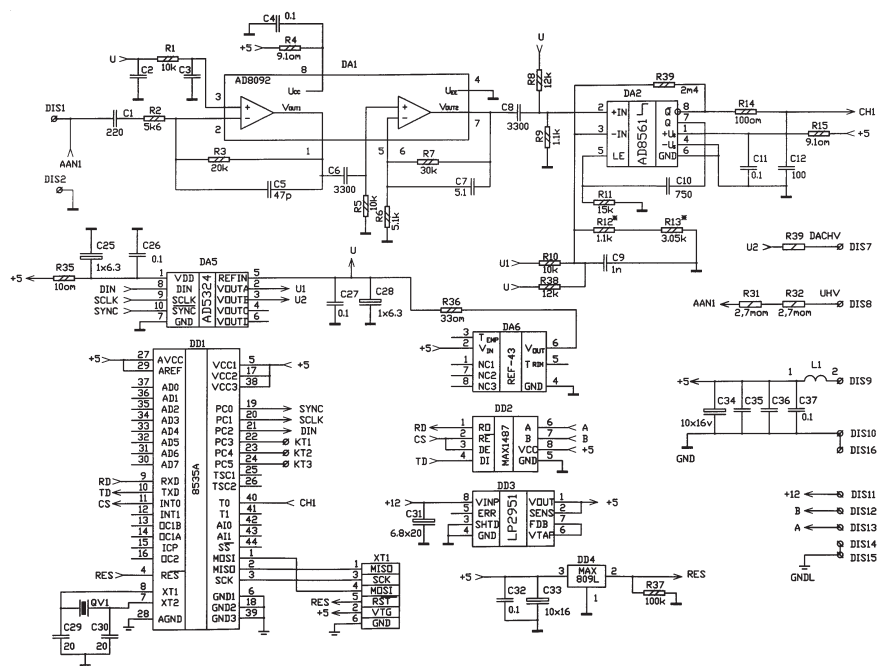


Рис. 4. Принципиальная схема БСИ

Данные схемы были применены в исследованиях авторов и аналогичны применяемым в скважинных приборах. По линии АВ (рис. 4, DIS12, DIS13) поддерживается связь с компьютером через преобразователь RS-485 в USB, цифроаналоговый преобразователь DA5 уровнем напряжения на линиях U1 и U2 задает значение ДНУ и высоковольтного напряжения питания счетчиков. Импульсы со счетчиков и служебная информация (температура окружающей среды, значения ДНУ и напряжения питания счетчиков, время набора и т. д.) записываются в LIS-файл для дальнейшего анализа и обработки.

Проверка напряжения зажигания “коронного” разряда счетчика в процессе испытаний проводилась визуально по осциллографу в соответствии с ГОСТ-22988.2-78. Далее выставлялось рабочее напряжение из паспорта счетчика и на разных уровнях ДНУ при облучении счетчика нейтронами Pu-Be источника с выходом 10^5 н/с, располо-

женного в замедлителе, со счетчика регистрировалась скорость счета импульсов. Потом счетчик нагревался и опять снималась зависимость скорости счета от положения ДНУ. Естественно, геометрия измерений во время проведения исследований оставалась неизменной. Технология проверки счетчика на температурную стабильность показана на примере счетчика СНМ 67Э № 0566-1204 (табл. 1). Время набора статистики 1 мин, напряжение питания – 1700 В.

Таблица 1

Технология проверки счетчика на температурную стабильность
(на примере СНМ 67Э № 0566-1204)

ДНУ, мВ	Счет, имп/мин, при температуре			Фон, имп/мин, при температуре	
	20 °С	120 °С	180 °С	20 °С	180 °С
32	286 770	325 988	292 515		257 000
37	126 810	139 099	119 817		95 000
42	101 480	110 800	95 327	79 880	53 300
46	60 947	64 565	57 251	17 000	29 445
50	37 815	39 320	35 948	7200	4968
57	34 810	34 958	33 524	1900	2000
60	33 089	32 759	32 458	700	1000
63	31 715	31 433	31 240	300	976
66	30 867	30 667	30 477	130	452
70	29 325	29 182	28 808	35	50

Зарегистрированные значения скоростей счета при различных значениях ДНУ на разных температурах окружающей среды пересчитывались в процентах отклонения (положительные или отрицательные) относительно аналогичных скоростей счета при нормальных условиях (НУ, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и строились в виде графиков (рис. 5).

Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод, что после прогрева счетчика значение ДНУ на уровне 70 мВ удовлетворяет температурной стабильности (не более 2% в диапазоне изменения температур от 20 до 180 °С). На этом значении ДНУ стандартным образом снимается плато счетной характеристики счетчика от пита-

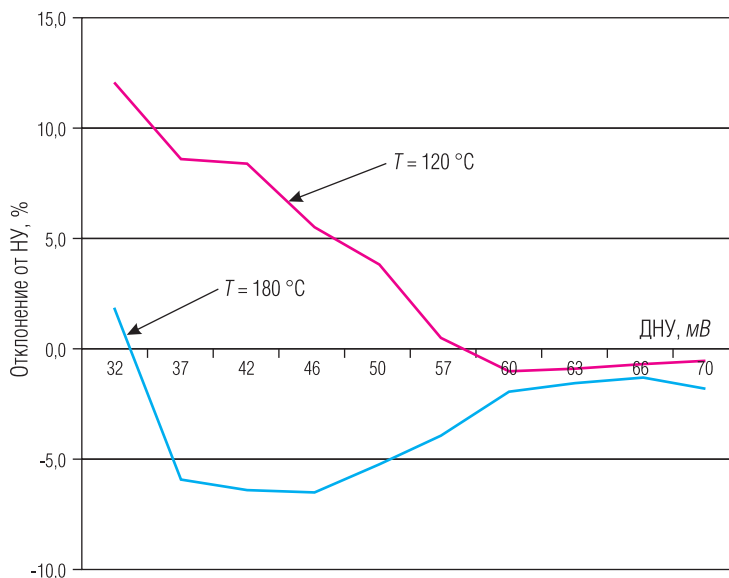


Рис. 5. Отклонения от НУ скорости счета нейтронов (в %) при различных значениях ДНУ и температурах окружающей счетчик среды

ющего высокого напряжения и при ее протяженности не менее 400 В лабораторная проверка счетчика заканчивается. Данный счетчик признается годным для применения в аппаратуре нейтронного каротажа (НК) при его эксплуатации в режиме “коронного” разряда.

Необходимо отметить, что при прочих равных условиях (одна и та же регистрирующая схема) значение ДНУ, при котором счетчик по своим характеристикам признается годным к применению в аппаратуре НК, на счетчиках СНМ 67Э производства ЭХП в 1,5–2 раза выше, чем на счетчиках советского производства. На экране осциллографа это выглядит как один и тот же процесс, но при различных коэффициентах усиления (рис. 6, 7). Осциллограммы, приведенные ниже, сняты верхним лучом на выходе 7 DA1 БСИ по переменной составляющей, нижним лучом – на выходе 8 DA2 БСИ. Синхронизация выполнена по нижнему лучу.

Объяснением этому может служить различие в конструкции счетчиков, например различный диаметр нити анода и т. д.

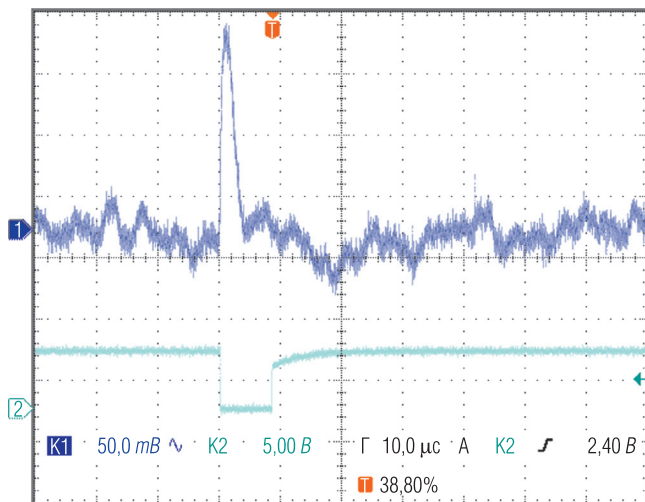


Рис. 6. Вид полезного сигнала на фоне “короны” счетчика СНМ 67 (счетчик советского периода)

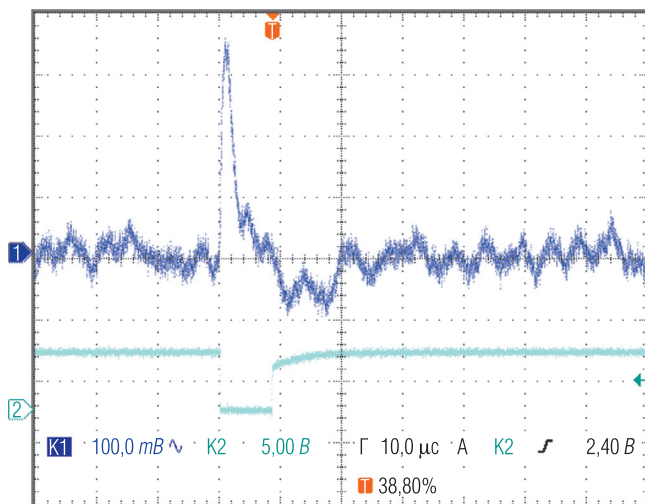


Рис. 7. Вид полезного сигнала на фоне “короны” счетчика СНМ 67Э (счетчик производства ЭХП)

Для выяснения пригодности палеток, полученных ранее на счетчиках советского производства, для аппаратуры с повышенным значением ДНУ были проведены модельные работы. Технология проверки счетчика на моделях показана на примере счетчика СНМ 56М № 0197-1203 (табл. 2). Испытания проводились в составе скважинного прибора АПРК-5 (серийно выпускается с 2004 г. в ООО “Нефтегазгеофизика”), в котором при выпуске аппаратуры изначально был установлен счетчик СНМ 56 с условным номером 1, и прибор прошел метрологическую проверку на моделях пористости. Статистическая погрешность измерений (с источником) составляет менее 1%. Напряжение питания счетчиков +1800 В. Изменялся только ближний счетчик (малый зонд – МЗ). Дальний счетчик оставался постоянным. Для сравнения приведены данные калибровок приборов АПРК-5, выпущенных в 2007 и 2009 гг. (выбор приборов случаен, условные номера счетчиков 2007 и 2009).

Вывод: счетчик нейтронов СНМ 56М № 0197-1203, установленный в аппаратуру АПРК-5, удовлетворяет заданным допускам.

Результаты проверки партии счетчиков СНМ 56М и СНМ 67Э по описанным выше методикам показали следующие результаты. Начиная с весны 2012 г. счетчики производства ЭХП в основной массе соответствуют требованиям, предъявляемым к счетчикам, устанавливаемым в скважинную аппаратуру НК для определения водородосодержания. Счетчики включаются в режиме “коронного” разряда. Определяемые для каждого счетчика значения ДНУ позволяют проводить его эксплуатацию с сохранением палеточных зависимостей, рассчитанных для скважинных приборов ранее (проверено на скважинных приборах РК производства ООО “Нефтегазгеофизика”, г. Тверь). Отбраковка счетчиков по критерию температурной стабильности ($\pm 3\%$ в диапазоне изменения температур от 20 до 180 °С) не превысила 20%.

Одновременно с испытаниями счетчиков в режиме работы “коронного” разряда все счетчики были также испытаны на работу в режиме пропорционального счета. Ниже приведен пример тестирования счетчика СНМ 67Э № 0566-1204 (ранее было приведено описание результатов его тестирования в режиме работы “коронного” разряда). На рис. 8 показан внешний вид сигнала со счетчика, включенного в режиме пропорционального счета.

При подключении осциллографа наводки по “земле” и на измерительных шнурах оказались соизмеримы с нижним пределом измерения

Таблица 2

**Технология проверки счетчика на моделях
(на примере СНМ 56М № 0197-1203)**

Счетчик	Измерение	Большой зонд		Малый зонд		Примечание
		имп/мин	у. е.	имп/мин	у. е.	
СНМ-56М № 0197	Фон	12		39		
	Вода	1232		26 665		
	ИПП1	43 635	35,4	133 713	5,01	Лучшее соответствие ранее выпущенным приборам
	ИПП2	14 387	11,7	89 481	3,35	
	ИПП3	3170	2,57	46 089	1,73	
СНМ-56 № 1	Фон	14		15		
	Вода	1276		29 989		
	ИПП1	43 442	34,0	141 884	4,73	
	ИПП2	14 342	11,2	95 226	3,17	
	ИПП3	3259	2,55	50 120	1,67	
СНМ-56 № 2007	Фон	1		30		
	Вода	1591		29 252		
	ИПП1	55 067	34,6	147 061	5,05	
	ИПП2	18 259	11,5	97 218	3,32	
	ИПП3	4005	2,52	50 067	1,71	
СНМ-56 № 2009	Фон	16		30		
	Вода	1586		28 200		
	ИПП1	53 494	33,7	143 230	5,06	
	ИПП2	17 747	11,2	94 422	3,34	
	ИПП3	3927	2,48	48 182	1,70	

емых величин (сигналы и значения ДНУ), поэтому в дальнейшем все значения приведены по откалиброванным данным БСИ. На рис. 9 и 10 приведены интегральный и дифференциальный спектры сигналов со счетчика, включенного в режиме пропорционального счета при его питании +1228 В. Регистрация интегрального спектра проводилась путем изменения значения ДНУ от 1 до 120 мВ. Погрешность измерений составляет не более 1%.

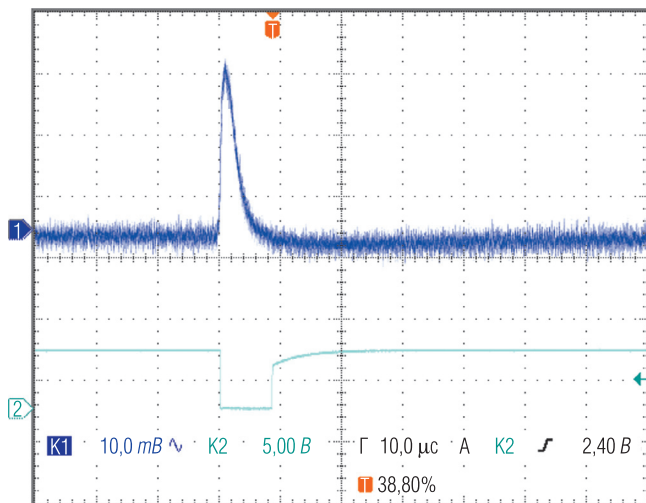


Рис. 8. Внешний вид полезного сигнала при работе счетчика в пропорциональном режиме

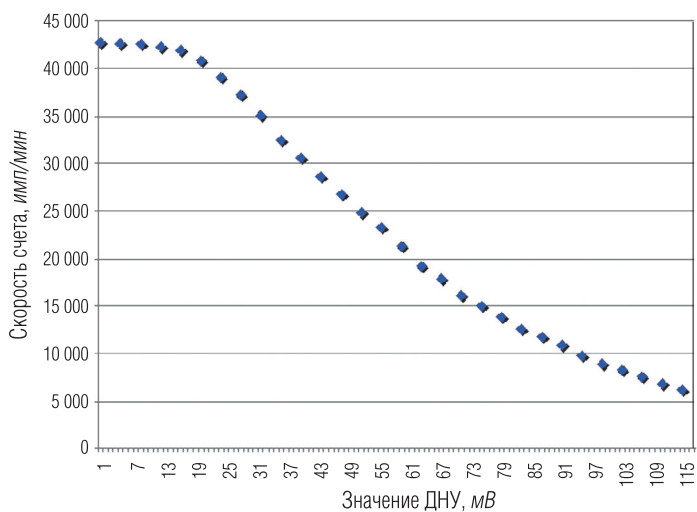


Рис. 9. Интегральный спектр сигналов со счетчика СНМ 67Э, включенного в режиме пропорционального счета

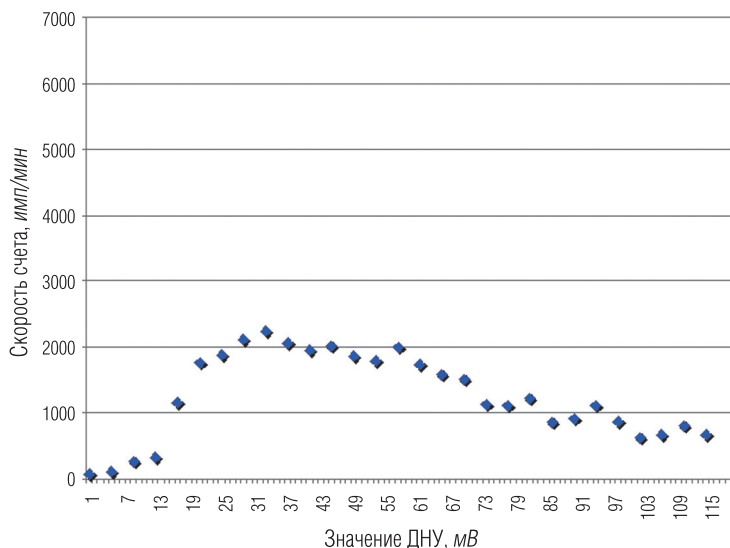


Рис. 10. Дифференциальный спектр сигналов со счетчика СНМ 67Э, включенного в режиме пропорционального счета

Дифференциальный спектр получен путем расчета из интегрального спектра. Шумы системы “схема + счетчик” начинались при значении ДНУ ниже $1,1 \text{ мВ}$. При более высоких значениях ДНУ регистрируемый фон в отсутствии нейтронного источника равен практически нулю.

Как видно из приведенных рисунков, на уровне $3\text{--}7 \text{ мВ}$ в дифференциальном спектре сигналов наблюдается практически нулевая скорость счета. Соответственно на интегральном спектре при этом наблюдается сохранение скорости счета при изменении значения ДНУ в этих пределах.

После установки ДНУ на значение 4 мВ было снято плато счетной характеристики от напряжения питания счетчика (рис. 11). В диапазоне напряжений $1246 \pm 10 \text{ В}$ изменение счетных характеристик детектора практически отсутствует.

Относительно небольшие абсолютные значения ДНУ и высокая стабильность поддержания напряжения питания счетчиков не вызывают сомнения. Современная элементная база, применяемая для

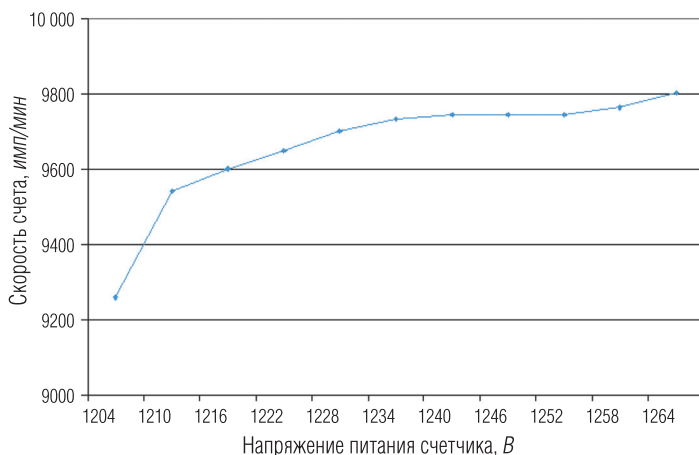


Рис. 11. Плато счетной характеристики от напряжения питания счетчика СНМ 67Э

реализации высоковольтного преобразователя и регистрирующего тракта, позволяет уверенно сохранять заданные параметры в требуемом диапазоне: стабильность высокого напряжения схемы (рис. 3) в диапазоне 1200–1300 В при изменении температуры окружающей среды от 20 до 150 °С не хуже 10 В; стабильность установки значения ДНУ схемы, приведенной на рис. 4, в диапазоне 2–10 мВ не хуже 10%.

После снятия счетных характеристик от различных значений ДНУ и напряжения питания счетчика были выбраны следующие рабочие параметры: напряжение питания 1246 В, уровень дискриминации 4 мВ. Произведен прогрев счетчика до температуры 180 °С (рис. 12). При этом хорошо видно, что изменений счетных характеристик детектора в пределах статистики измерений не обнаружено.

Испытание счетчика в зондовой установке скважинного прибора по методике, описанной выше, показало, что его метрологические свойства позволяют использовать ранее рассчитанную палеточную зависимость для определения водородосодержания в скважине.

В ходе проведения тестирования счетчиков был обнаружен следующий факт: температурный прогрев счетчика СНМ 56М № 0091, включенного в режиме “коронного” разряда, показал нестабильность

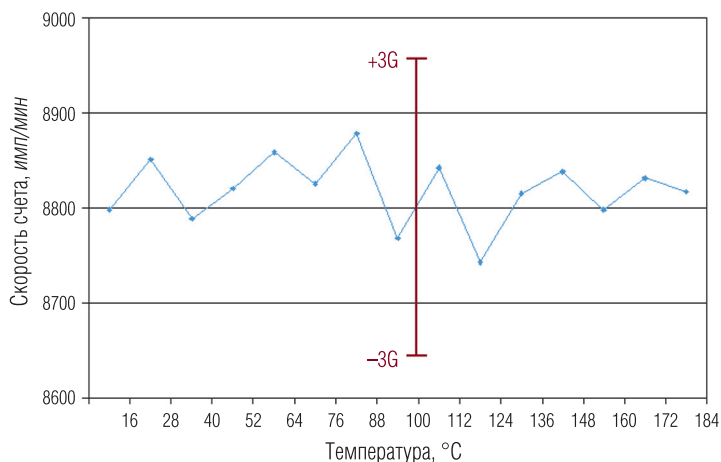


Рис. 12. Изменение скорости счета счетчика СМ 67Э при изменении температуры окружающей среды

счетной характеристики при изменении температуры в диапазоне 70–120 °C на уровне 10%. На основании этого данный счетчик был забракован к применению в скважинной аппаратуре НК для определения водородосодержания. В то же время включение в режиме пропорционального счета обеспечило стабильность данного параметра в пределах 1% (рис. 13), что несомненно является отличным показателем. При этом эффективность регистрации нейтронов в режиме пропорционального счета оказалась выше на 5–10%, что объясняется, очевидно, регистрацией в этом режиме практически всех нейтронов, проваимодействовавших со счетчиком.

По описанным выше методикам проверки были протестированы партии счетчиков СМ 56М и СМ 67Э производства ЭХП. Одновременно проводились аналогичные действия со счетчиками SAINT-GOBAIN 15He3/760/38HX, SAINT-GOBAIN 15He3/304/25HX, SAINT-GOBAIN 15He3/760/25HX, CENTRONIC 25He3/760/50HX, CENTRONIC 25He3/7304/50HX (первая цифра – длина рабочей части счетчика в см, He3 – рабочий газ, 304 и 760 – код давления рабочего газа 4 и 10 атм соответственно, последняя цифра – диаметр в мм). По тестируемым партиям можно отметить, что счетчики СМ 56М

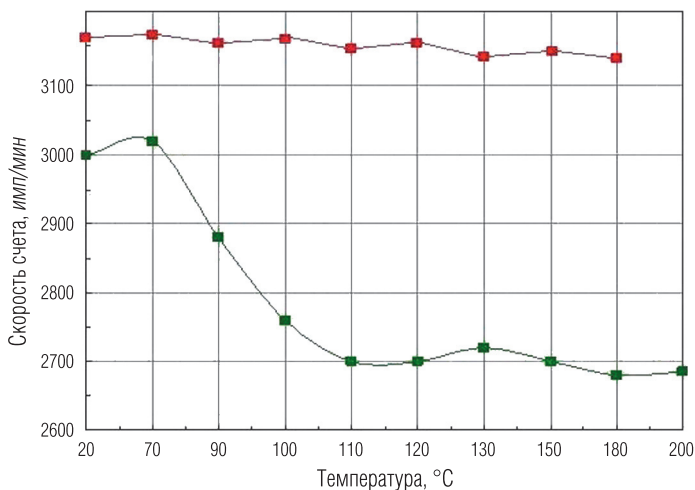


Рис. 13. Изменение скорости счета счетчика СНМ 56М № 0091 от температуры окружающей среды в режимах включения “коронного” разряда (зеленая кривая) и пропорционального счета (красная кривая)

и СНМ 67Э, по крайней мере по своим основным характеристикам (стабильность счетных характеристик при изменении температуры окружающей среды, амплитуда и длительность импульса полезного сигнала, отношение сигнал/шум), не уступают своим зарубежным аналогам.

Таким образом, применение нейтронных счетчиков СНМ 56М и СНМ 67Э производства ФГУП “Комбинат “Электрохимприбор” в режиме пропорционального счета позволяет существенно повысить их температурную стабильность, снизить фон и при этом сохранить действие существующих палеток. Отбраковка счетчиков в этом режиме включения (выпуск начиная с весны 2012 г.) на сегодня нулевая.

В настоящий момент на ЭХП проведена модернизация электровакуумного производства, счетчики СНМ 56М и СНМ 67Э изготавливаются серийно в количествах, достаточных для обеспечения потребностей отечественной геофизики, в 2013 г. предполагается постановка на серийное производство нейтронных счетчиков диаметром 25 и 50 мм и давлением рабочего газа до 10 атм. После того как этот этап будет успешно завершен, будет закрыта потребность

практически во всех типах нейтронных счетчиков для отечественной нефтегазовой геофизики.

*Рецензент научный руководитель направления ВНИИА им. Н. Л. Духова
Е. П. Боголюбов*