


ГЕНЕРАТОР РУБИДИЕВЫЙ  
RFS-M102  
Руководство по эксплуатации  
ГЖКД.433741.001 РЭ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
35644	 27.02.23			

## Содержание

1	Общие сведения о генераторе.....	3
1.1	Обзор функциональных возможностей генератора .....	3
1.1.1	Ключевые особенности RFS-M102.....	3
1.2	Аппаратное описание генератора.....	4
1.2.1	Коммуникационный интерфейс.....	4
1.2.2	Вводы.....	4
1.2.3	Выводы .....	5
1.2.4	Питание генератора.....	5
1.3	Функциональное описание генератора.....	6
1.4	Конфигурация генератора.....	8
2	Монтаж генератора .....	11
2.1	Меры предосторожности при монтаже генератора.....	13
2.2	Рекомендации по монтажу генератора .....	13
2.2.1	Предельные значения электрических параметров генератора, обеспеченных конструкцией .....	14
2.3	Последовательность запуска генератора.....	15
3	Эксплуатация генератора .....	16
3.1	Аналоговая перестройка частоты.....	16
3.2	Цифровая перестройка частоты .....	16
3.3	Перестройка частоты посредством 1 PPS сигнала .....	16
3.4	Информация о состоянии генератора .....	19
4	Описание протокола команд.....	20
5	Описание возможных неисправностей и методов их устранения .....	26
6	Правила хранения .....	26
7	Транспортирование.....	26
	Лист регистрации изменений .....	27

Инов. № подл.	Взамен инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата	Инов. № дубл.	Подп. и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ГЖКД.433741.001 РЭ</b>  <b>ГЕНЕРАТОР РУБИДИЕВЫЙ RFS-M102</b>  <b>Руководство по эксплуатации</b>			
Разраб.	БАРАНОВ		10.02.23					
Проверил	КУСОВ		10.02.23					
Н.контр.	СТАРОДУБ		16.02.23					
Утв.	МОЛОТОК		17.02.23		Литера.	Лист	Листов	
					A	2	27	


# 1 Общие сведения о генераторе

## 1.1 Обзор функциональных возможностей генератора

Генератор рубидиевый RFS-M102 (далее – RFS-M102, генератор) предназначен для воспроизведения высокостабильного сигнала с номинальной частотой 10 МГц. Данное изделие относится к классу пассивных квантовых генераторов, в которых высокая долговременная стабильность частоты выходного сигнала обеспечивается за счёт синхронизации частоты внутреннего опорного генератора с частотой атомного перехода в парах Rb<sup>87</sup>, слабо зависящей от внешних факторов, таких как магнитное поле, вибрация и температура окружающей среды, что является ключевым отличием данного изделия от традиционных кварцевых генераторов. Это свойство позволяет применять рубидиевые генераторы как источники высокостабильной частоты в условиях, где синхронизация по внешнему сигналу GPS/ГЛОНАСС не представляется возможной. В RFS-M102 предусмотрено несколько способов коррекции частоты: аналоговый (установкой напряжения в диапазоне от 0 до 5В на контакте #1), цифровой (передачей соответствующей команды по последовательному интерфейсу UART) и при помощи внешнего сигнала 1 PPS (1 Pulse Per Second (1 импульс в секунду)), поданного на контакт #1 (в этом случае, функция аналоговой корректировки отсутствует). При синхронизации по внешнему сигналу 1 PPS от навигационного приемника GPS/ГЛОНАСС в RFS-M102 сочетается характеристика кратковременной нестабильности частоты рубидиевого генератора с долговременной нестабильностью частоты опорного источника спутниковой навигационной системы, что, в большинстве применений, позволяет заменить приборы более высокого класса.

### 1.1.1 Ключевые особенности RFS-M102

- РЧ выход 10 МГц (прямоугольный LVCMOS или синусоидальный SIN);
- вход 1 PPS (или аналоговое управление частотой);
- выход 1 PPS;
- широкий диапазон рабочих температур от минус 55 °С до плюс 80 °С;
- прогрев менее 5 мин при (25 ± 5) °С;
- компактный корпус 51x51x25,4 мм<sup>3</sup>;
- совместимое с большинством кварцевых генераторов «аналогичного форм-фактора» назначение выводов.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата
35644	 27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист  
3



## 1.2 Аппаратное описание генератора

На крышку RFS-M102 нанесена маркировка, содержащая следующую информацию:

- название «ГЕНЕРАТОР РУБИДИЕВЫЙ» (или *RUBIDIUM FREQUENCY STANDARD при поставке на экспорт*);
- условное полное обозначение (по ТУ или спецификации);
- серийный номер генератора (первые 4 цифры номера означают две последние цифры года (в начале записи) и номер недели изготовления (в конце записи));
- товарный знак предприятия-изготовителя;
- знак чувствительности к статическому электричеству.

Содержание и способ нанесения маркировки могут быть изменены по согласованию с заказчиком.

### 1.2.1 Коммуникационный интерфейс

Для взаимодействия с аппаратурой потребителя в RFS-M102 предусмотрен встроенный последовательный интерфейс для передачи данных UART (линия приёма данных RXD и линия передачи данных TXD). Для подключения к аппаратуре потребителя необходимо обеспечить совместимость логических уровней сигналов приёмника и передатчика:

- уровни напряжения на контакте RXD, от 0 до 3.3В;
- уровни напряжения на контакте TXD, от 0 до 3.3В (обеспечивается конструкцией RFS-M102).

### 1.2.2 В в о д ы

RFS-M102 имеет один сигнальный ввод (контакт #1), который, в зависимости от варианта исполнения (Табл. 3), выполняет функцию:

- Входа аналогового управления частотой.
- Входа синхро-импульсов 1 PPS.

Требуемый вариант исполнения указывается при заказе генератора и не может быть изменен потребителем.

Ив. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №		Ив. № дубл.		Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата					Лист
									4

ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист

4

### 1.2.3 Выводы

RFS-M102 имеет следующие выводы:


- РЧ выход 10 МГц – контакт #3 (LVCMOS или SIN – выбирается при заказе);
- Совмещенный выход 1 PPS/сигнал захвата частоты LOCK – контакт #2 (корпус T1) и контакт #6 (корпус T2) (назначение может быть изменено пользователем самостоятельно);

### 1.2.4 Питание генератора

Питание RFS-M102 осуществляется от внешнего источника постоянного напряжения. Номинальное значение напряжения питания 12 В. В генераторе не предусмотрено отдельного тумблера включения, поэтому он начинает работать сразу после включения источника питания (цепь «+» с контактом #5, цепь «-» с контактом #4).

Корпус генератора и контакт #4 имеют электрическое соединение.

Не используемые контакты подключать к внешним цепям не следует.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
35644	 27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
ГЖКД. 433741.001РЭ				Лист
				5

### 1.3 Функциональное описание генератора

**Коммуникационный интерфейс** предназначен для конфигурирования и опроса состояния генератора при помощи внешнего оборудования посредством передачи поддерживаемых RFS-M102 команд. Ввод команд может осуществляться, например, при помощи стандартных программ-эмуляторов терминала с ПК. При этом, следует использовать следующие настройки терминала:

- скорость передачи данных, 9600 бит/с;
- длина пакета, 8 бит;
- без проверки на четность;
- один стоповый бит.


Команды позволяют потребителю:

- вкл./выкл. синхронизацию по 1PPS и управлять ее настройками;
- корректировать выходную частоту генератора в пределах  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ ;
- запрашивать текущий статус работы генератора;
- иные функции\*.

\*Полный список доступных пользователю команд приведен в разделе 4.

**Аналоговое управление** выходной частотой реализуется путём подачи на контакт #1 постоянного напряжения в пределах от 0 до 5 В, где 0 В соответствует минимальному значению частоты, а 5В – максимальному. Генераторы в этом варианте исполнения калибруются на номинальную частоту на заводе-изготовителе при напряжении на контакте #1 равном  $(2,5 \pm 0,1)$  В.

**Входные синхро-импульсы 1 PPS** следует подавать на тот же контакт #1, что и напряжение в случае аналогового управления частотой. При включенной функции синхронизации по 1PPS (по умолчанию, в базовом варианте исполнения она включена) сличение частот начинается после перехода RFS-M102 в состояние LOCKED (что означает успешную синхронизацию внутреннего опорного генератора и физического модуля RFS-M102). Аппаратная реализация функций аналогового управления или синхронизации по 1 PPS осуществляется только на заводе-изготовителе.


Инов. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
35644	 27.02.23			

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД. 433741.001РЭ	Лист
						6



**РЧ сигнал 10 МГц** появляется на контакте #3 сразу после подачи питания на RFS-M102 и запуска внутреннего опорного генератора. В состоянии SWEEP происходит поиск атомного резонанса, при этом частота выходного сигнала варьируется в пределах  $\pm 12 \cdot 10^{-6}$  от номинальной. При переходе в состояние LOCKED частота генератора варьируется в пределах  $\pm 0.005 \cdot 10^{-6}$  и эта нестабильность уменьшается по мере прогрева RFS-M102 и выхода его на «рабочий» режим.

**Выход 1 PPS** (контакт #2 (T1) или контакт #6 (T2)) логически совмещен с функцией индикатора состояния генератора (LOCKED). В состоянии SWEEP на контакте поддерживается постоянный высокий уровень напряжения. После перехода в состояние LOCKED генератор начинает формировать синхро-импульсы положительной полярности (логику работы можно менять и инвертировать при помощи команд (см. раздел 4)).

Инв. № подл. 35644	Подп. и дата  27.02.23	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
ГЖКД. 433741.001РЭ				Лист 7

## 1.4 Конфигурация генератора

Некоторые настройки RFS-M102 могут быть изменены при помощи команд последовательного интерфейса. К **программной конфигурации** относятся:

- назначение контакта #2 (T1) или контакта #6 (T2) (индикатор состояния LOCKED/1 PPS выход);
- включение/выключение синхронизации по внешним синхро-импульсам 1 PPS.

Аппаратная конфигурация осуществляется только заводом-изготовителем и задается условным обозначением при заказе.

К **аппаратной конфигурации** относятся:

- диапазон рабочих температур;
- вариант исполнения по нестабильности частоты в интервале рабочих температур;
- вариант исполнения по долговременной нестабильности частоты;
- функция контакта #1 (1 PPS вход или вход аналогового управления);
- вариант исполнения по форме выходного сигнала;
- вариант исполнения по типу корпуса;
- вариант исполнения по фазовым шумам и СКДО (Девияция Аллана).

Таблица 1 – Значения температурной нестабильности частоты в интервалах температуры среды при эксплуатации

Интервал температур среды при эксплуатации, °С, и его буквенное обозначение		Значение температурной нестабильности частоты генератора $df_i$ * (обозначение), не более		
		$\pm 3 \cdot 10^{-10}$ (03)	$\pm 2 \cdot 10^{-10}$ (02)	$\pm 1 \cdot 10^{-10}$ (01)
от - 10 до + 75**	HU	+	+	+
от - 40 до + 75**	EU	+	+	+
от - 10 до +80**	HW***	+	+	+
от - 40 до +80**	EW***	+	+	С
от - 55 до + 75**	BU	С	С	С


С – по предварительному согласованию

\*  $df_i = \pm (f_{\max} - f_{\min}) / 2f_{\text{ном}}$  в интервале температур среды при эксплуатации

\*\* верхняя температура интервала определяется температурой корпуса изделия

\*\*\* кроме варианта исполнения LN (Табл.3)

*Примечание* - Изделие может запускаться при температуре основания корпуса -10°C (-40°C, -55°C) и продолжать работу при температуре окружающей среды -10°C (-40°C, -55°C) с общим теплоотводом не более 5Вт.

Ив. № подл.	35644	Подп. и дата	 27.02.23
Взамен инв. №		Ив. № дубл.	
Подп. и дата		Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ


Лист

8



Таблица 2 – Относительное изменение частоты генератора на различных интервалах времени

Наименование параметра, единица измерения	Норма для вариантов исполнения	
	А	В
Относительное изменение рабочей частоты (долговременная нестабильность частоты), в пределах		
- за сутки через 1 сут. после включения	$\pm 20 \cdot 10^{-12}$	$\pm 20 \cdot 10^{-12}$
- за сутки через 3 сут. после включения	$\pm 20 \cdot 10^{-12}$	$\pm 4 \cdot 10^{-12}$
- за месяц через 30 дней после включения	$\pm 40 \cdot 10^{-11}$	$\pm 8 \cdot 10^{-11}$
- за год через 30 дней после включения	$\pm 10 \cdot 10^{-10}$	$\pm 5 \cdot 10^{-10}$
- за срок службы	$\pm 10 \cdot 10^{-9}$	$\pm 5 \cdot 10^{-9}$
Относительное изменение рабочей частоты, в пределах		
- за первый год хранения		$\pm 1 \cdot 10^{-9}$
- в течение срока сохраняемости		$\pm 10 \cdot 10^{-9}$
<i>Примечание - Годовая норма долговременной нестабильности частоты задаётся для интервала от 720 ч до 9 480 ч</i>		

Инв. № подл. 35644	Подп. и дата  27.02.23	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
-----------------------	--	---------------	--------------	--------------

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист


9

Таблица 3 – Обозначение дополнительных опций (вариантов исполнения)

Обозначение	Описание дополнительных опций (вариантов исполнения)
A	Вход аналогового управления*
LN	Улучшенные показатели спектральной мощности фазового шума и среднеквадратического относительного двухвыборочное отклонение частоты (СКДО, девиация Аллана)**
* Вход аналогового управления не совместим со стандартной функцией 1PPS входа	
**Табл. 4	

Таблица 4 – Значения электрических параметров для базового варианта исполнения и для варианта исполнения LN

Среднеквадратическое относительное двухвыборочное отклонение частоты (СКДО, девиация Аллана), не более		-	LN	
		$\sigma_t$		
- за 1 с		$5 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$	
- за 10 с		$2 \cdot 10^{-11}$	$7 \cdot 10^{-12}$	
- за 100 с		$5 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$	
Уровень спектральной плотности мощности фазовых шумов, дБн/Гц, не более при отстройке от несущей 10 МГц	$L(f)$	-	LN	
		10 Гц	- 85	- 90
		100 Гц	- 115	- 120
		1 000 Гц	- 130	- 140

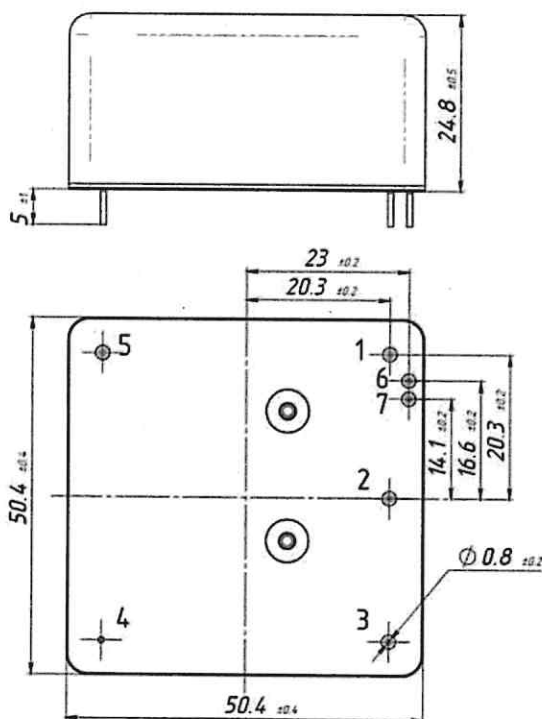
Инд. № подл.	35644	Подп. и дата	 27.02.23	Взамен инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
--------------	-------	--------------	--	---------------	--	--------------	--	--------------	--

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

## 2 Монтаж генератора

RFS-M102 имеет два варианта исполнения по типу корпуса T1 (Рис. 1) и T2 (Рис. 2).



Маркировка выводов показана условно

Вывод	Назначение
1	1 PPS вход (опционально – Аналоговый вход EFC IN)
2	1 PPS выход (установлен по умолчанию, или может быть назначена иная функция пользователем – см. описание команды #88)
3	Сигнальный выход
4	Сигнал и питание (-)
5	Питание (+)
6	TXD Передача
7	RXD Прием

Рисунок 1 – Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры генератора RFS-M102 в исполнении корпуса T1.

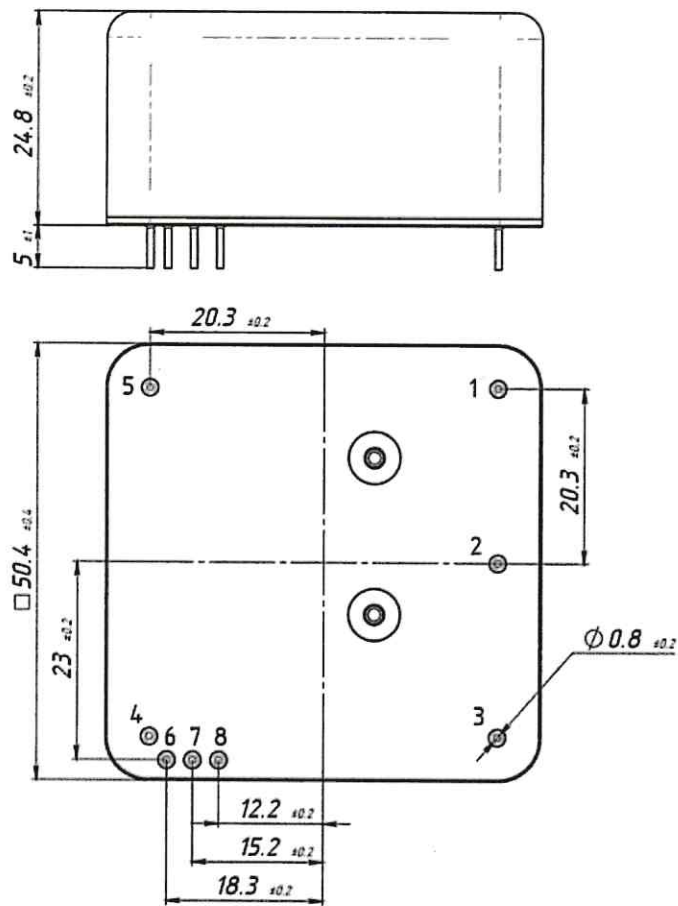
Инд. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №		Инд. № дубл.		Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата					

ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист

11





Маркировка выводов показана условно

Вывод	Назначение
1	1 PPS вход (опционально – Аналоговый вход EFC IN)
2	Не используется
3	Сигнальный выход
4	Сигнал и питание (-)
5	Питание (+)
6	1 PPS выход (установлен по умолчанию, или может быть назначена иная функция пользователем – см. описание команды #88)
7	TXD Передача данных
8	RXD Прием данных

Рисунок 2 – Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры генератора RFS-M102 в исполнении корпуса T2.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
35644	27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист  
12

## 2.1 Меры предосторожности при монтаже генератора

RFS-M102 является чувствительным к электростатическому разряду и поставляется в защитной упаковке. При монтаже генератора следует руководствоваться правилами электронной гигиены.

## 2.2 Рекомендации по монтажу генератора

Для апробации изделия и выработки потребителем конструкторских решений по встраиванию RFS-M102 в свою аппаратуру рекомендуется использовать плату квалификационную У32.240.332.

При выборе способа монтажа генератора следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- Все проводники от источников и до потребителей должны иметь минимальную длину.
- Генератор должен вплотную прилегать к печатной плате или специально сконструированному теплоотводу. Последний может понадобиться в тех случаях, когда рабочая температура окружающей среды генератора более 50 °С. Для обеспечения надежного термического контакта допускается использовать термопасты или подложки из теплопроводного материала (например, Sil-Pad 1600S или аналогичный).
- Следует избегать периодического прямого обдува генератора внутри оборудования потребителя. Такой обдув приводит к резким, неравномерным изменениям температуры корпуса и негативно отражается на стабильности частоты.
- При монтаже RFS-M102 все контакты генератора (в т.ч. неиспользуемые) следует паять в предназначенные для них контактные площадки (отверстия) в печатной плате.

Максимальное время пайки 5 с при температуре 350 °С. Максимальная допустимая статическая нагрузка на один контакт не более 1 Н.

Инв. № подл. 35644	Подп. и дата [подпись] 27.02.23	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист 13
					Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	

## 2.2.1 Предельные значения электрических параметров генератора, обеспеченных конструкцией

Таблица 5 (справочная) – Состав и значения электрических параметров, обеспеченных конструкцией генератора

Наименование параметра, единица измерения	Норма
Минимальная допустимая нагрузка на контакте 2 (Т1) и 6 (Т2), кОм, не менее	10
Электрические параметры входного синхронизирующего импульса 1PPS: - длительность импульса, мкс - время нарастания фронта (от 10 % до 90 %), не более, нс - допустимое значение напряжения синхроимпульса (лог. 1), В - допустимое значение напряжения синхроимпульса (лог. 0), В	от 0,1 до 499000 10 от 2,5 до 3,3 от 0 до 0,5
Электрические параметры выходного синхронизирующего импульса 1PPS: - длительность импульса, мкс - номинальное значение напряжения фронта импульса, В - выходное сопротивление, Ом, не более - время нарастания /спада (от 10 % до 90 %), при сопротивлении нагрузки не менее 1 МОм, емкости не более 15 пФ, нс, не более	от 10 до 100 3,3 200 10
Электрические параметры входа аналогового управления: - входное сопротивление, кОм, не менее - напряжение аналогового сигнала, В	10 от 0 до 5
Электрические параметры интерфейса коммуникации UART: - скорость передачи данных, бит/с - длина пакета, бит - проверка на четность - стоповый бит - уровни напряжение на контакте RX, В - уровни напряжения на контакте TX, В	9600 8 нет 1 от 0 до 3,3 от 0 до 3,3

Ив. № подл.	Ив. № дубл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Подп. и дата	Ив. № подл.
35644		<i>Р</i> 27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	

ГЖКД. 433741.001РЭ



## 2.3 Последовательность запуска генератора

При включении RFS-M102 выполняет последовательность действий, направленных на максимально быстрое достижение состояния LOCKED, когда частота встроенного опорного кварцевого генератора (и связанная с ним частота выходного сигнала) синхронизирована с частотой атомного резонанса в парах атомов рубидия. Необходимым условием для перехода в это состояние является достижение заданных температур спектральной лампы, являющейся источником оптической накачки, и паров рубидия в поглощающей ячейке. Этот период характеризуется максимальным потреблением генератора и длится, в зависимости от температуры окружающей среды, порядка 5 мин. По мере нагрева, при повышении плотности паров рабочего вещества добротность атомного резонанса возрастает, преодолевая записанное в ПЗУ пороговое значение. Если, при этом, частота зондирующего атомный резонанс радиополя (состояние SWEEP) совпадает с частотой атомного перехода, то генератор переходит в состояние LOCKED, характеризуемый непрерывной подстройкой опорного кварцевого генератора под частоту атомного резонанса при помощи цифрового ПИД-регулятора. Действительное значение частоты сигнала на выходе RFS-M102 продолжает меняться до окончания цикла прогрева и достижения теплового равновесия в узлах генератора. Типовая диаграмма стабилизации выходной частоты генератора представлена на Рис. 3.

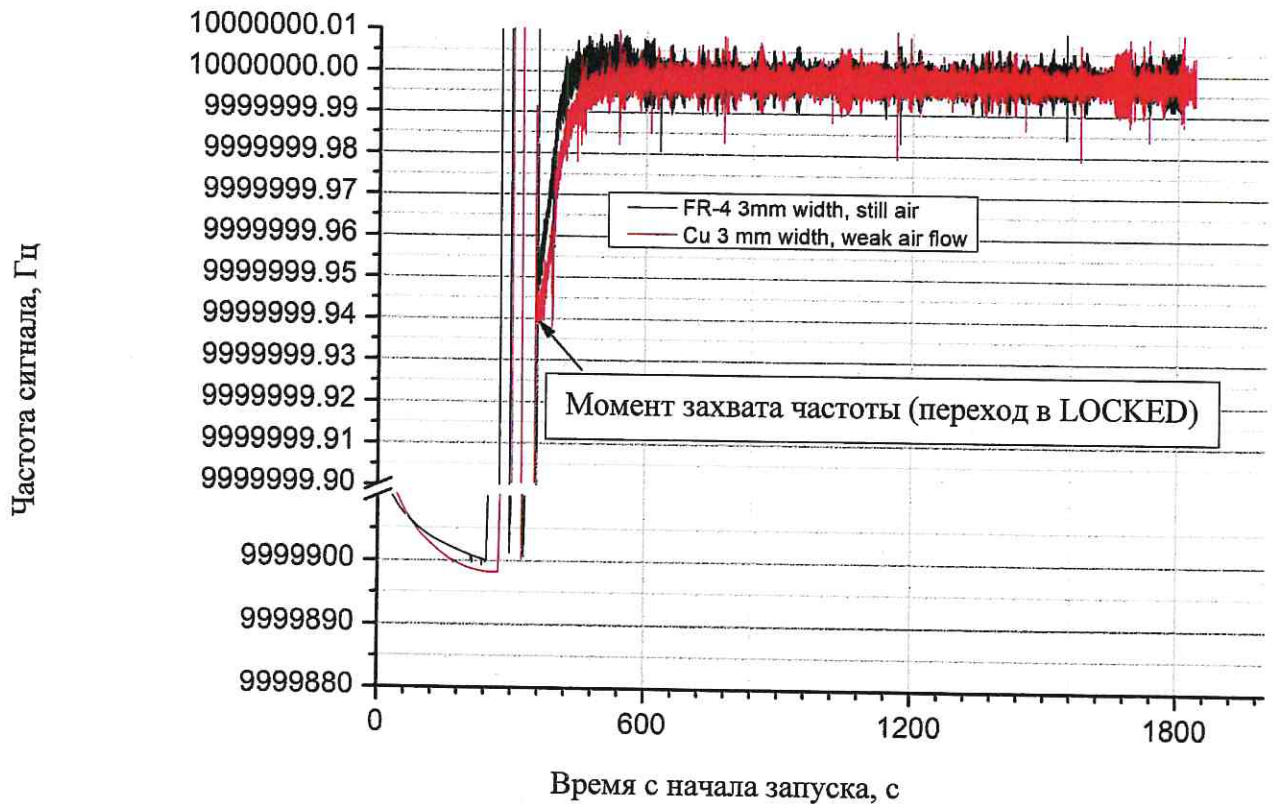


Рисунок 3. Типовая диаграмма стабилизации частоты сигнала после включения RFS-M102 при минус 40 °С в двух вариантах монтажа: на текстолит толщиной 3 мм с малым рассеянием тепла (чёрный график) и с повышенным рассеянием (красный график).

Инд. № подл. 35644	Подп. и дата [подпись] 27.02.23	Взамен инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
ГЖКД. 433741.001РЭ				Лист 15



### 3 Эксплуатация генератора

#### 3.1 Аналоговая перестройка частоты

Аналоговая перестройка частоты позволяет потребителю осуществлять корректировку частоты выходного сигнала в пределах  $\pm 1 \cdot 10^{-9}$  путём подачи постоянного напряжения от 0 до 5 В на контакт #1 RFS-M102. Подаваемое напряжение не квантуется по уровню, а поступает напрямую на источник тока, управляемый напряжением. Этот источник тока формирует в области поглощающей ячейки постоянное магнитное поле, необходимое для создания определенной энергетической структуры в атомах рубидия. Принцип действия аналоговой перестройки частоты основан на слабой зависимости частоты эталонного атомного перехода от величины магнитного поля (так называемый, эффект Зеемана).

#### 3.2 Цифровая перестройка частоты

Цифровая перестройка частоты RFS-M102 осуществляется путём отправки генератору команды смещения частоты, согласно последовательному протоколу передачи данных. В зависимости от выбранной команды, генератор сохранит смещение либо в ОЗУ, либо в ПЗУ. Номинальное значение шага перестройки частоты -  $1.6 \cdot 10^{-14}$ . Номинальный диапазон перестройки частоты -  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ . **Количество циклов записи в ПЗУ ограничено 10 000.**

#### 3.3 Перестройка частоты посредством 1 PPS сигнала

RFS-M102 имеет функцию синхронизации частоты и фазы выходного сигнала 10 МГц (и 1 PPS) по внешним синхро-импульсам 1 PPS. В базовом варианте исполнения (дополнительная опция «А» отсутствует) эта функция включена на аппаратном и программном уровнях. Генератор самостоятельно определяет наличие на входе синхро-импульсов, проверяет их период и запускает алгоритм синхронизации. Последовательность работы этого алгоритма можно описать следующим образом.

Алгоритм ожидает внутреннего состояния генератора LOCKED и прихода двух импульсов подряд с периодом  $1 \text{ с} \pm 500 \text{ нс}$ . Если разность фаз входного и внутреннего 1 PPS сигналов более 500 нс, то осуществляется синхронизация по фазе внутреннего 1 PPS сигнала генератора по второму пришедшему импульсу с допуском менее 500 нс. При этом внутренний 1 PPS сигнал жестко привязывается к фронту последнего внешнего импульса без подстройки частоты генератора. Это состояние является сигналом начала работы ПИД-регулятора, входными данными которого является скользящее среднее значение измеренного интервала времени между фронтами двух импульсов (входного синхро-импульса и внутреннего). Выходными данными ПИД-регулятора является откорректированное слово смещения частоты, которое с периодом 1 с передается в микросхему прямого цифрового синтеза, при помощи которой осуществляется корректировка выходного РЧ сигнала. Объем выборки для расчёта скользящего среднего значения (т.е. постоянной времени) задаётся командой последовательно интерфейса.

Инд. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №		Инд. № дубл.		Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД. 433741.001РЭ				Лист
									16


До заполнения буфера, вычисления осуществляются по собранному объему данных с усреднением по нему. Если набег фазы превышает 500 нс, то производится перезапуск алгоритма (ожидание импульсов, сведение фаз и т.д.). При отсутствии входных синхроимпульсов, в памяти генератора фиксируется последнее значение поправки частоты. Буфер усреднения очищается, если количество «плохих» импульсов превышает 16 шт. подряд. При восстановлении входного сигнала алгоритм перезапускается. Флаг успешной синхронизации в статус-регистре выставляется, если в течение установленного удвоенного времени усреднения разность фаз находилась в пределах  $\pm 50$  нс (например, для постоянной времени 16 секунд – это 32 секунды), а изменение частоты за 1 с, вырабатываемое ПИД-регулятором, в пределах  $\pm 1.6 \cdot 10^{-10}$ .

Выбор постоянной времени осуществляется из следующих принципов:

- для «шумных» сигналов, например, от простого приёмника GPS/ГЛОНАСС, постоянную времени следует увеличивать;
- для источников высокого уровня точности постоянную времени следует уменьшать;
- также её следует уменьшать, если целью применения синхро-импульсов является противодействие быстро меняющимся внешним воздействующим факторам (температурные флуктуации, удары и пр.).

Постоянная времени выбирается из массива: 1, 16, 128, 512, 2048, 8192, 32768 секунды при помощи команды 82.

В генераторе реализована функция записи текущего значения подстройки частоты 1 PPS в ПЗУ при помощи команды 18. Для считывания текущего значения подстройки 1 PPS из ОЗУ следует использовать команду 86. Текущую измеренную разность фаз входного и внутреннего сигналов 1 PPS можно узнать при помощи команды 87, которая возвращает значение в пикосекундах (в зависимости от выбранной постоянной времени, точность возвращаемых значений меняется). Эта функция предназначена только для информационных целей.

Инв. № подл. 35644	Подп. и дата  27.02.23	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
-----------------------	--	---------------	--------------	--------------

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ




Настройка коэффициентов ПИД-регулятора 1 PPS осуществляется при помощи команд 83, 84 и 85. Коэффициенты следует подбирать под тип источника внешнего 1PPS при помощи команд 87 (текущая разность фаз) и 86 (текущее значение подстройки частоты, связанной с синхронизацией по 1PPS сигналу) руководствуясь затухающим характером разброса этих значений. Рекомендуемые начальные значения коэффициентов ПИД-регулятора приведены в таблице 6.

Таблица 6 (справочная) – Рекомендуемые значения коэффициентов ПИД-регулятора

	Время усреднения (постоянная времени)		
	1 с*	16 с	128 с
Kp	100000*	100000	5000
Ki	2000*	2000	10
Kd	0*	0	-80

(\* ) Значения коэффициентов, установленные по умолчанию.

Инв. № подл. 35644	Подп. и дата  27.02.23	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
-----------------------	--	---------------	--------------	--------------

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

### 3.4 Информация о состоянии генератора

Для получения информации о текущей конфигурации и состоянии RFS-M102 следует использовать команду последовательного протокола, возвращающую статус-регистр генератора.

Назначение битов статус-регистра представлено в таблице 7:

Таблица 7 – Описание битов статус-регистра.

Номер бита в DEC	Номер бита в HEX	Наименование	Описание состояния
0	0	Не определен	
1..3	1..3	Не определен	
4	4	Разрешение нагрева лампы	1 - разрешен 0 -запрещён
5	5	Разрешение нагрева ячейки	1 - разрешен 0 -запрещён
6	6	Не определен	
7	7	Бит предназначен для настройки на заводе-изготовителе	
8..15	08..0F	Не определен	
16	10	Состояние захвата основной ФАПЧ	1 – захват 0 – захвата нет
17	11	Бит предназначен для настройки на заводе-изготовителе	
18	12	Бит предназначен для настройки на заводе-изготовителе	
19	13	Охлаждение лампы	0 – выключено 1 – включено
20	14	Состояние нагрева лампы	0 – лампа не нагрета/в процессе нагрева 1 – лампа нагрета
21	15	Состояние нагрева ячейки	0 – ячейка не нагрета/в процессе нагрева 1 – ячейка нагрета
22	16	Бит предназначен для настройки на заводе-изготовителе	
23	17	Состояние захвата ФАПЧ 1PPS	0 – захвата нет 1 – захват есть Состояние захват есть соответствует разности фаз не более $\pm 50$ нс в течение выбранной постоянной времени, умноженной на 2.
24	18	Функция выбора назначения для контакта #2 (T1) или #6 (T2)	0 – выключена 1- включена
25	19	Режим синхронизации по 1 PPS	0 – выключен 1 – включен
26	1A	Бит предназначен для настройки на заводе-изготовителе	
27..31	1B..1F	Не определен	

Ив. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

#### 4 Описание протокола команд

В этом разделе представлено описание команд последовательного интерфейса UART, поддерживаемых RFS-M102.

Интерфейс активируется автоматически в течение 5 с после включения генератора.

Каждая команда представляет из себя уникальную последовательность, начинающуюся с “?DEV:”, за которой следует идентификатор команды (2 байта) и символ ‘:’ или ‘?’ для команд установки и запроса соответственно (кроме случаев, описанных отдельно, например команда 18). Некоторые команды поддерживают только команду запроса данных или только установки данных. Далее, в случае команды установки следуют данные, которые пользователь планирует передать генератору. Завершается команда комбинацией символов CR/LF (перевод каретки, пропуск строки).

За исключением команды 01 и 02, во всех командах используемые символы должны быть ограничены “0123456789ABCDEF” (шестнадцатеричный формат данных).

Интервал между последовательными командами должен быть не менее 500 мс.

Если команда введена неверно или не существует RFS-M102 возвращает ответ:

«**WRONG COMMAND!!!**» (18 байт).

Все ответы RFS-M102 на команды-запросы возвращают 18 байт, кроме команды 02 (возвращает переменное количество байт) и команды 01 (возвращает переменное количество байт)

В случае успешного выполнения команды установки RFS-M102 возвращает ответ:


«**?DEV:OK**» (9 байт).

Все команды установки, кроме отдельно оговоренных, записывают данные одновременно в ОЗУ и ПЗУ и вступают в силу незамедлительно.

Все команды считывания, кроме отдельно оговоренных, считывают данные из ОЗУ.

Требования к физическому интерфейсу указаны в разделе 1.2.1

Перечень команд с описанием, доступных пользователям, приведен в таблице 8

Инв. № подл.	35644	Подп. и дата	 27.02.23	Взамен инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
--------------	-------	--------------	--	---------------	--	--------------	--	--------------	--

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------


ГЖКД. 433741.001РЭ

Лист  
20



Таблица 8 – Перечень команд, поддерживаемых генератором.

№	Название	Тип	Описание команды	Пример (О – отправлено, П – получено)
01	Номер генератора	Запрос	Команда предназначена для считывания короткого уникального номера генератора	О: ?DEV:01? П: ?DEV:01:MT0015
02	Версия ПО	Запрос	Команда предназначена для считывания текущей версии встроенного ПО. Возвращает 23 байта	О: ?DEV:02? П: ?DEV:02:V7.02
03	Статус регистр	Запрос	Команда предназначена для считывания статуса регистра генератора, согласно разделу 3.4	О: ?DEV:03? П: ?DEV:03:003580B0
13	Цифровая перестройка частоты с одновременной записью в ОЗУ и ПЗУ	Установка	Команда предназначена для установки смещения частоты выходного сигнала с одновременной записью в ОЗУ и ПЗУ. 1 бит соответствует 1.597E-14 части номинальной частоты выходного сигнала.	Расчёт данных для установки смещения плюс 1Гц: $X = \text{dec2hex}(\text{int}(1 \text{ Гц} / 10000000 \text{ Гц} / 1.597 \text{e-}14)) = 5F8BED \text{ h}$ <i>h – обозначение числа в шестнадцатеричном представлении</i>  Команда для отправки: О: ?DEV:13:005F8BED П: ?DEV:OK  Расчёт данных для установки смещения минус 0.05Гц: $X = \text{dec2hex}(\text{int}(-0,05 \text{ Гц} / 10000000 \text{ Гц} / 1.597 \text{e-}14)) = \text{FFFB3901} \text{ h}$ Команда для отправки: О: ?DEV:13:FFFB3901 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания текущего значения смещения частоты из ПЗУ	Если текущее записанное в ПЗУ смещение частоты соответствует минус 0.05Гц: О: ?DEV:13? П: ?DEV:13:FFFB3901

Инв. № подл.	35644
Подп. и дата	 27.02.23
Взамен инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
35644	27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

№	Название	Тип	Описание команды	Пример (О – отправлено, П – получено)
14	Цифровая перестройка частоты с записью в ОЗУ	Установка	Команда предназначена для установки смещения частоты выходного сигнала с записью в ОЗУ. 1 бит соответствует 1.597E-14 части номинальной частоты выходного сигнала.	Расчёт данных для установки смещения плюс 1Гц: $X = \text{dec2hex}(\text{int}(1 \text{ Гц} / 10000000 \text{ Гц} / 1.597 \text{e-}14)) = 5F8BED \text{ h}$ <i>h – обозначение числа в шестнадцатеричном представлении</i>  Команда для отправки: О: <b>?DEV:14:005F8BED</b> П: <b>?DEV:OK</b>  Расчёт данных для установки смещения минус 0.05Гц: $X = \text{dec2hex}(\text{int}(-0,05 \text{ Гц} / 10000000 \text{ Гц} / 1.597 \text{e-}14)) = \text{FFFB3901} \text{ h}$ Команда для отправки: О: <b>?DEV:14:FFFB3901</b> П: <b>?DEV:OK</b>
		Запрос	Команда предназначена для считывания текущего значения смещения частоты из ОЗУ. Если на момент запуска генератора в ПЗУ хранилось значение смещения частоты, отличное от нулевого, то при запуске в ОЗУ запишется значение из ПЗУ	Если текущее записанное в ОЗУ смещение частоты соответствует минус 0.05Гц: О: <b>?DEV:14?</b> П: <b>?DEV:14:FFFB3901</b>
18	Калибровка по 1PPS	Запрос	Команда предназначена для сохранения в ПЗУ текущего значения смещения частоты, рассчитанного на основании синхронизации частоты генератора с внешним сигналом 1PPS	О: <b>?DEV:18?</b> П: <b>?DEV:OK</b>

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
35644	27.02.23			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

№	Название	Тип	Описание команды	Пример (О – отправлено, П – получено)
19	Основной бит статус-регистра	Установка	Команда предназначена для выбора бита статус-регистра для последующего мультиплексирования его на контакт #2 (T1) или #6 (T2) генератора при помощи команды 88. В поле данных указывается номер бита в шестнадцатеричном формате из диапазона 00..1F. По умолчанию, выбран бит LOCK	Для установки бита состояния захвата ФАПЧ 1 PPS в качестве основного: О: ?DEV:19:00000017 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания номера текущего бита статус-регистра, выбранного в качестве основного.	О: ?DEV:19? П: ?DEV:19: 00000017
81	Включение/выключение синхронизации по 1PPS	Установка	Команда предназначена для включения/выключения подстройки частоты и фазы выходного сигнала генератора по внешним синхроимпульсам 1PPS. 00000001 – включение; 00000000 – выключение	О: ?DEV:81:00000001 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания текущего состояния функции подстройки частоты и фазы выходного сигнала генератора по внешним синхроимпульсам.	О: ?DEV:81? П: ?DEV:81:00000001



Инва. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
---------------	-------	--------------	----------	---------------	--	--------------	--	--------------	--

№	Название	Тип	Описание команды	Пример (О – отправлено, П – получено)
82	Постоянная времени для синхронизации по 1PPS	Установка	Команда предназначена для установки постоянной времени синхронизации: 0: 1 с; 1: 16 с; 2: 128 с; 3: 512 с; 4: 2048 с; 5: 8192 с; 6: 32768 с.	О: ?DEV:82:00000006 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания постоянной времени синхронизации.	О: ?DEV:82? П: ?DEV:82:00000006
83	1PPS интегральный коэффициент ПИД-регулятора	Установка	Команда предназначена для установки интегрального члена ПИД-регулятора.	?DEV:83:7FFFFFFF – максимальное положительное значение, ?DEV:83:FFFFFFFF – минимальное отрицательное значение О: ?DEV:83:000003E8 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания интегрального члена ПИД-регулятора	О: ?DEV:83? П: ?DEV:83:000003E8
84	1PPS пропорциональный коэффициент ПИД-регулятора	Установка	Команда предназначена для установки пропорционального члена ПИД-регулятора.	?DEV:84: 7FFFFFFF – максимальное положительное значение, ?DEV:84: FFFFFFFF – минимальное отрицательное значение О: ?DEV:84:000003E8 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания пропорционального члена ПИД-регулятора	О: ?DEV:84? П: ?DEV:84:000003E8
85	1PPS дифференциальный коэффициент ПИД-регулятора	Установка	Команда предназначена для установки дифференциального члена ПИД-регулятора.	?DEV:85: 7FFFFFFF – максимальное положительное значение, ?DEV:85: FFFFFFFF – минимальное отрицательное значение О: ?DEV:85:000003E8 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания дифференциального члена ПИД-регулятора	О: ?DEV:85? П: ?DEV:85:000003E8

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

Инв. № подл.	35644	Подп. и дата	27.02.23	Взамен инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
--------------	-------	--------------	----------	---------------	--	--------------	--	--------------	--

№	Название	Тип	Описание команды	Пример (О – отправлено, П – получено)
86	Смещение частоты, связанное с 1PPS синхронизацией	Запрос	Команда предназначена для считывания из ОЗУ текущего значения частотной коррекции в режиме синхронизации по 1 PPS. 1 бит соответствует 1.597E-14 частям частоты 10 МГц	О: ?DEV:86? П: ?DEV:86:000003FF  такое возвращенное значение соответствует смещению частоты: 1023x1.597E-14= ~1.663E-11
		Установка	Команда предназначена для сброса текущего значения частотной коррекции в 0. Значение будет записано только в ОЗУ. Для записи в ПЗУ следует применить команду #18	О: ?DEV:86:00000000 П: ?DEV:OK
87	Разность фаз 1PPS входного и выходного сигналов	Запрос	Команда возвращает текущее значение разности фаз. Один бит соответствует 1 пс.	О: ?DEV:87? П: ?DEV:87:00000003
88	Режим работы контакта #2 (для корпуса T1) или #6 (для корпуса T2)	Установка	Команда предназначена для выбора режима работы контакта #2(T1) или #6 (T2): 1: 1PPS выход; 2: Инв-ный 1PPS выход; 3: Постоянный высокий уровень; 4: Постоянный низкий уровень; 5: Выбранный основной бит статус-регистра; 6: Инвертированный основной бит статус-регистра.	О: ?DEV:88:00000006 П: ?DEV:OK
		Запрос	Команда предназначена для считывания текущего режима работы контакта #2(T1) или #6(T2).	О: ?DEV:88? П: ?DEV:88:00000006

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ГЖКД. 433741.001РЭ

## 5 Описание возможных неисправностей и методов их устранения

Если RFS-M102 не переходит в состояние LOCKED или не отвечает на команды, переданные по последовательному интерфейсу, убедитесь в следующем:

- напряжение непосредственно на контакте #5 находится в пределах допустимых значений;
- ограничение тока, установленное (или поддерживаемое) источником питания задано больше пикового тока потребления генератора;
- температура корпуса генератора находится в пределах допустимых значений;
- настройки физического уровня интерфейса UART соответствуют требованиям настоящего руководства.

## 6 Правила хранения


Хранение генератора проводится в штатной транспортной таре в хранилищах с регулируемыми параметрами, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 15150-69 и обеспечивающими защиту от воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения, ветра, рассеянного солнечного излучения и отсутствие конденсации влаги за счет искусственного регулирования в установленных пределах параметров температуры и/или влажности.

## 7 Транспортирование

Для упаковки RFS-M102 при транспортировании используются амортизирующие прокладки.

Перед транспортированием генератор упаковывают в антистатический пакет и устанавливают в штатную тару. Свободное пространство также заполняется амортизирующими прокладками, либо амортизирующим насыпным материалом.

При транспортировании должна быть предусмотрена защита от попадания атмосферных осадков.

Инд. № подл. 35644	Подп. и дата  27.02.23	Взамен инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата
-----------------------	--	---------------	--------------	--------------

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ГЖКД. 433741.001РЭ	Лист
						26



