

Перечень телеметрических параметров модуля БИНС «Миландр»

Версия ПМО: 182

АО «Миландр», 2022

Оглавление

Перечень сокращений.....	2
1 Данные физических датчиков до усреднения по группам в оси	3
2 Данные датчиков после усреднения по группам в оси.....	4
3 Атмосферное давление и температура датчика давления.....	5
4 Слова признаков отказа датчиков.....	6
5 Прочие raw-параметры	9
6 Комплексируемые выходные величины: углы, скорости, координаты	10
7 Инерциальные выходные величины: углы, скорости, координаты	10
8 Параметры экземпляра модуля	11
9 Системные параметры работы модуля.....	11
10 Подсистема курсовертикали	12
10.1 Инклинометр	12
10.2 Блок расчета магнитного угла рыскания	12
10.3 Гирофильтры	13
10.4 Коррекция угла рыскания: метод	13
10.5 Коррекция угла рыскания: оценка дрейфа при неподвижном модуле	13
10.6 Коррекция угла рыскания: оценка угла по данным о скоростях.....	14
11 Подсистема БИНС.....	14
11.1 Дополнительная обработка данных ДУС	14
11.2 Поправки к инерциальным координатам и скоростям	14
11.3 Преобразование «давление-высота»	15
11.4 Модуль оценки ошибок углов отклонения от горизонта и дрейфов ДУС по данным о координатах.....	15
11.5 Параметры, фиксируемые в момент обнаружения переднего фронта сигнала метки времени	15
11.6 «Объективные» координаты и скорости, использованные для выработки корректирующих поправок	15
12 «Объективные» данные о координатах и скоростях	16
12.1 Режим работы с «объективными» данными.....	16
12.2 Данные, получаемые по UART с модуля uBlox.....	18
12.3 Данные, получаемые по шине SPI.....	18
13 Прочие данные, принимаемые по шине SPI.....	19
14 Алфавитный указатель	20

Перечень сокращений

ССК — связанная система координат модуля

ПМО — программно-математическое обеспечение модуля

ТМ — телеметрия, телеметрический

1 Данные физических датчиков до усреднения по группам в оси

Для любого телеметрического параметра в этой группе значение очередной точки данных вырабатывается следующим образом:

- значение физического параметра, фиксируемого соответствующим датчиком, суммируется на протяжении 50 периодов основного цикла опроса датчиков или периодов внешнего сигнала синхронизации, в зависимости от установленного пользователем режима работы модуля;

- полученная сумма делится на 50, формируя значение, усредненное по времени;

- к полученному усредненному значению применяются все соответствующие фабричные калибровочные и корректирующие коэффициенты.

Нормальная частота записи параметров составляет $5000/50=100$ Гц, где 5000 — частота выполнения основного цикла опроса датчиков, Гц.

Имя параметра	Описание
phy_accel_X1, м/с ² phy_accel_X2, м/с ² phy_accel_X3, м/с ² phy_accel_X4, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси X ССК, м/с ² , по данным акселерометров по оси X №№1..4 соответственно
phy_accel_Y1, м/с ² phy_accel_Y2, м/с ² phy_accel_Y3, м/с ² phy_accel_Y4, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси Y ССК, м/с ² , по данным акселерометров по оси Y №№1..4 соответственно
phy_accel_Z1, м/с ² phy_accel_Z2, м/с ² phy_accel_Z3, м/с ² phy_accel_Z4, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси Z ССК, м/с ² , по данным акселерометров по оси Z №№1..4 соответственно
phy_omega_X1, гр/с phy_omega_X2, гр/с phy_omega_X3, гр/с phy_omega_X4, гр/с	Угловая скорость по оси X ССК, гр/с, по данным ДУС по оси X №№1..4 соответственно
phy_omega_Y1, гр/с phy_omega_Y2, гр/с phy_omega_Y3, гр/с phy_omega_Y4, гр/с	Угловая скорость по оси Y ССК, гр/с, по данным ДУС по оси Y №№1..4 соответственно
phy_omega_Z1, гр/с phy_omega_Z2, гр/с phy_omega_Z3, гр/с phy_omega_Z4, гр/с	Угловая скорость по оси Z ССК, гр/с, по данным ДУС по оси Z №№1..4 соответственно
phy_magn_X, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси X ССК, мГс

Имя параметра	Описание
phy_magn_Y, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси Y ССК, мГс
phy_magn_Z, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси Z ССК, мГс
phy_temp_X, гр.С	Показания «аналогового» датчика температуры по оси X модуля, гр. Цельсия
phy_temp_Y, гр.С	Показания «аналогового» датчика температуры по оси Y модуля, гр. Цельсия
phy_temp_Z, гр.С	Показания «аналогового» датчика температуры по оси Z модуля, гр. Цельсия
phy_nonzeroCompens, гр/с	Значение величины компенсации ненуля для выбранного разработчиком ДУСа в выбранной оси

2 Данные датчиков после усреднения по группам в оси

Для любого телеметрического параметра в этой группе значение очередной точки данных вырабатывается следующим образом:

- значение физического параметра, фиксируемого соответствующим физическим датчиком в определенной оси, суммируется для каждого датчика индивидуально на протяжении N периодов основного цикла опроса датчиков или периодов внешнего сигнала синхронизации, в зависимости от установленного пользователем режима работы модуля, где N — величина коэффициента децимации, выбранная пользователем и определяющая частоту решения навигационной задачи;

- каждая полученная сумма делится на N, формируя значение, усредненное по времени;

- к полученным усредненным значениям применяются все соответствующие фабричные калибровочные и корректирующие коэффициенты, индивидуально для каждого из датчиков в каждой из осей;

- для акселерометров и ДУС вычисляется среднее значение по 4 датчикам в группе одной оси, для магнитометров — берется само это среднее значение, так как группа магнитометров в каждой оси состоит из одного магнитометра;

- к полученным средним значениям в группе применяются корректировочные и калибровочные коэффициенты, заданные пользователем, в порядке и в соответствии с формулами, описанными в «Техническом описании...» на модуль.

Нормальная частота записи параметров равна частоте решения навигационной задачи, и составляет $5000/N$ Гц, где 5000 — частота выполнения основного цикла опроса датчиков, Гц, N — величина коэффициента децимации, выбранная пользователем.

Приставка **raw_** («сырые») отражает тот факт, что эти величины, являясь входными для алгоритма расчетов, содержат значения параметров, которые еще не откорректированы с учетом оценок их ошибок в данном включении. Такие оценки вырабатываются и обновляются алгоритмом расчетов в каждом включении. Соответственно, вычисления производятся на основе «исправленных» значений, отличных от «сырых».

Имя параметра	Описание
raw_accel_X, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси X ССК, м/с ² , после учета пользовательских поправок
raw_accel_Y, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси Y ССК, м/с ² , после учета пользовательских поправок
raw_accel_Z, м/с ²	Кажущееся ускорение по оси Z ССК, м/с ² , после учета пользовательских поправок
raw_omega_X, гр/с	Угловая скорость по оси X ССК, гр/с, после учета пользовательских поправок
raw_omega_Y, гр/с	Угловая скорость по оси Y ССК, гр/с, после учета пользовательских поправок
raw_omega_Z, гр/с	Угловая скорость по оси Z ССК, гр/с, после учета пользовательских поправок
raw_magn_X, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси X ССК, мГс, после учета пользовательских поправок
raw_magn_Y, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси Y ССК, мГс, после учета пользовательских поправок
raw_magn_Z, мгаусс	Напряженность магнитного поля по оси Z ССК, мГс, после учета пользовательских поправок

3 Атмосферное давление и температура датчика давления

Параметры в этой группе физически снимаются с датчиков с частотой 50 Гц, но подвергаются той же процедуре усреднения по времени, что и остальные raw-параметры, с частотой, равной частоте выполнения основного цикла опроса датчиков, 5000 Гц, или с частотой внешнего сигнала синхронизации, в зависимости от установленного пользователем режима работы модуля. При этом если новое показания от датчика не получено в данном цикле опроса, для расчетов усреднения используется имеющееся значение, полученное в момент предыдущего съема показаний с датчика.

Поэтому если частота решения навигационной задачи выше, чем 50 Гц, то в телеметрии значения этих параметров перед тем, как измениться, повторяются несколько раз. Если частота решения задачи ниже 50 Гц, в телеметрию записывается результат усреднения показаний датчиков за соответствующее количество периодов основного цикла опроса, полученный в соответствии с логикой, описанной выше.

Имя параметра	Описание
raw_atmPressure, мбар	Данные датчика атмосферного давления БЧЭ, мбар (гПа)
raw_digitalTemperature, гр.С	Температура датчика атмосферного давления, гр. Цельсия

4 Слова признаков отказа датчиков

Имя параметра	Описание
raw_failureFlags_gyro	<p>Битовое поле, слово признаков отказа ДУС. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ ДУС №1 по оси X ССК; • 0x2 — отказ ДУС №2 по оси X ССК; • 0x4 — отказ ДУС №3 по оси X ССК; • 0x8 — отказ ДУС №4 по оси X ССК; • 0x10 — отказ ДУС №1 по оси Y ССК; • 0x20 — отказ ДУС №2 по оси Y ССК; • 0x40 — отказ ДУС №3 по оси Y ССК; • 0x80 — отказ ДУС №4 по оси Y ССК; • 0x100 — отказ ДУС №1 по оси Z ССК; • 0x200 — отказ ДУС №2 по оси Z ССК; • 0x400 — отказ ДУС №3 по оси Z ССК; • 0x800 — отказ ДУС №4 по оси Z ССК.
raw_failureFlags_accl	<p>Битовое поле, слово признаков отказа акселерометров. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ акселерометра №1 по оси X ССК; • 0x2 — отказ акселерометра №2 по оси X ССК; • 0x4 — отказ акселерометра №3 по оси X ССК; • 0x8 — отказ акселерометра №4 по оси X ССК; • 0x10 — отказ акселерометра №1 по оси Y ССК; • 0x20 — отказ акселерометра №2 по оси Y ССК; • 0x40 — отказ акселерометра №3 по оси Y ССК; • 0x80 — отказ акселерометра №4 по оси Y ССК; • 0x100 — отказ акселерометра №1 по оси Z ССК; • 0x200 — отказ акселерометра №2 по оси Z ССК; • 0x400 — отказ акселерометра №3 по оси Z ССК; • 0x800 — отказ акселерометра №4 по оси Z ССК.

raw_failureFlags_misc	<p>Битовое поле, слово признаков отказа иных датчиков. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ «аналогового» термометра по оси X ССК; • 0x2 — отказ «аналогового» термометра по оси Y ССК; • 0x4 — отказ «аналогового» термометра по оси Z ССК; • 0x8 — отказ «цифрового» термометра; • 0x10 — отказ бародатчика; • 0x20 — отказ магнитометра по оси X ССК; • 0x40 — отказ магнитометра по оси Y ССК; • 0x80 — отказ магнитометра по оси Z ССК.
raw_failureFlags_other	<p>Битовое поле, слово признаков прочих ошибок. Возможное значение: 0x1 — ошибка чтения серийного номера модуля</p>
failuresWord_accls_X	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси X ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_accls_Y	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси Y ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

failuresWord_accls_Z	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси Z ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_X	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси X ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_Y	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси Y ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_Z	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси Z ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_magn	<p>Слова детальных признаков отказа магнитометров:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа магнитометра по оси X ССК • биты 8..15 — слово признаков отказа магнитометра по оси Y ССК • биты 16..23 — слово признаков отказа магнитометра по оси Z ССК <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

failuresWord_analogT	<p>Слова детальных признаков отказа «аналоговых» термометров:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа термометра №1 (по оси X) • биты 8..15 — слово признаков отказа термометра №2 (по оси Y) • биты 16..23 — слово признаков отказа термометра №3 (по оси Z) <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_others	<p>Слова детальных признаков отказа прочих датчиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа «цифрового» термометра (в блоке бародатчика) • биты 8..15 — слово признаков отказа бародатчика <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

Расшифровка 8-битного слова отказов для любого из датчиков

Биты	Описание
[7:4]	Резерв
3	«Отказ по критерию отклонения от медианы»: отклонение показаний данного датчика от медианного значения в группе датчиков превысило в ту или иную сторону заданный порог отклонения
2	«Отказ по критерию «заморозки» показаний»: показания датчика сохранялись неизменными в течение времени большего, чем предельно допустимое
1	«Отказ по итогам встроенного самоконтроля»: обнаружен отказ датчика по итогам встроенного самоконтроля после подачи питания или перезапуска модуля
0	«Повреждены или недоступны данные заводской калибровки»: данные заводской калибровки не удалось считать или их контрольная сумма неверна

5 Прочие raw-параметры

Имя параметра	Описание
raw_isArtificial	<p>Признак того, что raw-данные являются сгенерированными, а не снятым с датчиков.</p> <p>Активизируется на время записи пользовательских настроек во встроенную флэш-память модуля.</p> <p>Необходимость генерации данных в это время обусловлена невозможностью взаимодействия с датчиками во время записи во флэш-память модуля.</p>

6 Комплексированные выходные величины: углы, скорости, координаты

Параметры ниже есть комплексированные значения соответствующих величин, каждая из которых представляет собой сумму а) чисто инерциальной величины параметра и б) оценки ошибки этой величины, выработанной на основании «объективных» значений связанных параметров, полученных из иных источников, чем измерения первичными инерциальными датчиками.

Эти значения соответствуют выходным величинам, передаваемым модулем при запросе соответствующих параметров по шине SPI.

Точка старта — координаты, переданные пользователем и использованные модулем при переходе из режима курсовертикали в режим БИНС для инициализации расчетов БИНС.

Имя параметра	Описание
angle_complex_Gamma, гр	Угол крена, гр.
angle_complex_Psi, гр	Угол рыскания, гр.
angle_complex_Theta, гр	Угол тангажа, гр.
v_complex_N, м/с	Северная составляющая путевой скорости, м/с
v_complex_H, м/с	Вертикальная составляющая земной скорости, м/с
v_complex_E, м/с	Восточная составляющая путевой скорости, м/с
coord_Phi, гр	Географическая широта, гр.
coord_H, м	Высота над референц-эллипсоидом, м
coord_Lambda, гр	Географическая долгота, гр.
way_complex_N, м	Смещение от точки старта на север, м
way_complex_H, м	Смещение от точки старта по высоте, м
way_complex_E, м	Смещение от точки старта на восток, м

7 Инерциальные выходные величины: углы, скорости, координаты

Параметры ниже передают значения соответствующих величин, получаемых в ходе расчетов на основании показаний исключительно инерциальных датчиков (в ходе работы подсистемы инерциальных расчетов).

Резкие скачки значений этих параметров соответствуют моментам, когда накопленные оценки ошибок внедряются в подсистему инерциальных расчетов перед началом очередного цикла оценки ошибок.

Имя параметра	Описание
angle_inert_Gamma, гр	Угол крена, гр.
angle_inert_Psi, гр	Угол рыскания, гр.
angle_inert_Theta, гр	Угол тангажа, гр.
v_inert_N, м/с	Северная составляющая путевой скорости, м/с
v_inert_H, м/с	Вертикальная составляющая земной скорости, м/с
v_inert_E, м/с	Восточная составляющая путевой скорости, м/с
way_inert_N, м	Смещение от точки старта на север, м
way_inert_H, м	Смещение от точки старта по высоте, м
way_inert_E, м	Смещение от точки старта на восток, м

8 Параметры экземпляра модуля

Эти параметры записываются однократно в начале каждого файла телеметрии, создаваемого в ходе работы модуля.

Имя параметра	Описание
serial No	Серийный номер модуля
firmware_version_math	Версия основного алгоритма, реализованного в ПМО модуля
firmware_version_build	Версия ПМО
firmware_date	Дата компиляции ПМО
firmware_time	Время компиляции ПМО

9 Системные параметры работы модуля

Параметры, связанные с работой модуля в целом.

Имя параметра	Описание
time, с	Время с момента подачи питания или с момента перезапуска модуля, с
dutyCycle, %	Средняя загрузка ядра микропроцессора модуля за период 0,1 с, %
binsMode	Текущий режим работы модуля: <ul style="list-style-type: none"> • 0 — инициализация курсовертикали; • 1 — режим «курсовертикаль»;

Имя параметра	Описание
	<ul style="list-style-type: none"> • 2 — режим «БИНС».
binsReqMode	Запрошенный пользователем режим работы модуля. Расшифровка та же, что для параметра binsMode.
ekf_cnfg	Значение SPI-регистра слова конфигурации модуля EKF_CNFG. Для расшифровки значений см. «Техническое описание...» модуля.
spiReg_FNCTIO_CTRL	Значение SPI-регистра FNCTIO_CTRL. Для расшифровки значений см. «Техническое описание...» модуля.

10 Подсистема курсовертикали

Большинство телеметрических параметров, относящиеся к подсистеме курсовертикали, начинаются с префикса **cv_**: «курсовертикаль».

Все перечисленные ниже параметры в норме записываются с частотой решения навигационной задачи.

10.1 Инклинометр

Параметры инклинометра — блока акселерометрической оценки углов крена и тангажа.

Имя параметра	Описание
cv_incl_IsDisturbance	Признак возмущенности движения (недостоверности данных инклинометра): <ul style="list-style-type: none"> • 0 — нет возмущения, данные достоверны; • 1 — обнаружено возмущение, данные недостоверны.
cv_incl_Gamma, гр cv_incl_Theta, гр	Оценки углов крена и тангажа соответственно, гр

10.2 Блок расчета магнитного угла рыскания

Имя параметра	Описание
cv_magn_Psi, гр	Магнитный угол рыскания, гр
cv_magn_IsDisturbance	Признак возмущенности движения (недостоверности данных магнитного угла рыскания): <ul style="list-style-type: none"> • 0 — нет возмущения, данные достоверны; • 1 — обнаружено возмущение, данные

Имя параметра	Описание
	недостоверны.

10.3 Гирофильтры

Имя параметра	Описание
cv_corr_err_Gamma, гр cv_corr_err_Psi, гр cv_corr_err_Theta, гр	Величина оценки ошибки угла в канале крена, рыскания и тангажа соответственно, гр
cv_corr_emb_drf_Gamma, гр/ч cv_corr_emb_drf_Psi, гр/ч cv_corr_emb_drf_Theta, гр/ч	Величина оценки дрейфа «виртуального ДУС» в канале крена, рыскания и тангажа соответственно, гр/час

10.4 Коррекция угла рыскания: метод

Имя параметра	Описание
cv_yaw_corr_method	<p>Варианты источника и алгоритма коррекции угла рыскания:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 — инициализация и коррекция угла рыскания и дрейфа в канале рыскания по данным об «объективном» угле рыскания, принимаемым по шине SPI; • 1 — инициализация угла рыскания по данным магнитного компаса, с однократной оценкой дрейфа в канале рыскания сразу после запуска системы, в предположении о неподвижности модуля; • 2 — инициализация и дальнейшая коррекция и угла рыскания, и дрейфа в канале рыскания по данным магнитного компаса; • 3 — коррекция угла рыскания по расчетным данным, основанным на его оценке через соотношение величин северной и восточной скоростей, принимаемых с приемника GPS либо по шине SPI.

10.5 Коррекция угла рыскания: оценка дрейфа при неподвижном модуле

Имя параметра	Описание
cv_corr_iy_psiCorr, гр	Величина коррекции для инерциального угла, гр
cv_corr_iy_driftY, гр/ч	Величина оценки дрейфа, выработанная в текущем

Имя параметра	Описание
	цикле оценки, гр/час

10.6 Коррекция угла рыскания: оценка угла по данным о скоростях

Имя параметра	Описание
cv_gpsYaw_estimatedYaw, гр	Последняя выработанная оценка угла рыскания, гр

11 Подсистема БИНС

Все перечисленные ниже параметры, если не указано иное, в норме записываются с частотой решения навигационной задачи. Таким образом, для некоторых параметров (см., например, разделы «**Ошибка! Источник ссылки не найден. Ошибка! Источник ссылки не найден.**» «Объективные» координаты и скорости, использованные для выработки корректирующих поправок» и «11.6 «Объективные» координаты и скорости, использованные для выработки корректирующих поправок») время появления их в телеметрии может отличаться от момента фактического формирования на величину задержки между моментом формирования и моментом начала того такта расчетов, в котором сформированные значения используются в работе.

11.1 Дополнительная обработка данных ДУС

Имя параметра	Описание
angle_inert_drift_X, гр/ч angle_inert_drift_Y, гр/ч angle_inert_drift_Z, гр/ч	Текущая оценка дрейфа (неоля) ДУС по осям X, Y и Z ССК соответственно, гр/час

11.2 Поправки к инерциальным координатам и скоростям

12 Эти величины добавляются как соответствующим чисто инерциальным параметрам для получения окончательных, комплексированных выходных величин (см. раздел «4 Слова признаков отказа датчиков

Имя параметра	Описание
raw_failureFlags_gyro	<p>Битовое поле, слово признаков отказа ДУС. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ ДУС №1 по оси X ССК; • 0x2 — отказ ДУС №2 по оси X ССК; • 0x4 — отказ ДУС №3 по оси X ССК; • 0x8 — отказ ДУС №4 по оси X ССК; • 0x10 — отказ ДУС №1 по оси Y ССК; • 0x20 — отказ ДУС №2 по оси Y ССК; • 0x40 — отказ ДУС №3 по оси Y ССК; • 0x80 — отказ ДУС №4 по оси Y ССК; • 0x100 — отказ ДУС №1 по оси Z ССК; • 0x200 — отказ ДУС №2 по оси Z ССК; • 0x400 — отказ ДУС №3 по оси Z ССК; • 0x800 — отказ ДУС №4 по оси Z ССК.
raw_failureFlags_accl	<p>Битовое поле, слово признаков отказа акселерометров. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ акселерометра №1 по оси X ССК; • 0x2 — отказ акселерометра №2 по оси X ССК; • 0x4 — отказ акселерометра №3 по оси X ССК; • 0x8 — отказ акселерометра №4 по оси X ССК; • 0x10 — отказ акселерометра №1 по оси Y ССК; • 0x20 — отказ акселерометра №2 по оси Y ССК; • 0x40 — отказ акселерометра №3 по оси Y ССК; • 0x80 — отказ акселерометра №4 по оси Y ССК; • 0x100 — отказ акселерометра №1 по оси Z ССК; • 0x200 — отказ акселерометра №2 по оси Z ССК; • 0x400 — отказ акселерометра №3 по оси Z ССК; • 0x800 — отказ акселерометра №4 по оси Z ССК.

raw_failureFlags_misc	<p>Битовое поле, слово признаков отказа иных датчиков. Возможная комбинация из следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x1 — отказ «аналогового» термометра по оси X ССК; • 0x2 — отказ «аналогового» термометра по оси Y ССК; • 0x4 — отказ «аналогового» термометра по оси Z ССК; • 0x8 — отказ «цифрового» термометра; • 0x10 — отказ бародатчика; • 0x20 — отказ магнитометра по оси X ССК; • 0x40 — отказ магнитометра по оси Y ССК; • 0x80 — отказ магнитометра по оси Z ССК.
raw_failureFlags_other	<p>Битовое поле, слово признаков прочих ошибок. Возможное значение: 0x1 — ошибка чтения серийного номера модуля</p>
failuresWord_accls_X	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси X ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_accls_Y	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси Y ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

failuresWord_accls_Z	<p>Слова детальных признаков отказа акселерометров по оси Z ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа акселерометра №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа акселерометра №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа акселерометра №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа акселерометра №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_X	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси X ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_Y	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси Y ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_gyros_Z	<p>Слова детальных признаков отказа ДУС по оси Z ССК:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа ДУС №1 • биты 8..15 — слово признаков отказа ДУС №2 • биты 16..23 — слово признаков отказа ДУС №3 • биты 24..31 — слово признаков отказа ДУС №4 <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_magn	<p>Слова детальных признаков отказа магнитометров:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа магнитометра по оси X ССК • биты 8..15 — слово признаков отказа магнитометра по оси Y ССК • биты 16..23 — слово признаков отказа магнитометра по оси Z ССК <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

failuresWord_analogT	<p>Слова детальных признаков отказа «аналоговых» термометров:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа термометра №1 (по оси X) • биты 8..15 — слово признаков отказа термометра №2 (по оси Y) • биты 16..23 — слово признаков отказа термометра №3 (по оси Z) <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>
failuresWord_others	<p>Слова детальных признаков отказа прочих датчиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> • биты 0..7 — слово признаков отказа «цифрового» термометра (в блоке бародатчика) • биты 8..15 — слово признаков отказа бародатчика <p>Расшифровку признаков слова отказов см. в следующей таблице</p>

Расшифровка 8-битного слова отказов для любого из датчиков

Биты	Описание
[7:4]	Резерв
3	«Отказ по критерию отклонения от медианы»: отклонение показаний данного датчика от медианного значения в группе датчиков превысило в ту или иную сторону заданный порог отклонения
2	«Отказ по критерию «заморозки» показаний»: показания датчика сохранялись неизменными в течение времени большего, чем предельно допустимое
1	«Отказ по итогам встроенного самоконтроля»: обнаружен отказ датчика по итогам встроенного самоконтроля после подачи питания или перезапуска модуля
0	«Повреждены или недоступны данные заводской калибровки»: данные заводской калибровки не удалось считать или их контрольная сумма неверна

13 Прочие raw-параметры

Имя параметра	Описание
raw_isArtificial	<p>Признак того, что raw-данные являются сгенерированными, а не снятым с датчиков.</p> <p>Активизируется на время записи пользовательских настроек во встроенную флэш-память модуля.</p> <p>Необходимость генерации данных в это время обусловлена невозможностью взаимодействия с датчиками во время записи во флэш-память модуля.</p>

Комплексированные выходные величины: углы, скорости, координаты»).

Имя параметра	Описание
applErrs_Phi, гр applErrs_Lambda, гр	Величины поправок к координатам по широте и по долготе соответственно, гр
applErrs_H, м	Величина поправки к высоте над референц-эллипсоидом, м
applErrs_v_N, м/с applErrs_v_E, м/с	Величины поправок к северной и к восточной составляющим путевой скорости соответственно, м/с
applErrs_v_H, м/с	Величина поправки к вертикальной скорости, м/с

13.1 Преобразование «давление-высота»

Имя параметра	Описание
baroh_H_final, м	Окончательное значение высоты для текущего атмосферного давления, м

13.2 Модуль оценки ошибок углов отклонения от горизонта и дрейфов ДУС по данным о координатах

Имя параметра	Описание
gpsCE_Gamma_angleErr, гр gpsCE_Gamma_drift, гр/с	Оценки, соответственно, ошибки угла крена и дрейфа ДУС по оси X ССК, гр и гр/с
gpsCE_Theta_angleErr, гр gpsCE_Theta_drift, гр/с	Оценки, соответственно, ошибки угла тангажа и дрейфа ДУС по оси Z ССК, гр и гр/с

13.3 Параметры, фиксируемые в момент обнаружения переднего фронта сигнала метки времени

Имя параметра	Описание
gpsLatch_TimepulseTime, с	Время обнаружения переднего фронта импульса метки времени, с
gpsLatch_inert_Phi, гр gpsLatch_inert_Lambda, гр	Инерциальные координаты по широте и долготе соответственно, гр
gpsLatch_inert_H, м	Инерциальная высота, м

13.4 «Объективные» координаты и скорости, использованные для выработки корректирующих поправок

Источником этих параметров могут являться как данные, полученные от приемника GPS uBlox, так и данные, принятые от мастер-устройства по шине SPI. Фактический источник определяется значением параметра `extrnData_mode` (см. раздел 14.1 «Режим работы с «объективными» данными»).

Имя параметра	Описание
<code>gps_DataArrivalTime, c</code>	Время прихода «объективных» данных о координатах и скоростях в БИНС, с
<code>gps_Phi, гр</code> <code>gps_Lambda, гр</code>	«Объективные» координаты по широте и долготе соответственно, гр
<code>gps_H, м</code>	«Объективное» значение высоты над референц-эллипсоидом, м
<code>gps_v_N, м/с</code> <code>gps_v_E, м/с</code>	«Объективные» значения северной и восточной составляющих земной скорости соответственно, м/с
<code>gps_v_H, м/с</code>	«Объективное» значения вертикальной скорости, м/с
<code>gps_isHdopAllowsYawCorr</code>	<p>Признак того, что величина HDOP «объективных» данных достаточно мала, чтобы можно было производить оценку угла рыскания по соотношению северной и восточной составляющих земной скорости:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 — величина HDOP достаточно мала (≤ 3.0); • 0 — величина HDOP слишком велика. <p>Для данных, принимаемых по SPI, значение признака всегда равно «1», в предположении, что пользователь, установивший режим оценки угла рыскания по северной и восточной «объективным» скоростям, самостоятельно следит за тем, чтобы передаваемые им в БИНС данные соответствовали необходимым параметрам качества.</p>

14 «Объективные» данные о координатах и скоростях

Эти параметры дублируют для целей анализа наборы данных об «объективных» координатах и скоростях (и некоторые другие), принимаемые от GPS-приемника uBlox и по шине SPI.

14.1 Режим работы с «объективными» данными

Имя параметра	Описание
extrnData_mode	<p>Используемый режим получения «объективных» данных о скоростях и координатах:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 — получение данных о координатах и скоростях через SPI, без использования аппаратного импульса времени; • 1 — получение данных о координатах и скоростях через SPI, с использованием аппаратного импульса времени; • 2 — получение данных о координатах и скоростях через UART от модуля uBlox NEO-8P, без использования аппаратного импульса времени; • 3 — получение данных о координатах и скоростях через UART от модуля uBlox NEO-8P, с использованием аппаратного импульса времени.
extrnData_commState	<p>Состояние автомата получения данных. Расшифровка зависит от текущего режима работы.</p> <p>Для режимов «0» и «1» (при получении данных по SPI):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 — взаимодействие остановлено • 1 — проведена инициализация, начато ожидание ведущего элемента данных (т.е. либо метки времени, либо данных о координатах и скоростях, в зависимости от выбранного режима); • 2 — принята метка времени, ожидание данных (достижимо только в режиме «1»); • 3 — принята метка времени, приняты данные (достижимо только в режиме «1»); • 4 — метка времени не используется, приняты данные (достижимо только в режиме «0»); • 5 — принятые данные использованы для коррекции вычислений БИНС. <p>Для режимов «2» и «3» (при получении данных по UART от модуля uBlox):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 — взаимодействие остановлено; • 1 — выполняется инициализация модуля uBlox; • 2 — инициализация проведена успешно, ожидание ведущего элемента данных (т.е. либо

Имя параметра	Описание
	<p>метки времени, либо данных о координатах и скоростях, в зависимости от выбранного режима);</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 — принята метка времени, ожидание данных (достижимо только в режиме «3») • 4 — принята метка времени, приняты данные, но качество решения навигационной задачи модулем uBlox недостаточно (достижимо только в режиме «3»); • 5 — принята метка времени, приняты данные хорошего качества (достижимо только в режиме «3»); • 6 — метка времени не используется, приняты данные, но качество решения навигационной задачи модулем uBlox недостаточно (достижимо только в режиме «2»); • 7 — метка времени не используется, приняты данные хорошего качества (достижимо только в режиме «2»). • 8 — принятые данные использованы для коррекции вычислений БИНС.
extrnData_ubloxDataQFlags	<p>Слово признаков качества данных, принятых от модуля uBlox (имеет смысл только в режимах «2» и «3»):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 — статус решения навигационной задачи имеет значение «А» по данным uBlox; • 2 — качество наблюдения достаточное по данным uBlox; • 4 — величина HDOP менее 6 и возможна коррекция координат и скоростей; • 8 — величина HDOP не более 3, и возможна коррекция угла рыскания по данным о северной и восточной скоростях.

14.2 Данные, получаемые по UART с модуля uBlox

Параметры записываются в файл телеметрии в момент приема всего блока данных от модуля uBlox.

Имя параметра	Описание
gps_ublox_qualityReport	Слово признаков качества данных, принятых от модуля uBlox. Перечень признаков совпадает с перечнем из

Имя параметра	Описание
	описания параметра extrnData_ubloxDataQFlags в таблице выше.
gps_ublox_phi, гр gps_ublox_lambda, гр	Координаты по широте и долготе соответственно, гр
gps_ublox_h, м	Высота над референц-эллипсоидом, м
gps_ublox_Vn, м/с gps_ublox_Ve, м/с	Северная и восточная скорости соответственно, м/с
gps_ublox_psi, гр	Угол курса, гр

14.3 Данные, получаемые по шине SPI

Параметры записываются в файл телеметрии в момент приема всего блока данных по шине SPI.

Имя параметра	Описание
gps_spi_phi, гр gps_spi_lambda, гр	Координаты по широте и долготе соответственно, гр
gps_spi_h, м	Высота над референц-эллипсоидом, м
gps_spi_Vn, м/с gps_spi_Vh, м/с gps_spi_Ve, м/с	Северная, вертикальная и восточная скорости соответственно, м/с

15 Прочие данные, принимаемые по шине SPI

Данные («внешнее» значение угла рыскания и «внешнее» значение высоты) записываются в файл в составе единого блока ТМ данных в момент начала такта расчетов БИНС, ближайшего к моменту приема соответствующего элемента данных.

Хотя запись блока ТМ данных инициируется приемом любого из двух параметров, но необязательно, что к моменту такой записи очередное значение будет получено для обоих параметров. В силу этого каждый из параметров снабжен признаком обновлённости. Если к моменту записи блока параметр был обновлен, соответствующий признак получает значение «1», а если не был, то на запись передается предыдущее принятое значение параметра, а признак его обновленности получает значение «0».

Имя параметра	Описание
spi_YAW_EXT, гр	«Внешнее» значение угла рыскания, гр
spi_YAW_EXT_isNew	Признак обновления «внешнего» значения угла рыскания
spi_HABS_EXT, м	«Внешнее» значение высоты, м

Имя параметра	Описание
spi_HABS_EXT_isNew	Признак обновления «внешнего» значения высоты

16 Алфавитный указатель

angle_complex_Gamma, гр	10	failuresWord_accls_Y	7
angle_complex_Psi, гр	10	failuresWord_accls_Z	8
angle_complex_Theta, гр	10	failuresWord_analogT	9
angle_inert_drift_X, гр/ч	14	failuresWord_gyros_X	8
angle_inert_drift_Y, гр/ч	14	failuresWord_gyros_Y	8
angle_inert_drift_Z, гр/ч	14	failuresWord_gyros_Z	8
angle_inert_Gamma, гр	11	failuresWord_magn	8
angle_inert_Psi, гр	11	failuresWord_others	9
angle_inert_Theta, гр	11	firmware_date	11
applErrs_H, м	14	firmware_time	11
applErrs_Lambda, гр	14	firmware_version_build	11
applErrs_Phi, гр	14	firmware_version_math	11
applErrs_v_E, м/с	14	gps_DataArrivalTime, с	15
applErrs_v_H, м/с	14	gps_H, м	15
applErrs_v_N, м/с	14	gps_isHdopAllowsYawCorr, м/с	16
baroh_H_final, м	15	gps_Lambda, гр	15
binsMode	11	gps_Phi, гр	15
binsReqMode	12	gps_spi_h, м	19
coord_H, м	10	gps_spi_lambda, гр	18
coord_Lambda, гр	10	gps_spi_phi, гр	18
coord_Phi, гр	10	gps_spi_Ve, м/с	19
cv_corr_emb_drf_Gamma, гр/ч	13	gps_spi_Vh, м/с	19
cv_corr_emb_drf_Psi, гр/ч	13	gps_spi_Vn, м/с	19
cv_corr_emb_drf_Theta, гр/ч	13	gps_ublox_h, м	18
cv_corr_err_Gamma, гр	13	gps_ublox_lambda, гр	18
cv_corr_err_Psi, гр	13	gps_ublox_phi, гр	18
cv_corr_err_Theta, гр	13	gps_ublox_psi, гр	18
cv_corr_iy_driftY, гр/ч	13	gps_ublox_qualityReport	18
cv_corr_iy_psiCorr, гр	13	gps_ublox_Ve, м/с	18
cv_gpsYaw_estimatedYaw, гр	14	gps_ublox_Vn, м/с	18
cv_incl_Gamma, гр	12	gps_v_E, м/с	16
cv_incl_IsDisturbance	12	gps_v_H, м/с	16
cv_incl_Theta, гр	12	gps_v_N, м/с	16
cv_magn_IsDisturbance	12	gpsCE_Gamma_angleErr, гр	15
cv_magn_Psi, гр	12	gpsCE_Gamma_drift, гр/с	15
cv_yaw_corr_method	13	gpsCE_Theta_angleErr, гр	15
dutyCycle, %	11	gpsCE_Theta_drift, гр/с	15
ekf_cnfg	12	gpsLatch_inert_H, м	15
extrnData_commState	17	gpsLatch_inert_Lambda, гр	15
extrnData_mode	16	gpsLatch_inert_Phi, гр	15
extrnData_ubloxDataQFlags	18	gpsLatch_TimepulseTime, с	15
failuresWord_accls_X	7	phy_accel_X1, м/с ²	3

phy_accel_X2, м/с ²	3	raw_atmPressure, мбар	5
phy_accel_X3, м/с ²	3	raw_digitalTemperature, гр.С	5
phy_accel_X4, м/с ²	3	raw_failureFlags_accl.....	6
phy_accel_Y1, м/с ²	3	raw_failureFlags_gyro.....	6
phy_accel_Y2, м/с ²	3	raw_failureFlags_misc.....	7
phy_accel_Y3, м/с ²	3	raw_failureFlags_other.....	7
phy_accel_Y4, м/с ²	3	raw_isArtificial.....	9
phy_accel_Z1, м/с ²	3	raw_magn_X, мгаусс.....	5
phy_accel_Z2, м/с ²	3	raw_magn_Y, мгаусс.....	5
phy_accel_Z3, м/с ²	3	raw_magn_Z, мгаусс.....	5
phy_accel_Z4, м/с ²	3	raw_omega_X, гр/с.....	5
phy_magn_X, мгаусс.....	3	raw_omega_Y, гр/с.....	5
phy_magn_Y, мгаусс.....	4	raw_omega_Z, гр/с.....	5
phy_magn_Z, мгаусс.....	4	serial No.....	11
phy_nonzeroCompens, гр/с.....	4	spi_HABS_EXT, м.....	19
phy_omega_X1, гр/с.....	3	spi_HABS_EXT_isNew.....	19
phy_omega_X2, гр/с.....	3	spi_YAW_EXT, гр.....	19
phy_omega_X3, гр/с.....	3	spi_YAW_EXT_isNew.....	19
phy_omega_X4, гр/с.....	3	spiReg_FNCTIO_CTRL.....	12
phy_omega_Y1, гр/с.....	3	time, с.....	11
phy_omega_Y2, гр/с.....	3	v_complex_E, м/с.....	10
phy_omega_Y3, гр/с.....	3	v_complex_H, м/с.....	10
phy_omega_Y4, гр/с.....	3	v_complex_N, м/с.....	10
phy_omega_Z1, гр/с.....	3	v_inert_E, м/с.....	11
phy_omega_Z2, гр/с.....	3	v_inert_H, м/с.....	11
phy_omega_Z3, гр/с.....	3	v_inert_N, м/с.....	11
phy_omega_Z4, гр/с.....	3	way_complex_E, м.....	10
phy_temp_X, гр.С.....	4	way_complex_H, м.....	10
phy_temp_Y, гр.С.....	4	way_complex_N, м.....	10
phy_temp_Z, гр.С.....	4	way_inert_E, м.....	11
raw_accel_X, м/с ²	5	way_inert_H, м.....	11
raw_accel_Y, м/с ²	5	way_inert_N, м.....	11
raw_accel_Z, м/с ²	5		