



Рекомендации по поддержанию работы станций измерения потоков климатически активных газов по методу турбулентных пульсаций.

*Виталий Авилов,
ИПЭЭ им А.Н. Северцова РАН*



<https://preprints.ru/article/1206>
Версия 2 (2024-05-22)

АННОТАЦИЯ

Данный сборник рекомендаций был создан в помощь сотрудникам, работающим со станциями измерения потоков климатически активных газов по методу измерения турбулентных пульсаций (МТП). На примере стандартного комплекса оборудования, поставляемого компанией LI-COR, описаны виды работ по диагностике и техническому обслуживанию. Представлены перечни работ по каждому виду технического обслуживания и справочные таблицы измеряемых и диагностических значений, с кратким описанием значимости и границами допустимых значений.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ СТАНЦИЙ	3
СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ СТАНЦИЙ	4
СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА ПЕРЕМЕННЫХ СИСТЕМЫ EDDYFLUX (“БЫСТРЫЕ ДАННЫЕ”)	7
СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА ПЕРЕМЕННЫХ СИСТЕМЫ BIOMET (“МЕДЛЕННЫЕ ДАННЫЕ”)	11

1 ВВЕДЕНИЕ

Любая система автоматического мониторинга, и тем более такая сложная как станция измерения турбулентных пульсаций, требует квалифицированного технического контроля. Несмотря на то, что современные измерительные системы работают автоматически, любая станция требует прикрепленного сотрудника, в чьи обязанности входит регулярный контроль и поддержание работоспособности приборов и вспомогательного оборудования. Критерием успешной работы станции является бесперебойное поступление (поток) данных, причем не просто каких-либо значений, снятых с приборов, а именно качественных данных, в точности которых можно быть уверенным. Конечно во многом успешность работы определяется на этапе планирования и подбора оборудования, но затем, на этапе поддержания работы станции, главное значение приобретают регулярный контроль и техническое обслуживание приборов.

В данном руководстве не затрагиваются вопросы, связанные с планированием, установкой и первым запуском измерительного комплекса.

Для долговременных измерительных станций это разовые работы, которые могут быть выполнены с участием приглашенных специалистов. Однако затем рутинная работа по эксплуатации (поддержанию работы) комплекса ложится на плечи сотрудников исследовательских коллективов, и именно от них зависит количество и качество получаемых данных.

И это только один этап в сложном процессе от идеи до научных результатов и соответствующих публикаций. Далее следует работа с собранными архивными данными - более детальные проверки качества (QC), верификация и валидация данных (QA), подготовка итогового набора данных (датасета), анализ и т.д. Но при этом стоит отметить, что именно этап измерений и получения первичных данных является критическим, потому как не существует возможности вернуться назад во времени и измерить

что-то еще раз. Готовые данные можно проверять, анализировать и рассчитывать производные величины разными способами, однако заново получить первичные результаты измерений невозможно, особенно когда речь идет не о лабораторном эксперименте, а о долговременных наблюдениях *in situ*.

Большинство станций измерения потоков парниковых газов по методу турбулентных пульсаций, установленных в России в последние годы (2020 – 2023), представляют собой готовый комплект оборудования от компании LI-COR (Eddy Flux system + Biomet system). И, поскольку данное руководство ориентировано в первую очередь на начинающие коллективы, именно такая станция и будет рассматриваться далее в качестве модельной.

Приведенные ниже рекомендуемые процедуры включают в себя все рекомендации производителей оборудования, изложенные в соответствующих руководствах пользователя, а также другие процедуры и замечания, основанные на личном опыте автора.

2 Виды технических работ по поддержанию станций

В целом весь спектр работ по поддержанию измерительных станций удобно разделить на 4 группы, различающиеся по технической сложности работ и по частоте их проведения. Как правило, более сложные работы требуется проводить реже.

1) Удаленная диагностика. По возможности любая измерительная станция должна быть снабжена устройством связи с рабочим местом оператора. Обычно это 3G/LTE модем, обеспечивающий доступ к оборудованию через Интернет. В таком случае, подключившись к оборудованию посредством соответствующего интерфейсного ПО, осуществляется удаленная диагностика работы станции, оценка качества текущих данных. Такая диагностика проводится 1 раз в неделю или чаще. Сотрудник, выполняющий удаленную диагностику, должен иметь представление о нормальном диапазоне измеряемых значений и диагностических характеристик. Ввиду особенностей интерфейсного ПО оборудования LI-COR, не существует уровня доступа «только чтение», то есть любой пользователь, имеющий возможность подключиться к оборудованию, будет иметь и возможность изменить настройки, остановить запись, либо другими способами нарушить нормальную работу станции. Поэтому не рекомендуется предоставлять возможность подключения не доверенным лицам.

2) Базовое техническое обслуживание (ТО-1). Представляет собой стандартную процедуру, включающую в себя общую оценку физического состояния оборудования и наиболее простые рутинные действия технического обслуживания приборов — очистка оборудования, замена фильтров, замена сменных носителей информации и пр. Такого рода обслуживание желательно проводить с интервалом от 2 до 4 недель. Это необходимая и трудозатратная часть работы, но при этом она не требует специальной квалификации сотрудника. Зачастую базовое техническое обслуживание выполняется кем-то из местных жителей.

3) Углубленное техническое обслуживание (ТО-2). Состоит регулярной процедуры более сложных действий технического обслуживания (полевая калибровка/сверка сенсоров), а также нерегулярных действий, решение о необходимости которых принимается отдельно (например, обновление встроенного ПО, замена внутренних сорбентов газоанализатора). Такое ТО выполняется 1-2 раза в год (обычно в начале летнего/зимнего сезона), и требует достаточной квалификации: выполняющий его сотрудник должен быть хорошо знаком с используемым оборудованием и прилагаемыми к нему руководствами по эксплуатации и уметь как минимум выполнять действия в точности согласно этим руководствам.

4) Специальное техническое обслуживание (ТО-3). Заключается в полноценной ревизии и калибровке отдельных приборов, заменой внутренних частей и расходных материалов, связанной с разборкой корпуса прибора. Большинство из таких действий не имеет строгой периодичности. К специальному техническому обслуживанию можно отнести и ремонт оборудования. В некоторых случаях такие работы можно провести в импровизированной полевой лаборатории во время выезда, чаще требуются условия полноценной лаборатории, иногда только в специализированной лаборатории производителя или аккредитованной калибровочной лаборатории. В зависимости от типа прибора, такого рода техническое обслуживание обычно требуется один раз в 1-2 года.

Таблица 1: Краткие характеристики видов технического обслуживания измерительных станций

Вид ТО	Удаленная диагностика	ТО-1	ТО-2	ТО-3
Периодичность	1 неделя или чаще	2-4 недели	6-12 мес	12-24 мес
Состав работ	Проверка на наличие предупреждений, оценка качества текущих данных	Общий осмотр, стандартные процедуры	Углубленная диагностика, полевая калибровка, обновление ПО	Полная ревизия, калибровка/поверка, ремонт
Требуемая квалификация	Доверенный пользователь ПО	Техник / лаборант	Квалифицированный пользователь	Квалифицированный инженер
Место проведения	Рабочее место ПК	Измерительная станция	Измерительная станция	Техническая лаборатория

3 СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ СТАНЦИЙ

	Удаленная диагностика	ТО-1	ТО-2	ТО-3	Наиболее частые проблемы	Прочие возможные проблемы
Газоанализатор CO₂/H₂O LI-7500 (открытого типа)	Проверка на наличие предупреждений, текущих значений (концентрации, давление, температура), состояние USBносителя (идет ли запись)	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабелей, состояние коннекторов). Очистка оптики, выгрузка данных.	Калибровка нуля, проверка по ПГС*, оценка состояния внутренних сорбентов, обновление ПО (при наличии)	Замена внутренних сорбентов. Проверка по эталонам концентраций CO ₂ и H ₂ O, решение о полной калибровке.	Блокировка оптического пути (оледение, туман, насекомые и пр). Истощение внутренних сорбентов. Проблемы ПО - потеря связи с другими устройствами, остановка записи на съемный носитель.	Поломка мотора (выработка ресурса или коррозия при истощенных сорбентах). Повреждения от перенапряжений, индуцированных молний. Повреждение кабелей, нарушение контакта в коннекторах
Газоанализатор CO₂/H₂O LI-7200 (закрытого типа)	Проверка на наличие предупреждений, текущих значений (концентрации, давление, температура), состояние USBносителя (идет ли запись), проверка прокачки воздуха.	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабелей, состояние коннекторов). Очистка оптики, выгрузка данных, очистка сетки воздухозабора от крупной пыли. Замена фильтра на трубке воздухозабора (при наличии и необходимости)	Калибровка нуля, проверка по ПГС*, оценка состояния внутренних сорбентов. Прочистка фильтра насоса. Обновление ПО (при наличии)	Замена внутренних сорбентов. Проверка по эталонам концентраций CO ₂ и H ₂ O, решение о полной калибровке.	Повреждение термопар, засорение воздухозабора и фильтра, истощение внутренних сорбентов. Проблемы ПО - потеря связи с другими устройствами, остановка записи на съемный носитель.	Поломка мотора прерывателя (выработка ресурса или коррозия при истощенных сорбентах). Повреждения от перенапряжений, индуцированных молний. Повреждение кабелей, нарушение контакта в коннекторах
Газоанализатор CH₄ LI-7700	Проверка текущих значений, проверка работы системы очистки оптики, проверка влажности внутри корпуса	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабелей, состояние коннекторов). Очистка оптики, пополнение бачка омывателя	Обновление ПО (при наличии)	Замена осушителя	Загрязнение зеркал, блокировка (обструкция) оптического пути, проблемы с омывателем (перерасход жидкости, замерзание, повреждение трубки). Истощение	Попадание влаги внутрь корпуса при невертикальной установке. Повреждения от перенапряжений, индуцированных молний. Повреждение кабелей, нарушение

					ресурса внутреннего осушителя. Проблемы ПО - рассинхронизация с модулем сопряжения	контакта в коннекторах
Анемометр	Проверка текущих значений, диагностическое число	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабелей, состояние коннекторов)	Очистка корпуса прибора	Проверка на ноль (отклонения от нуля, уровень шума в сигнале). Обновление ПО (при наличии и если поддерживается ПО SmartFlux). Для моделей с подогревом (напр. Metek Sage MP) - проверка работы нагревателя	Обструкция акустических путей - обледенение, снег, сильный дождь, насекомые, птицы	Нарушение геометрии взаиморасположения приемопередатчиков. Повреждения от перенапряжений, индуцированных молнией. Повреждение кабелей, нарушение контакта в коннекторе
Модуль расчета потоков SmartFlux2	Проверка диагностической страницы, проверка рассчитанных потоков	Выгрузка данных со съемного носителя (если используется)	Обновление ПО (при наличии)		Потеря связи с блоком сопряжения	Повреждения от перенапряжений, индуцированных молнией.
Модуль регистрации данных Biomet: DAqM+DRM	Проверка напряжения резервной батареи, общий статус			Замена резервного аккумулятора	Внутренние повреждения, вызванные перегрузкой выхода питания	Потеря емкости резервного аккумулятора (выработка ресурса либо замерзание)
Термогигрометр HMP155 + radiation shield	Проверка текущих показаний. Сравнение с аналогичными	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля, состояние коннектора). Если установка	Очистка защитного экрана и самого сенсора, проверка фильтра на сенсоре.	Калибровка/поворота в лаборатории, замена/очистка фильтра		Смещение показаний датчика влажности, коррозия/обрастание сенсора (влажность).
	измерениями	в зоне "солёного тумана" с моря - замена/промывка фильтра дистиллированной водой	Если у моря - возможна промывка самого сенсора в спирте.			Повреждение кабеля, нарушение контакта в коннекторе
Осадкомер TE525M	---	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля). Очистка воронки, проверка горизонтальности	Калибровка (проверка) полевая*	Калибровка, по необходимости - регулировка	Засорение воронки. Нарушение горизонтальности	Повреждение кабелей
Датчик ФАР LICOR 190R	Проверка текущих показаний в светлое время суток	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля). Очистка сенсора, проверка горизонтальности	---	Калибровка (спец. лаб)/сверка с эталонным датчиком (полевая)	Затенение сенсора (обледенение, снег, листва и пр). Нарушение горизонтальности	Повреждения от перенапряжений, индуцированных молнией. Снижение чувствительности (выгорание). Повреждение кабелей

Радиометрбалансомер K&Z CNR4 + CNF4	Проверка текущих показаний в светлое время суток	Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля). Очистка оптики, решетки вентиляции, проверка горизонтальности	Проверка работоспособности нагрева, вентилятора	Обратный тест, калибровка (спец лаб)/сверка с эталонными датчиками (полевая), замена осушителя	Затенение сенсора (обледенение, снег, листва и пр). поломка вентилятора (блокировка либо выработка ресурса). Нарушение горизонтальности	Повреждения от перенапряжений, индуцированных молнией. Повреждение кабелей, нарушение контакта в коннекторах
Датчики потока тепла в почву Hukseflux HFP01SC	Проверка текущих показаний. Сравнение с аналогичными измерениями	Проверка физического состояния надземной части кабелей	Проверка результатов самокалибровки (по архивным данным)	Проверка результатов самокалибровки, решение о переустановке	---	Нарушение контакта с почвой. Повреждение кабелей
Датчики температуры почвы LI-COR Thermistors	Проверка текущих показаний. Сравнение с аналогичными измерениями	Проверка физического состояния надземной части кабелей		Калибровка/сверка с эталонным датчиком или между собой, последующая переустановка*	---	Нарушение контакта с почвой. Повреждение кабелей
Датчики влажности и температуры почвы Stevens Hydra Probe II	Проверка текущих показаний. Сравнение с аналогичными измерениями	Проверка физического состояния надземной части кабелей	---	Калибровка/сверка с эталонным датчиком или между собой, Последующая переустановка*	---	Нарушение контакта с почвой. Повреждение кабелей
Цифровая камера StarDot PhenoCam	Проверка работоспособности и наличие изображений в архиве	Очистка стекла защитного корпуса, проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля)	---	---	Потеря связи с модулем SmartFlux	Повреждение кабелей
Система автономного / резервного электроснабжения	Проверка напряжения питания	Очистка фотоэлектрических модулей, проверка физического состояния модулей, кабелей, проверка состояния УЗИП (при наличии)	Протяжка клемм с нужным усилием, проверка работоспособности средств контроля температуры АКБ (вентиляторов/о богрева телей)	Проверка состояния АКБ (напряжение, внутреннее сопротивление, емкость)	Затенение фотоэлектрических модулей снегом. Прерывание питания оборудования из-за недостаточной выработки энергии либо недостаточной емкости АКБ.	Выход из строя АКБ (переразряд, замерзание, выработка ресурса), КЗ, удар молнии (сгорает контроллер). Повреждение кабелей
Несущая конструкция	---	Проверка физического состояния (очаги коррозии, ослабленные соединения и т.п.)	Проверка непрерывности линий заземления оборудования и линии токоотвода, антикоррозионные мероприятия.	Проверка сопротивления заземлителя, для высотных конструкций - техническое обследование аккредитованной организацией.	Коррозия конструкций, коррозия заземлителя.	Нарушение равномерного натяжения растяжек, нарушение вертикальности конструкции, скручивание. Повреждение упавшим деревом.

* - необязательная процедура

4 СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА ПЕРЕМЕННЫХ СИСТЕМЫ EDDYFLUX ("БЫСТРЫЕ ДАННЫЕ")

Переменная (ед. изм)	Описание	Нормальное значение	Информативность для общей диагностики	Комментарий
Time	Время на станции	Актуальное время (местное для станции)	Высокая	Оценка работы синхронизации времени RTP
Date	Дата	Текущая дата	Высокая	Оценка работы синхронизации времени RTP
Sequence Number	Индекс записи (строки)	---	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
CO2 (mmol/m ³)	Молярная плотность CO2	14 -- 25	Средняя	Значение, не зависящее от измерений атмосферного давления и температуры
CO2 (mg/m ³)	Удельная плотность CO2	600 -- 1100	Низкая	Молярная плотность*44 г/моль (молярная масса CO2)
CO2 Absorptance	Коэффициент поглощения по CO2	0.07 -- 0.14	Средняя	Изначально измеренное значение, не зависящее от значений атм. давления, температуры и калибровочных коэффициентов
CO2 (umol/mol)	Молярная доля CO2	350 (днем) -- 600 (ночью)	Высокая	Интегральная оценка работы газоанализатора по CO2. Единицы измерения по-другому называются ppm
CO2 dry(umol/mol)	Молярная доля CO2 в сухом воздухе	Примерно на 2% выше общей молярной концентрации	Низкая	Рассчитанное значение
H2O (mmol/m ³)	Молярная плотность H2O	100 (при -10 °C) -- 1200 (при +30 °C)	Высокая	Значение, не зависящее от измерений атмосферного давления и температуры. Измеряется в микромоль CO2/моль сухого воздуха
H2O (g/m ³)	Удельная плотность H2O	2 (при -10 °C) -- 20 (при +30 °C)	Низкая	Молярная плотность*18 г/моль (молярная масса H2O), при переводе в граммы /1000
H2O Absorptance	Коэффициент поглощения по H2O	0.02 -- 0.12	Средняя	Изначально измеренное значение, не зависящее от значений атм. давления, температуры и калибровочных коэффициентов
H2O (mmol/mol)	Молярная доля H2O	3 -- 30	Средняя	Интегральная оценка работы газоанализатора по H2O
Dew Point (C)	Точка росы	Ниже "Temperature In" как минимум на 2 градуса при включенном подогреве воздухозаборника	Высокая	Интегральная оценка работы газоанализатора по H2O, удобная для интерпретации
H2O dry(mmol/mol)	Молярная доля H2O в сухом воздухе	Примерно на 2% выше общей молярной концентрации	Низкая	Рассчитанное значение. Измеряется в миллимоль H2O/моль сухого воздуха

Cell Temperature (C)	Температура воздуха в ячейке анализатора	Примерно на 1 ° выше актуальной температуры воздуха (если используется трубка воздухозабора с подогревом)	Низкая	Рассчитанное значение
Temperature In (C)	Температура на входе в ячейку	Примерно на 2 ° выше актуальной температуры воздуха (если используется трубка воздухозабора с подогревом)	Высокая	Оценка состояния термопар. Оценка работы нагревателя воздухозабора
Temperature Out (C)	Температура на выходе из ячейки	Чуть ниже Temperature In (если включен подогрев трубки)	Высокая	Оценка работы термопары
Block Temperature (C)	Температура сенсорной части газоанализатора	Примерно равна актуальной температуре воздуха или выше, если прибор нагревается на солнце	Высокая	Диагностика перегрева корпуса, данные для сравнения с другими датчиками температуры
Total Pressure (kPa)	Абсолютное атмосферное давление в ячейке газоанализатора	Vox pressure + Head pressure	Низкая	Рассчитанное значение
Box Pressure (kPa)	Абсолютное атмосферное давление, измеренное в модуле сопряжения (LI-7550)	Характерно для высоты установки станции. 96 -- 100 кПа для высот до 200 м над уровнем моря	Высокая	Оценка работы датчика атмосферного давления в модуле сопряжения LI-7550
Head Pressure (kPa)	Дифференциальное давление в ячейке газоанализатора	Перепад давления. Около -2 - -2.5	Высокая	Значения менее -3 могут свидетельствовать о засорении воздухозабора и/или фильтра
Diagnostic Value	Диагностическое число газоанализатора CO2/H2O	8191 или чуть меньше	Средняя	Определение причины неисправности газоанализатора CO2/H2O. Информация дублируется в окне интерфейса.
Diagnostic Value 2	Диагностическое число синхронизации с LI-7700	=1	Средняя	Диагностика синхронизации газоанализатора CH4 LI-700 с модулем сопряжения LI-7550. Информация дублируется в окне интерфейса
Cooler Voltage (v)	Напряжение на охладителе детектора	0.5 -- 5	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
Chopper Cooler Voltage (v)	Напряжение на охладителе прерывателя (стробоскопа)	0.5 -- 5	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
Smart Flux Vin (v)	Напряжение на входе питания модуля SmartFlux	11.5 -- 12.5 (если DRM не используется, то равно напряжению на выходе системы электроснабжения)	Средне	Можно оценить напряжение на выходе питания из DRM или общее напряжение питания, если DRM не используется
CO2 Signal Strength	Сила ИК-сигнала по CO2 (Sc)	85 -- 100	Высокая	Оценка степени загрязнения оптического пути газоанализатора CO2/H2O
H2O Signal Strength	Сила ИК-сигнала по H2O (Sw)	85 -- 100	Высокая	Оценка степени загрязнения оптического пути газоанализатора CO2/H2O
Average Signal Strength	Средняя сила ИК-сигнала (Sc+Sw)/2	85 -- 100	Средняя	Рассчитанное значение
Delta Signal Strength	Разница силы сигнала по CO2 и H2O (Sc- Sw)	0 -- 3	Низкая	Рассчитанное значение

7550 Auxiliary Input 1	Напряжение на аналоговом входе 1 модуля сопряжения	около 0 (если не используется)	Нет	В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются
7550 Auxiliary Input 2	Напряжение на аналоговом входе 2 модуля сопряжения	около 0 (если не используется)	Нет	В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются
7550 Auxiliary Input 3	Напряжение на аналоговом входе 3 модуля сопряжения	около 0 (если не используется)	Нет	В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются
7550 Auxiliary Input 4	Напряжение на аналоговом входе 4 модуля сопряжения	около 0 (если не используется)	Нет	В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются
Flow Rate (slpm)	Расход воздуха в насосном модуле	Как установлено, около 10 или 15ти. Колебания говорят о возможном засоре воздуховода	Высокая	Диагностика состояния пути прокачки воздуха в газоанализаторе CO2/H2O
Flow Rate (lpm)	Расход воздуха в насосном модуле	Примерно то же, что и в slpm	Средняя	примерно то же, что и в slpm
Flow Power (V)	Напряжение, подаваемое на мотор насосного модуля	Около 10	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
Flow Pressure (kPa)	Дифференциальное давление в воздушной линии насосного модуля.	От 0 до 4.5	Средняя	Может указывать на засорение пути прокачки воздуха в газоанализаторе CO2/H2O
Flow Drive (%)	Уровень мощности работы насосного модуля	Около 20 без фильтра, около 35-40 с фильтром. Лучше запомнить значение, характерное для данной станции. Если больше 60 - возможно засорился фильтр/воздухозабор	Высокая	Диагностика состояния пути прокачки воздуха в газоанализаторе CO2/H2O
Integral	Результат интеграции концентраций по времени	0	нет	Не используется в методе турбулентных пульсаций
Peak Height	Высота пика интеграции	0	нет	Не используется в методе турбулентных пульсаций
CO2 Sample	Мощность, полученная от источника в диапазоне поглощения CO2	Порядка 21000	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
CO2 Reference	Мощность, полученная от источника в контрольном диапазоне CO2	Порядка 29000	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
H2O Sample	Мощность, полученная от источника в диапазоне поглощения H2O	Порядка 31000	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
H2O Reference	Мощность, полученная от источника в контрольном диапазоне H2O	Порядка 35000	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
CH4 Seconds	Значение времени на газоанализаторе LI7700	Текущая дата и время (местные для станции) в формате UNIX (напр. 1696010400 для 2023-09-29 18:00:00)	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики
CH4 Nano Seconds	Значение времени на газоанализаторе LI7700	9000000000	Низкая	Технический параметр для детальной диагностики

CH4 (umol/mol)	Молярная концентрация CH4	1.5 -- 3, до 6 на болотах	Высокая	Интегральная оценка работы газоанализатора CH4
CH4 (mmol/m³)	Молярная плотность CH4	Около 0.1	Средняя	Остается адекватным если в газоанализаторе LI-7700 отказала термopа или датчик давления
CH4 Signal Strength (RSSI)	Уровень сигнала по CH4 (RSSI)	>40, максимум для нового прибора -- 85	Высокая	Падение уровня сигнала - основная проблема газоанализатора LI-7700
CH4 Diagnostic Value	Диагностическое число газоанализатора LI-7700	Нормальная работа - 1. При включенном моторе вращения зеркала или насосе омывателя - 512 или 256 соответственно.	Средняя	Определение причины неисправности газоанализатора LI-7700. Расшифровка - табл 4.3 в разделе 4-4 руководства. Информация дублируется в окне интерфейса.
U (m/s)	Горизонтальная компонента ветра, измеренная по направлению северного указателя на анемометре	±5, в моменте до 15	Высокая	Оценка работы анемометра и наличия связи с ним
V (m/s)	Горизонтальная компонента ветра, измеренная по направлению 90° против часовой стрелки от северного указателя на анемометре	±5, в моменте до 15	Высокая	Оценка работы анемометра и наличия связи с ним
W (m/s)	Вертикальная компонента ветра	±2	Высокая	Оценка работы анемометра и наличия связи с ним
TS (°C)	Температура воздуха, рассчитанная по скорости звука (акустическая температура)	Примерно равна температуре воздуха ± 2 град	Высокая	Оценка работы анемометра и наличия связи с ним. Рассчитанный параметр, но удобный для интерпретации
SOS (m/s)	Скорость звука, измеренная на анемометре	280 -- 380 (соответствует -40 -- +40°C)	Средняя	Непосредственно измеренное значение, по которому рассчитывается значение TS
AnemDiag	Диагностическое число анемометра	0	Высокая	Определение причины неисправности анемометра
CHK_1_1_1(other)	Проверка суммы для оценки достоверности данных газоанализатора LI-7700	0-255	Нет	Технический параметр для детальной диагностики

* Информативность для общей диагностики:

Высокая - обязательно проверить

Средняя - можно проверить, если есть подозрения

Низкая - для обычной диагностики проверять не нужно

Нет - значения не имеют смысла

5 СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА ПЕРЕМЕННЫХ СИСТЕМЫ ВЮМЕТ ("МЕДЛЕННЫЕ ДАННЫЕ")

Переменная (ед. изм.)	Описание	Соответствующий прибор	Нормальное значение	Информативность для диагностики
ALB_1_1_1(other)	Альбедо	CNR4	Днем (когда SWIN > 200) 0.1 -- 0.2, если снег - до 0.9. ALB=SWOUT/SWIN	Средняя. Можно оценить работу сенсоров коротковолновой радиации
DAQM_T_1_1_1(C)	Температура модуля регистратора	DAQM	Примерно TA_1_1_1 или выше или NAN	Низкая. При SWIN < 200 примерно равна температуре воздуха.
DAQM_V_1_1_1(V)	Напряжение на входе питания модуля регистратора	DAQM	>12.4	Низкая
DRM_POWER_STATUS_1_1_1(other)	Режим работы модуля сохранения данных (DRM)	DRM	15	Низкая
DRM_V_BATTERY_1_1_1(V)	Напряжение на резервной батарее DRM	DRM	>12.4, если приближается к 11, то скоро отключится	Средняя. Можно оценить состояние резервной батареи при проблемах с электроснабжением
DRM_V_MAIN_1_1_1(V)	Напряжение на входе питания DRM (соответственно и на выходе системы электропитания)	DRM	Около 24В (или 12В)	Высокая. Можно оценить состояние АКБ системы электроснабжения
LWIN_1_1_1(W/m^2)	Приходящая длинноволновая радиация	CNR4	250 -- 450 при +20 °C; 100 - 300 при -10 °C	Средняя. Можно детальнее оценить работу одного из 4-х сенсоров балансомера
LWOUT_1_1_1(W/m^2)	Восходящая длинноволновая радиация	CNR4	400 -- 600 при +20 °C; 250 - 300 при -10 °C	Средняя. Можно детальнее оценить работу одного из 4-х сенсоров балансомера
PPFD_1_1_1(umol/m^2/s^1)	Плотность потока фотосинтетически активной радиации (ФАР)	LI-190R	Ночью 0 или -0.01, днем до 1500 (примерно в 2 раза больше SWIN)	Высокая. Оценка работоспособности датчика ФАР
P_RAIN_1_1_1(mm)	Жидкие осадки	TE-525M	Чаще 0. Если дождь, то может быть 0.2	Информативность текущих данных невелика.
RH_1_1_1(%)	Относительная влажность воздуха	HMP155	20% (сухо) -- 100% (дождь, туман, часто ночью)	Высокая. Оценка состояния сенсора HMP155. Рассчитав точку росы, можно сравнить с показаниями газоанализатора.
RN_1_1_1(W/m^2)	Радиационный баланс	CNR4	Зима: до 200 днем. Лето: 400 -- 800 днем (около 80% от SWIN). Ночью -100 -- 0. RN = SWIN + LWIN - SWOUT - LWOUT	Высокая. Можно оценить работу балансомера по одному параметру
Relay_1_1_1(other)	Состояние выхода реле 1	DAQM	Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC	Информативность текущих данных низкая

Relay_2_1_1(other)	Состояние выхода реле 2	DAqM	Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC	Информативность текущих данных низкая
Relay_3_1_1(other)	Состояние выхода реле 3	DAqM	Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC	Информативность текущих данных низкая
SHFSENS_1_1_1(other)	Чувствительность датчика потока тепла в почву, определенная в результате процедуры самокалибровки	HFP01-SC	5.5 -- 6.5 e-05	Средняя. Можно судить о правильности установки сенсора
SHFSENS_2_1_1(other)	Чувствительность датчика потока тепла в почву, определенная в результате процедуры самокалибровки	HFP01-SC	5.5 -- 6.5 e-05	Средняя. Можно судить о правильности установки сенсора
SHFSENS_3_1_1(other)	Чувствительность датчика потока тепла в почву, определенная в результате процедуры самокалибровки	HFP01-SC	5.5 -- 6.5 e-05	Средняя. Можно судить о правильности установки сенсора
SHF_1_1_1(W/m^2)	Поток тепла в почву	HFP01-SC	-40 -- +60	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
SHF_2_1_1(W/m^2)	Поток тепла в почву	HFP01-SC	-40 -- +60	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
SHF_3_1_1(W/m^2)	Поток тепла в почву	HFP01-SC	-40 -- +60	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
SWC_1_1_1(m^3/m^3)	Содержание влаги в почве	Hydra Probe II	0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито). Обычно около 0.2	Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)
SWC_2_1_1(m^3/m^3)	Содержание влаги в почве	Hydra Probe II	0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито). Обычно около 0.2	Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)
SWC_3_1_1(m^3/m^3)	Содержание влаги в почве	Hydra Probe II	0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито). Обычно около 0.2	Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)
SWIN_1_1_1(W/m^2)	Приходящая коротковолновая радиация	CNR4	Ночью 0 (может быть до -5), днем до 1000, пасмурным - до 200	Средняя. Можно детальнее оценить работу одного из 4-х сенсоров балансомера
SWOUT_1_1_1(W/m^2)	Отраженная коротковолновая радиация	CNR4	Днем над растительностью около 10-20% от приходящей коротковолновой	Средняя. Можно детальнее оценить работу одного из 4-х сенсоров балансомера
TA_1_1_1(C)	Температура воздуха	HMP155	-40 -- +40	Высокая. Можно сравнить с температурой почвы, температурой корпуса балансомера, Tin, Tout газоанализатора и пр
TCNR4_C_1_1_1(C)	Температура корпуса балансомера CNR4	CNR4	-40 -- +40	Средняя. Можно оценить работу модуля нагрева и вентиляции. Температура должна быть близка к температуре воздуха (± 2 град)
TS_1_1_1(C)	Температура почвы	Hydra Probe II	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными

TS_2_1_1(C)	Температура почвы	Hydra Probe II	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
TS_3_1_1(C)	Температура почвы	Hydra Probe II	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
TS_4_1_1(C)	Температура почвы	Thermistor	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
TS_5_1_1(C)	Температура почвы	Thermistor	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными
TS_6_1_1(C)	Температура почвы	Thermistor	-40 -- +70	Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными