

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

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

Версия 1.0 (2023-11-29)

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

| | |
|---|----|
| 1 Введение..... | 3 |
| 2 Виды технических работ по поддержанию станций..... | 4 |
| 3 Содержание технических работ по поддержанию станций..... | 6 |
| 4 Справочная таблица переменных системы EddyFlux (“быстрые данные”) | 10 |
| 5 Справочная таблица переменных системы Biomet (“медленные данные”) | 16 |

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 характеристиках. 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/проверка, 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 USB-носителя (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 молнией. Повреждение кабелей, нарушение контакта в коннекторах |
| Газоанализатор CO₂/H₂O LI-7200 (закрытого типа) | Проверка на наличие предупреждений, текущих значений (концентрации, давление, температура), состояние USB-носителя (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 молнией. 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, | Попадание влаги внутрь корпуса при невертикальной установке. Повреждения от перенапряжений, индуцированных молнией. Повреждение |

| | | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|--|
| | | | | | замерзание, повреждение трубы). Истощение ресурса внутреннего осушителя. Проблемы ПО - рассинхронизация с модулем сопряжения | кабелей, нарушение 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 Cage 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/проверка в лаборатории, замена/очистка фильтра | | Смещение показаний датчика влажности, коррозия/обрастане 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 TE-525M | --- | 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 LI-COR 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 |
| Радиометр-балансомер 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 HFP01-SC | 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 | Проверка физического состояния надземной части кабелей | | Калибровка/сверка с эталонным датчиком или между собой, последующая | --- | Нарушение контакта с почвой. Повреждение кабелей |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|
| | измерениями | | | переустановка* | | |
| 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/обогревателей) | 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, антакоррозионные 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 PTP |
| Date | Дата | Текущая дата | Высокая | Оценка работы синхронизации времени PTP |
| Sequence Number | Индекс записи (строки) | --- | Низкая | Технический параметр для детальной диагностики |
| CO2 (mmol/m³) | Молярная плотность CO2 | 14 -- 25 | Средняя | Значение, не зависящее от измерений атмосферного давления и температуры |
| CO2 (mg/m³) | 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/m³) | 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 | 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 | 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 | | 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 |

| | | | | |
|-------------------------------|---|--|---------|--|
| | Sw) | | | |
| 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 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 | 0 | нет | Не используется в методе турбулентных |

| | | | | |
|-----------------------------------|---|--|---------|--|
| | времени | | | 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 LI-7700 | 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 LI-7700 | 900000000 | 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/m^3) | Молярная плотность CH4 | Около 0.1 | Средняя | Остается адекватным если в газоанализаторе LI-7700 отказала термопара 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 ВИОМЕТ (“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 балансометра |
| 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 балансометра |
| PPFD_1_1_1(umol/m^2/s^1) | Плотность потока фотосинтетически активной | LI-190R | Ночью 0 или -0.01, днем до 1500 (примерно в 2 раза больше SWIN) | Высокая. Оценка работоспособности датчика ФАР |

| | | | | |
|----------------------|---|----------|---|---|
| | радиации (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/m²) | Поток тепла в почву | HFP01-SC | -40 -- +60 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| SHF_2_1_1(W/m²) | Поток тепла в почву | HFP01-SC | -40 -- +60 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| SHF_3_1_1(W/m²) | Поток тепла в почву | HFP01-SC | -40 -- +60 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| SWC_1_1_1(m^{3/m³} | 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/m³} | 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/m³} | 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/m²) | 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/m²) | 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 |