

# 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 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                                       |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|
| <b>Периодичность</b>          | 1 неделя или чаще  | 2-4 недели                          | 6-12 мес   | 12-24 мес                                  |
| <b>Состав работ</b>           | Проверка на наличие предупреждений, оценка качества текущих данных | Общий осмотр, стандартные процедуры | Углубленная диагностика, полевая калибровка, обновление ПО | Полная ревизия, калибровка/поверка, ремонт |
| <b>Требуемая квалификация</b> | Доверенный пользователь ПО   | Техник / лаборант                   | Квалифицированный пользователь                             | Квалифицированный инженер                  |
| <b>Место проведения</b>       | 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  |
|--|---|--|---|---|---|--|
| <b>Газоанализатор CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O LI-7500 (открытого типа)</b> | 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 <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> 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             |
| <b>Газоанализатор CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O LI-7200 (закрытого типа)</b> | 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 <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> 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 |
| <b>Газоанализатор CH<sub>4</sub> LI-7700</b>                                 | 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 трубки). Истощение ресурса внутреннего осушителя. Проблемы ПО - рассинхронизация с модулем сопряжения | кабелей, нарушение контакта в коннекторах  |
| <b>Анемометр</b>                                  | 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 |
| <b>Модуль расчета потоков SmartFlux2</b>          | 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.   |
| <b>Модуль регистрации данных Biomet: DAqM+DRM</b> | Проверка напряжения резервной батареи, общий статус              |  |   | Замена резервного аккумулятора  | Внутренние повреждения, вызванные перегрузкой выхода питания  | Потеря емкости резервного аккумулятора (выработка ресурса либо замерзание)   |
| <b>Термогигрометр HMP155 + radiation shield</b>   | 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/поверка 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   |
| <b>Осадкомер TE-525M</b>                               | ---  | Проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля). Очистка воронки, проверка горизонтальности                    | Калибровка (проверка) полевая*                           | Калибровка, по необходимости - регулировка   | Засорение воронки. Нарушение горизонтальности   | Повреждение кабелей   |
| <b>Датчик ФАР LI-COR 190R</b>                          | 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 |
| <b>Радиометр-балансомер K&amp;Z CNR4 + CNF4</b>        | 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      |
| <b>Датчики потока тепла в почву Hukseflux HFP01-SC</b> | 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  |
| <b>Датчики температуры почвы LI-COR Thermistors</b>    | 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*  |   |  |
| <b>Датчики влажности и температуры почвы Stevens Hydra Probe II</b> | 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   |
| <b>Цифровая камера StarDot PhenoCam</b>                             | Проверка работоспособности и наличие изображений в архиве        | Очистка стекла защитного корпуса, проверка физического состояния (повреждения корпуса, кабеля)                            | ---   | ---   | Потеря связи с модулем SmartFlux  | Повреждение кабелей  |
| <b>Система автономного / резервного электроснабжения</b>            | 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 (сжигает контроллер). Повреждение кабелей  |
| <b>Несущая конструкция</b>  | ---  | 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<br>(ед. изм)         | Описание                          | Нормальное значение                             | Информативность<br>для общей<br>диагностики | Комментарий   |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|
| <b>Time</b>                     | Время на станции                  | Актуальное время (местное для станции)          | Высокая                                     | Оценка работы синхронизации времени РТР   |
| <b>Date</b>                     | Дата                              | Текущая дата                                    | Высокая                                     | Оценка работы синхронизации времени РТР   |
| <b>Sequence Number</b>          | Индекс записи (строки)            | ---   | Низкая                                      | Технический параметр для детальной диагностики  |
| <b>CO2 (mmol/m<sup>3</sup>)</b> | Молярная плотность CO2            | 14 -- 25  | Средняя                                     | Значение, не зависящее от измерений атмосферного давления и температуры   |
| <b>CO2 (mg/m<sup>3</sup>)</b>   | Удельная плотность CO2            | 600 -- 1100                                     | Низкая                                      | Молярная плотность * 44 г/моль (молярная масса CO2)   |
| <b>CO2 Absorptance</b>          | Коэффициент поглощения по CO2     | 0.07 -- 0.14                                    | Средняя                                     | Изначально измеренное значение, не зависящее от значений атм. давления, температуры и калибровочных коэффициентов |
| <b>CO2 (umol/mol)</b>           | Молярная доля CO2                 | 350 (днем) -- 600 (ночью)                       | Высокая                                     | Интегральная оценка работы газоанализатора по CO2. Единицы измерения по-другому называются ppm                    |
| <b>CO2 dry(umol/mol)</b>        | Молярная доля CO2 в сухом воздухе | Примерно на 2% выше общей молярной концентрации | Низкая                                      | Рассчитанное значение   |
| <b>H2O (mmol/m<sup>3</sup>)</b> | Молярная плотность H2O            | 100 (при -10 °C) -- 1200 (при +30 °C)           | Высокая                                     | Значение, не зависящее от измерений атмосферного давления и температуры. Измеряется в микроль CO2/моль сухого     |

|                              |  |   |         |   |
|------------------------------|--|---|---------|---|
|                              |  |   |         | воздуха   |
| <b>H2O (g/m<sup>3</sup>)</b> | 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                                    |
| <b>H2O Absorptance</b>       | Коэффициент поглощения по H2O                            | 0.02 -- 0.12  | Средняя | Изначально измеренное значение, не зависящее от значений атм. давления, температуры и калибровочных коэффициентов |
| <b>H2O (mmol/mol)</b>        | Молярная доля H2O  | 3 -- 30   | Средняя | Интегральная оценка работы газоанализатора по H2O   |
| <b>Dew Point (C)</b>         | Точка росы   | Ниже "Temperature In" как минимум на 2 градуса  | Высокая | Интегральная оценка работы газоанализатора по H2O, удобная для интерпретации                                      |
| <b>H2O dry(mmol/mol)</b>     | Молярная доля H2O в сухом воздухе                        | Примерно на 2% выше общей молярной концентрации   | Низкая  | Рассчитанное значение. Измеряется в миллимоль H2O/моль сухого воздуха   |
| <b>Cell Temperature (C)</b>  | Температура воздуха в ячейке анализатора                 | Примерно на 1 ° выше актуальной температуры воздуха (если используется трубка воздухозабора с подогревом) | Низкая  | Рассчитанное значение   |
| <b>Temperature In (C)</b>    | 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  |
| <b>Temperature Out (C)</b>   | Температура на выходе из ячейки                          | Чуть ниже Temperature In  | Высокая | Оценка работы термопары   |
| <b>Block Temperature (C)</b> | 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                               |
| <b>Total Pressure (kPa)</b>  | Абсолютное атмосферное давление в ячейке газоанализатора |   | Низкая  | Рассчитанное значение   |

|                                   |   |   |         |   |
|-----------------------------------|---|---|---------|---|
| <b>Box Pressure (kPa)</b>         | 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   |
| <b>Head Pressure (kPa)</b>        | Дифференциальное давление в ячейке газоанализатора                        | Перепад давления. Около -2 -- -2.5  | Высокая | Значения менее -3 могут свидетельствовать о засорении воздухозабора и/или фильтра   |
| <b>Diagnostic Value</b>           | Диагностическое число газоанализатора CO2/H2O                             | 8191 или чуть меньше  | Средняя | Определение причины неисправности газоанализатора CO2/H2O. Информация дублируется в окне интерфейса.                        |
| <b>Diagnostic Value 2</b>         | Диагностическое число синхронизации с LI-7700                             | =1  | Средняя | Диагностика синхронизации газоанализатора CH4 LI-700 с модулем сопряжения LI-7550. Информация дублируется в окне интерфейса |
| <b>Cooler Voltage (v)</b>         | Напряжение на охладителе детектора  | 0.5 -- 5  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики  |
| <b>Chopper Cooler Voltage (v)</b> | Напряжение на охладителе прерывателя (стробоскопа)                        | 0.5 -- 5  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики  |
| <b>Smart Flux Vin (v)</b>         | 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                    |
| <b>CO2 Signal Strength</b>        | Сила ИК-сигнала по CO2 (Sc)   | 85 -- 100   | Высокая | Оценка степени загрязнения оптического пути газоанализатора CO2/H2O   |
| <b>H2O Signal Strength</b>        | Сила ИК-сигнала по H2O (Sw)   | 85 -- 100   | Высокая | Оценка степени загрязнения оптического пути газоанализатора CO2/H2O   |
| <b>Average Signal Strength</b>    | Средняя сила ИК-сигнала (Sc+Sw)/2   | 85 -- 100   | Средняя | Рассчитанное значение   |
| <b>Delta Signal Strength</b>      | Разница силы сигнала по CO2 и H2O (Sc-0 -- 3                              |   | Низкая  | Рассчитанное значение   |

|                               |   |  |         |  |
|-------------------------------|---|--|---------|--|
|                               | Sw)   |  |         |  |
| <b>7550 Auxiliary Input 1</b> | Напряжение на аналоговом входе 1 модуля сопряжения            | около 0 (если не используется)   | Нет     | В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются  |
| <b>7550 Auxiliary Input 2</b> | Напряжение на аналоговом входе 2 модуля сопряжения            | около 0 (если не используется)   | Нет     | В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются  |
| <b>7550 Auxiliary Input 3</b> | Напряжение на аналоговом входе 3 модуля сопряжения            | около 0 (если не используется)   | Нет     | В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются  |
| <b>7550 Auxiliary Input 4</b> | Напряжение на аналоговом входе 4 модуля сопряжения            | около 0 (если не используется)   | Нет     | В рассматриваемой стандартной конфигурации аналоговые входы не используются  |
| <b>Flow Rate (slpm)</b>       | 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        |
| <b>Flow Rate (lpm)</b>        | Расход воздуха в насосном модуле                              | Примерно то же, что и в slpm   | Средняя | примерно то же, что и в slpm   |
| <b>Flow Power (V)</b>         | Напряжение, подаваемое на мотор насосного модуля              | Около 10   | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики                               |
| <b>Flow Pressure (kPa)</b>    | Дифференциальное давление в воздушной линии насосного модуля. | От 0 до 4.5  | Средняя | Может указывать на засорение пути прокачки воздуха в газоанализаторе CO2/H2O |
| <b>Flow Drive (%)</b>         | 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        |
| <b>Integral</b>               | Результат интеграции концентраций по                          | 0  | нет     | Не используется в методе турбулентных  |

|                                   |   |  |         |  |
|-----------------------------------|---|--|---------|--|
|                                   | времени   |  |         | пульсаций  |
| <b>Peak Height</b>                | Высота пика интеграции  | 0  | нет     | Не используется в методе турбулентных пульсаций  |
| <b>CO2 Sample</b>                 | Мощность, полученная от источника в диапазоне поглощения CO2  | Порядка 21000  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики   |
| <b>CO2 Reference</b>              | Мощность, полученная от источника в контрольном диапазоне CO2 | Порядка 29000  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики   |
| <b>H2O Sample</b>                 | Мощность, полученная от источника в диапазоне поглощения H2O  | Порядка 31000  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики   |
| <b>H2O Reference</b>              | Мощность, полученная от источника в контрольном диапазоне H2O | Порядка 35000  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики   |
| <b>CH4 Seconds</b>                | 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   |
| <b>CH4 Nano Seconds</b>           | Значение времени на газоанализаторе LI-7700                   | 900000000  | Низкая  | Технический параметр для детальной диагностики   |
| <b>CH4 (umol/mol)</b>             | Молярная концентрация CH4                                     | 1.5 -- 3, до 6 на болотах  | Высокая | Интегральная оценка работы газоанализатора CH4   |
| <b>CH4 (mmol/m^3)</b>             | Молярная плотность CH4  | Около 0.1  | Средняя | Остается адекватным если в газоанализаторе LI-7700 отказала термопара или датчик давления  |
| <b>CH4 Signal Strength (RSSI)</b> | Уровень сигнала по CH4 (RSSI)                                 | >40, максимум для нового прибора -- 85   | Высокая | Падение уровня сигнала - основная проблема газоанализатора LI-7700   |
| <b>CH4 Diagnostic Value</b>       | 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. |

|                         |  |   |         |   |
|-------------------------|--|---|---------|---|
| <b>U (m/s)</b>          | Горизонтальная компонента ветра, измеренная по направлению северного указателя на анемометре                               | +5, в моменте до 15                           | Высокая | Оценка работы анемометра и наличия связи с ним  |
| <b>V (m/s)</b>          | 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  |
| <b>W (m/s)</b>          | Вертикальная компонента ветра  | +2  | Высокая | Оценка работы анемометра и наличия связи с ним  |
| <b>TS (°C)</b>          | 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 |
| <b>SOS (m/s)</b>        | Скорость звука, измеренная на анемометре   | 280 -- 380 (соответствует -40 -- +40°C)       | Средняя | Непосредственно измеренное значение, по которому рассчитывается значение TS                         |
| <b>AnemDiag</b>         | Диагностическое число анемометра   | 0   | Высокая | Определение причины неисправности анемометра  |
| <b>CHK_1_1_1(other)</b> | 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 BIOMET (“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.<br>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  | LI-190R                | Ночью 0 или -0.01, днем до 1500 (примерно в 2 раза больше SWIN)           | Высокая. Оценка работоспособности датчика ФАР  |



|                             |   |          |   |   |
|-----------------------------|---|----------|---|---|
|                             | радиации (ФАР)  |          |   |   |
| <b>P_RAIN_1_1_1(mm)</b>     | Жидкие осадки   | TE-525M  | Чаще 0. Если дождь, то может быть 0.2   | Информативность текущих данных невелика.  |
| <b>RH_1_1_1(%)</b>          | Относительная влажность воздуха   | HMP155   | 20% (сухо) -- 100% (дождь, туман, часто ночью)  | Высокая. Оценка состояния сенсора HMP155. Рассчитав точку росы, можно сравнить с показаниями газоанализатора. |
| <b>RN_1_1_1(W/m^2)</b>      | 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   |
| <b>Relay_1_1_1(other)</b>   | Состояние выхода реле 1   | DAqM     | Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC   | Информативность текущих данных низкая   |
| <b>Relay_2_1_1(other)</b>   | Состояние выхода реле 2   | DAqM     | Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC   | Информативность текущих данных низкая   |
| <b>Relay_3_1_1(other)</b>   | Состояние выхода реле 3   | DAqM     | Около 0, около 1 во время самокалибровки SHF01-SC   | Информативность текущих данных низкая   |
| <b>SHFSENS_1_1_1(other)</b> | 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  |
| <b>SHFSENS_2_1_1(other)</b> | 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  |
| <b>SHFSENS_3_1_1(other)</b> | 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  |

|                           |                                      |                |   |   |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------|---|---|
| <b>SHF_1_1_1(W/m^2)</b>   | Поток тепла в почву                  | HFP01-SC       | -40 -- +60  | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными   |
| <b>SHF_2_1_1(W/m^2)</b>   | Поток тепла в почву                  | HFP01-SC       | -40 -- +60  | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными   |
| <b>SHF_3_1_1(W/m^2)</b>   | Поток тепла в почву                  | HFP01-SC       | -40 -- +60  | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными   |
| <b>SWC_1_1_1(m^3/m^3)</b> | Содержание влаги в почве             | Hydra Probe II | 0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито).<br>Обычно около 0.2              | Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)   |
| <b>SWC_2_1_1(m^3/m^3)</b> | Содержание влаги в почве             | Hydra Probe II | 0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито).<br>Обычно около 0.2              | Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)   |
| <b>SWC_3_1_1(m^3/m^3)</b> | Содержание влаги в почве             | Hydra Probe II | 0.05 (пик засухи) -- 0.5 (залито).<br>Обычно около 0.2              | Высокая. Можно оценить работу сенсора и наличие связи с ним (по цифровому каналу)   |
| <b>SWIN_1_1_1(W/m^2)</b>  | 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  |
| <b>SWOUT_1_1_1(W/m^2)</b> | Отраженная коротковолновая радиация  | CNR4           | Днем над растительностью около 10-20% от приходящей коротковолновой | Средняя. Можно детальнее оценить работу одного из 4-х сенсоров балансомера  |
| <b>TA_1_1_1(C)</b>        | Температура воздуха                  | HMP155         | -40 -- +40  | Высокая. Можно сравнить с температурой почвы, температурой корпуса балансомера, Tin, Tout газоанализатора и пр              |
| <b>TCNR4_C_1_1_1(C)</b>   | Температура корпуса балансомера CNR4 | CNR4           | -40 -- +40  | Средняя. Можно оценить работу модуля нагрева и вентиляции. Температура должна быть близка к температуре воздуха (+- 2 град) |

|                    |                   |                |            |   |
|--------------------|-------------------|----------------|------------|---|
| <b>TS_1_1_1(C)</b> | Температура почвы | Hydra Probe II | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| <b>TS_2_1_1(C)</b> | Температура почвы | Hydra Probe II | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| <b>TS_3_1_1(C)</b> | Температура почвы | Hydra Probe II | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| <b>TS_4_1_1(C)</b> | Температура почвы | Thermistor     | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| <b>TS_5_1_1(C)</b> | Температура почвы | Thermistor     | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |
| <b>TS_6_1_1(C)</b> | Температура почвы | Thermistor     | -40 -- +70 | Высокая. Можно оценить работу сенсора, сравнив с аналогичными |