

2.1. Координатно-телеметрические данные

В широком смысле слова, к координатно-телеметрическим данным относится вся измерительная информация, используемая системой радиозондирования во время проведения и обработки результатов выпуска радиозонда. Напомним основные сведения о методе радиозондирования и основных принципах работы систем отечественных радиозондирования, необходимых для понимания дальнейшего материала. Более фундаментальные сведения можно почерпнуть из [литературы](#).

Система радиозондирования состоит из радиозонда, выпускаемого в свободный полет на оболочке, наполненной газом легче воздуха, и наземной станции и обеспечивает определение вертикального распределения давления, температуры, влажности, геопотенциальной высоты, скорости и направления ветра в атмосфере от поверхности Земли до предельных высот подъема оболочки, несущей радиозонд (до 30 и даже 40 км). В момент выпуска радиозонда в полет проводятся измерения наземных значений температуры, влажности воздуха, давления, скорости и направление ветра, а также определение количества и формы облаков.

В отечественных системах определение вертикального распределения метеовеличин в атмосферы обеспечивается за счет одновременного измерения температуры, влажности и траектории полета радиозонда в сферических координатах: наклонной дальности, азимута и угла места¹ (углового возвышения). Сферические координаты преобразуются в прямоугольные: удаление на север, удаление на восток и высоту над уровнем моря. Для учета радиационного перегрева в дневное время² температура исправляется на радиационную поправку, зависящую от высоты Солнца и высоты подъема радиозонда. По данным о наземном давлении и распределении температуры и влажности с высотой по уравнению гидростатики определяется давление. Строго говоря, для учета изменения ускорения свободного падения с высотой вместо геометрической используется геопотенциальная высота. Для определения направления и скорости ветра используются данные о горизонтальной проекции траектории (горизонтальной траектории) полета радиозонда в последовательные моменты времени.

Радиозонд³ является средством измерения одноразового использования с датчиками температуры и влажности. Он обеспечивает измерение выходных информативных параметров⁴ датчиков температуры и влажности, их преобразование в радиотелеметрический сигнал и его передачу на наземную станцию, а также вырабатывает ответный сигнал на запросный сигнал по дальности, излучаемый наземной станцией. Приемопередатчик радиозонда излучает СВЧ-сигнал с несущей частотой 1680 или 1782 МГц и модулирующими частотами, которые используются для передачи телеметрической и радиотелеметрической информации. Для передачи телеметрической информации о температуре и влажности используется временное разделение каналов. Канальным интервалом называется время

¹ Азимут и угол места часто называют угловыми координатами или просто углами.

² Ночное радиационное выхолаживание не учитывается.

³ Рассматриваются радиозонды типа МРЗ-3А и совместимые с ними.

⁴ Для датчика температуры – сопротивления, для датчика влажности в зависимости от типа радиозонда – сопротивления, напряжения или емкости.

передачи одного типа измерений: температуры, влажности или опорного сопротивления. Последнее используется для компенсации влияния изменений напряжения питания батареи радиозонда и внутренней температуры радиозонда в целях повышения точности измерений. Телеметрическая информация передается в виде периода следования частотных изменений суперирующей частоты 800 кГц (метеоимпульсов), а длительность этих изменений характеризует тип канала – длительность метеоимпульсов в опорном канале примерно в два раза короче длительности импульсов в каналах температуры и влажности. Период последовательной передачи каналов называется циклом. Цикл коммутации телеметрических каналов радиозонда устроен таким образом, что телеметрические каналы передаются поочередно: опорный-температурный-влажностный-температурный, в течение примерно одинакового промежутка времени (канального интервала), при этом длительность цикла должна находиться в пределах 20.4...21.6 с. Для расчета температуры/влажности используется безразмерный параметр – отношение среднего периода в опорном канале и среднего периода в температурном/влажностном канале, а также индивидуальные калибровочные коэффициенты датчиков и измерительного преобразователя радиоблока.

Наземная станция производит определение координат, прием и регистрацию сигналов радиозонда в полете и обеспечивает обработку результатов наблюдений. Наземные станции всех отечественных систем радиозондирования являются аэрологическими радиолокационными вычислительными комплексами (АРВК). Все АРВК функционируют по принципу радиолокационного измерения координат с автоматическим сопровождением радиозонда и использованием совмещенного радиоканала для передачи телеметрической и радиолокационной информации. Для определения дальности передатчик АРВК облучает радиозонд запросными импульсами сотни раз в секунду. При облучении радиозонда запросными импульсами в радиотелеметрическом сигнале приемопередатчика радиозонда образуется ответная пауза. По временному интервалу между запросным импульсом и ответной паузой в сигнале радиозонда определяется наклонная дальность до радиозонда. Измерение угловых координат осуществляется методом равносигнальной зоны, при котором диаграмма направленности антенны АРВК механическим или электронным способом вращается около электрической оси антенны. Это приводит к амплитудной модуляции принятого сигнала с частотой сканирования. По фазе и амплитуде огибающей определяется направления и величина отклонения положения радиозонда от электрической оси антенны. По сигналу рассогласования угловая автоматика постоянно осуществляет слежение за положением радиозонда. Во время полете наземная станция осуществляет измерения несущей частоты радиозонда, уровень мощности его сигнала.

Координатно-телеметрические данные достаточно часто называют «сырыми» данными. Этот термин пришел из документов ВМО, где его употребление, однако, более узкое. В контексте измерительной техники⁵, связанной с измерениями метеорологических величин, в руководящих документах ВМО /9, 13, 14/ используется классификация уровней данных наблюдений, которая была введена в связи с системой обработки данных для Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП):

⁵ В классификации рассматривается еще и выходящий за рамки собственно системы наблюдений уровень III: в общем случае в узлах регулярной сетки, полученные по данным уровня II.

Согласованные наборы данных, в

Уровень 0: Сырые данные. Это сигналы, поступающие непосредственно от датчиков и преобразователей, например: напряжения, токи, периоды, количество импульсов, мощность сигнала, напряжение питания и т.п.

Уровень I: Первичные данные. Ими в общем случае являются результаты измерений физических величин, на которые реагируют датчики, выраженные в соответствующих физических единицах, или необработанные показания. Например, сопротивление датчика температуры радиозонда или положение радиозонда, но не сырые телеметрические частоты. Данные уровня I могут требовать перевода в метеорологические величины, определенные в требованиях к данным, с использованием соответствующих функций преобразования (калибровок) и введения необходимых поправок.

Уровень II: Метеорологические величины и обработанные данные. Для многих видов простых приборов они могут быть получены непосредственно из их показаний, для более сложных измерительных систем они вычисляются по данным уровня I (например, ветер, полученный по данным последовательных положений шаров-зондов). Другой пример – измерения видимости, которая является величиной уровня II. Она вычисляется из измеряемого прибором коэффициента экстинкции, которая является величиной уровня I.

Эта классификация является более подробной, чем распространенное разделение данных на обработанные и «сырые», где под последними понимаются данные на любых промежуточных этапах обработки. Однако в этом случае данные, называемыми «сырыми» не всегда допускают возможность повторной обработки. Например, имея только привязанные ко времени показания температуры и влажности, затруднительно скорректировать результаты обработки в случае ошибок ввода калибровочных коэффициентов радиозонда. В данном пособии рассматриваются в общем случае сырые и первичные координатно-телеметрические данные с соответствующими уточнениями, там где это необходимо.

Как показывает опыт, в общем случае сохранять в архивах файлов данных радиозондирования имеет смысл всю информацию, которую позволяет регистрировать программное обеспечение.

Примеры данных уровня 0, рекомендуемых для архивации:

- угол места, азимут и наклонная дальность до радиозонда (для АВК показания сельсинов грубого и точного отсчетов по углу места и азимуту);
- несущая частота радиозонда, признак состояния системы автоматической подстройки частоты приемника (вкл/выкл);
- уровень сигнала или отношение сигнал/шум (признак состояния сигнала «ПЕРЕПАД» – АВК-АРМ, уровень АРУ – АВК-АП);
- сигнал ошибки пеленга радиозонда ("равносигнальная зона");
- признак захвата радиозонда боковым лепестком (для МАРЛ-А);
- признаки ручного сопровождения по углу места, азимуту и дальности;
- для Вектор-М – признаки состояния блоков Блока обработки и управления, положения индикаторов квадрантного сканирования на панели «Слежение», коэффициент усиления на панели «Приемопередатчик»;

- состояние программных переключателей (желательно, и аппаратных – для «Вектор-М»), определяющих режимы работы АРВК:
 - АВК-АП: контроль ухода в зенит, контроль рассогласования, контроль уровня АРУ, использование автопуска;
 - МАРЛ-А: автопоиск, аттенюатор, ближняя зона, АПЧ, захват;
 - Вектор-М: управление антенной (местное, дистанционное, ручное), ближняя/дальняя зона и «автопереход», автоматическая подстройка частоты и усиления;
- средние периоды следования и скважности телеметрических импульсов за канальный интервал.

Для обеспечения приемлемой точности подробных результатов обработки с высоким вертикальным разрешением для сырых координатных данных целесообразен темп регистрации 1 с.

Данные уровня I, рекомендуемые для архивации:

- обработанные и проконтролированные горизонтальные координаты и высота радиозонда с учетом поправки на кривизну и рефракцию с темпом регистрации сырых координатных данных, признак/оценка достоверности;
- обработанные и проконтролированные температура и влажность, привязанные к середине соответствующего канального интервала с точностью не хуже 0.1 с, признак/оценка достоверности;
- привязанные к единой регулярной сетке не реже 10 с обработанные и проконтролированные температура с учетом радиационной поправки, геопотенциальная высота и горизонтальные координаты радиозонда, признак/оценка достоверности⁶.

Дополнительно рекомендуется регистрировать телеметрическую информацию в течение предполетной проверки и телеметрическую информацию и координаты радиозонда сразу после включения автозахвата радиозонда до выпуска радиозонда. Эти данные рекомендуется привязывать либо к абсолютному времени, либо ко времени отрицательному относительно момента выпуска (предпочтительно), либо с использованием обратного отсчета по отношению к моменту выпуска. Время действительного выпуска рекомендуется регистрировать с точностью не хуже секунды.

Наконец, обязательно необходимо упомянуть об обязательности архивации метаданных.

К метаданным (данным о данных) относят информацию, описывающую данные наблюдений, включая методы и средства их получения и обработки. В силу ограничений используемых метеорологических кодов далеко не все необходимые метаданные передаются вместе с результатами наблюдений. Такими метаданными, без которых

⁶ Именно эти данные могут использоваться для пост-обработки с целью получения подробных вертикальных профилей, если это не предусмотрено штатным ПО, т.к. они практически однозначно определяют результаты обработки (с точностью до толщины слоя, используемого для определения ветра). Однако в ряде случаев низкий уровень защищенности используемого ПО к атипичным ошибкам, вызванным отказами технических средств, делает более предпочтительным использование для этой цели сырых данных.

использование результатов радиозондирования либо невозможно, либо нецелесообразно, являются географические координаты аэрологической станции. Отдельным важным видом метаданных являются данные о наличии и качестве измерительной информации.

Метаданные для выпуска радиозонда можно разделить на несколько видов. Условно-постоянные метаданные достаточно редко изменяются от выпуска к выпуску, в частности они могут формироваться при установке или модернизации наземной станции, обновлении ПО, переносе АЭ или станционного барометра. Часть переменных метаданных, относящихся к конкретному выпуску, характеризует условия его проведения, а часть – собственно результаты измерений.

По способу ввода метаданные можно разделить на встроенные в ПО и аппаратное обеспечение (микропрограммы), явно вводимые вручную при установке или модификации настроек ПО, а также перед проведением и в процессе выпуска, а также получаемые ПО из измерительной подсистемы и создаваемые собственно ПО.

В архивируемые метаданные рекомендуется, как минимум, включать информацию, которая должна содержаться в сообщении с результатами выпуска согласно кодовой последовательностью таблицы D кода BUFR 3 09 052 «Последовательность для представления данных наблюдений типа TEMP, TEMP SHIP и TEMP MOBIL».

Дополнительно рекомендуется включать в метаданные следующую информацию (более подробно см. проект изменения №6 к коду КН-04 ТЕМП и также таблицу В кода BUFR):

- модификации наземной станции и радиозонда, не предусмотренные действующими кодовыми таблицами КН-04 (например, тип АРВК – МАРЛ-А или Вектор-М, АВК-1 и АВК-1М);
- дополнительную информации об оборудовании АЭ (наличие радиопрозрачного укрытия; оборудование, используемое для наземных наблюдений; оборудование, используемое для газодобывания);
- версию ПО обработки и, при наличии, версии программ/микропрограмм используемого АРВК, порядок регистрации версий ПО определяется по согласованию с ЦАО;
- часовой пояс (разницу между местным временем и ВСВ – должна определяться по системным установкам ПЭВМ);
- значения индивидуальных поправок, применяемых при обработке для используемой наземной станции (например, поправки по углу места и азимуту для МАРЛ-А и Вектор-М);
- идентификатор дежурной смены;
- координаты места выпуска⁷;
- серийные номера радиозонда и, при необходимости, входящих в него датчиков;

⁷ На ряде станций имеются альтернативное место выпуска в случае сезонного изменения господствующих ветров – в этих случаях желательно обеспечить возможность выбора из набора вариантов.

- калибровочные коэффициенты датчиков и радиоблока⁸;
- показания радиозонда и показания контрольных приборов при предполетной проверке радиозонда и ее результаты, характеристики стабильности показаний радиозонда, полученные поправки (если они используются⁹);
- тип источников питания радиозонда, тип оболочки и ее наполнение (подъемная сила), длину подвески;
- актуальное время измерения наземных значений температуры, влажности воздуха, давления, скорости и направления ветра;
- сведения о причинах прекращения выпуска, качестве сопровождения и телеметрической информации и результатах автоматического контроля качества данных в целом по выпуску (доля пропусков и недопустимых/недостовверных данных).

В случае необходимости ручного ввода метаданных для уменьшения ошибок ввода рекомендуется встраивать в ПО возможность выбора из набора заранее определенных вариантов¹⁰, которые можно было бы обновлять – по возможности, централизованно.

Особым видом метаданных является информация об участии наблюдателя в редактировании данных и результатов обработки, которую рекомендуется протоколировать. При этом целесообразно различать и соответствующим образом документировать этапы подготовки, проведения и завершения выпуска, вплоть до подготовки выходных документов, и последующую повторную обработку. В частности, протоколировать рекомендуется изменение/дополнение особых точек, при повторной обработке - изменение начальных данных, коэффициентов, изменение/дополнение автоматически сгенерированного текста. Любые исправления не должны «затирать» ранее полученные или введенные¹¹ значения.

В соответствии с /11/, для станций, оборудованных автоматизированными системами обработки на базе ПЭВМ (номер статьи Перечня – 111), аэрологические данные (метаданные, включая градуировочные данные радиозондов, координатно-телеметрические данные, результаты обработки и выходные сообщения, выпуска радиозондов всех систем, в том числе на НИС) подлежат хранению в Госфонде Росгидромета в электронном виде. С 2010 г. ЦАО начала осуществлять сбор и передачу во ВНИИГМИ-МЦД файловых архивов АРВК с автоматизированной обработкой результатов радиозондирования со всех АЭ Росгидромета.

⁸ Желательно, чтобы ПО предусматривало возможность автоматизированного ввода калибровочных данных при их поставке на техническом носителе. В этом случае оператору достаточно было бы ввести соответствующие серийные номера.

⁹ В настоящее время поправки не используются в первую очередь из-за бедственного состояния вентилируемых будок.

¹⁰ Как это сделано, например, при вводе информации об облачности в АП «ЭОЛ».

¹¹ После подтверждения ввода.