

Ю.И. ВОЛОЩУК, д-р техн. наук,
И.А. МИЛЮТЧЕНКО, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ МЕТЕОРНОЙ РТС.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поскольку при радиолокационном методе наблюдения метеоров, который является косвенным, регистрируются не сами метеорные тела, а явления, порождаемые ими в атмосфере Земли (метеоры), то для перехода от наблюдаемых (искаженных селективностью метода) распределений параметров метеоров к исправленным распределениям необходимо оценить замечаемость метеоров.

В связи с тем что в литературе по метеорным исследованиям приводятся различные определения замечаемости и избирательности, будем использовать следующие формулировки.

Радиометеор — условное название метеора, который регистрируется метеорной РТС.

Замечаемость — свойство радиометеора, заключающееся в том, что вероятность его регистрации имеет избирательный характер по отношению к параметрам метеорного тела, породившего данный след. Таким образом, применительно к радиометеору уместно использовать термин замечаемость, а по отношению к радиолокационному методу (радиометоду) и метеорной РТС — избирательность (селективность).

Учет замечаемости обычно осуществляют путем весовой обработки результатов измерений, когда каждому зарегистрированному метеору присваивают вес a , обратно пропорциональный вероятности W наблюдения метеора с данными параметрами [1]:

$$W = \prod_{i=1}^n P_i^{-1}, \quad a = W^{-1} = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (1)$$

Здесь P_i^{-1} — фактор замечаемости, $i = \overline{1, n}$; n — количество учитываемых факторов.

Понятия фактора замечаемости и фактора избирательности будем считать тождественными и определять как вероятность регистрации радиометеора в зависимости от какого-либо конкретного параметра (скорости, координат радианта, элементов орбиты метеорного тела) и условий наблюдения при заданных технических характеристиках метеорной РТС.

Прямая и обратная задачи радиолокационных измерений параметров метеоров могут быть записаны в виде [2]

$$\Phi X = X_B; \quad (2)$$

$$X = \Phi^{-1} X_B, \quad (3)$$

где X — множество элементов, совокупность которых составляет объект исследования — метеорный комплекс (обстановку) вблизи орбиты Земли; X_B — множество тех элементов из X , которые были зарегистрированы метеорной РТС.

Вероятность того, что элемент с параметрами x_i попадет в множество X_B , т.е. будет зарегистрирован, определяется как

$$W\{x_i\}_B = W\{x_i\} P_1^{-1} P_2^{-1} P_A^{-1}. \quad (4)$$

Здесь P_1^{-1} , P_2^{-1} , P_A^{-1} — геометрический, физический и аппаратный факторы избирательности.

Для того чтобы осуществить переход от "видимых" (доступных наблюдению) распределений параметров X_B к "истинным" X , характеризующим метеорное вещество вблизи орбиты Земли, т.е. решить обратную задачу (3), необходимо установить все факторы избирательности.

Современная теория замечаемости радиометеоров разработана и детально изложена в [1—5]. Однако анализ основных факторов избирательности показывает, что они применимы, строго говоря, для однопозиционной или идеальной многопозиционной системы. Обычно их формально применяют при анализе и реальных многопозиционных систем, фактически не исследованных с точки зрения избирательности. Другими словами, существующие факторы избирательности рассматриваются как скалярные или приводятся к скалярным: физический фактор — $P_2^{-1}(v)$, аппаратный — $P_A^{-1}(v)$, геометрический —

$P_1^{-1}(\delta)$ при фиксированном α при круглосуточных наблюдениях (v — скорость метеороида; δ , α — экваториальные координаты радианта). Но при определении координат радианта индивидуально-го радиометеора и элементов орбиты метеорного тела, когда необходимо использование многопозиционной радиосистемы, в которой совместно измеряются и обрабатываются сигналы от разнесенных пунктов (позиций), появляется "векторность" при оценке избирательности, или некоторый дополнительный фактор. В общем случае основными причинами возникновения дополнительной избирательности, которую в дальнейшем будем называть структурной, следует считать: геометрию (структуру) расположения конкретных разнесенных пунктов приема и излучения; алгоритм запуска аппаратуры на регистрацию, свя-

занный с неодновременностью появления отраженного сигнала на разнесенных пунктах призма, а также с разницей эффективной чувствительности центрального и периферийных пунктов. В свою очередь, структурная селективность влияет на форму и размеры области небесной гелиоцентрической сферы, которой принадлежат радианты метеоров, регистрируемых метеорной РТС, а также на точность определения координат радианта.

Рассмотрим особенности импульсно-дифракционного метода, который согласно [1] является наиболее эффективным методом определения координат радиантов индивидуальных метеоров, приводящих к появлению структурной избирательности. Если локация формирующегося метеорного следа проводится двухпозиционной радиосистемой и след ориентирован так, что "зеркальные" (по законам геометрической оптики) отражения радиоволн от него могут наблюдаться на обеих позициях, сигнал, принимаемый первой позицией, будет запаздывать во времени относительно сигнала, принятого второй позицией, на величину

$$\Delta t = R \cos \theta / v, \quad (5)$$

где R — база; θ — угол, образованный метеорным следом с базой.

Таким образом, измерив $\Delta t, v$ и зная базу, можно определить направление на радиант (плоский случай). Временной сдвиг и скорость метеора могут быть измерены, если на обеих позициях записываются амплитудно-временные характеристики (АВХ) отраженных сигналов. Если использовать многопозиционную систему, можно установить положение радианта метеора в пространстве, а далее, зная скорость, — элементы орбиты метеорного тела. Обычно используется один передающий и три приемных пункта (или один приемопередающий и два приемных). Приемопередающий пункт называется центральным (ЦП), и к нему по каналам связи передается информация с двух вынесенных приемных пунктов (ВП) для последующей обработки. Анализ АВХ отраженных сигналов трех приемных пунктов для системы МАРС в Харькове [6] показывает, что возможна ситуация, когда сигнал ЦП регистрируется позже, чем сигналы ВП. Если запуск системы на регистрацию осуществляется центральным пунктом, АВХ сигналов ВП регистрируются в усеченном виде, что приводит к искажению или потере информации. Целесообразность запуска сигналом ЦП объясняется тем, что при регистрации в условиях помех центральный пункт всегда обладает большей чувствительностью (антенна с большим коэффициентом усиления, стационарная аппаратура, более благоприятные условия функционирования в целом). Поэтому, при условии, что все пункты являются запускающими, основная часть запусков будет от ЦП, но при этом повысится вероятность ложных запусков и, следовательно (из-за ограниченности ресурсов системы), — пропуска полезных сигналов.

Кроме того, импульсно-дифракционный метод используется в предположении существования достаточно четких дифракционных картин в момент регистрации. Причем все АВХ должны иметь явно выраженный первый экстремум (предпочтительнее — минимум, согласно [7]) для определения временных сдвигов $\Delta t_1, \Delta t_2$ и хотя бы одна АВХ — не менее трех экстремумов для установления скорости (скорость метеора вычисляется как среднее значение — $v = \sum_{i=1}^n v_i / n$,

где $n \geq 1$). При реализации метода с помощью реальной аппаратуры эти требования часто не выполняются по ряду причин (различная чувствительность приемных пунктов, погрешности ретрансляции, жесткая привязка пунктов к местности и т.д.), что также приводит к дополнительной селективности.

Далее, поскольку распределение радиантов метеоров по небесной сфере неравномерно, очевидно, существует оптимальное расположение приемных пунктов, при котором для заданных технических характеристик аппаратуры в течение заданного времени измерений в зоне действия метеорной РТС регистрируется максимальное число метеоров. В то же время привязка пунктов к местности, обуславливаемая целым рядом факторов, не связанных с метеорами (наличие помещений, электроснабжения, дорог и т. п.), не позволяет расположить пункты в точном соответствии с рекомендациями. В этом случае методу оценки структурной избирательности можно сформулировать следующим образом: найти оптимальные по выбранному критерию геометрические (базовые) параметры системы, а затем выяснить последствия неоптимальности для конкретной аппаратуры.

Таким образом, структурную избирательность многопозиционной радиосистемы для определения координат радиантов метеоров можно представить как свойство системы, заключающееся в том, что вероятность регистрации метеора с данными координатами радианта зависит от геометрии вынесенных приемных пунктов (позиций) и алгоритма совместной обработки информации. Влияние структурной избирательности приводит к дополнительной потере информации о метеорных телах. При этом искажаются эмпирические распределения радиантов и орбит метеорных тел, и для их исправления нужно ввести еще один фактор P_S^{-1} , дополнительно к указанному в (4). Тогда

$$W\{x_i\}_B = W\{x_i\} P_1^{-1} P_2^{-1} P_A^{-1} P_S^{-1}. \quad (6)$$

Под структурным фактором избирательности P_S^{-1} метеорной многопозиционной радиосистемы будем понимать отношение вероят-

ности регистрации данного радианта при заданном расположении разнесенных пунктов к аналогичной вероятности при оптимальном расположении. В общем случае оптимальным будем считать расположение ВП, обеспечивающее при заданных ограничениях получение максимального количества информации о потоке метеорного вещества из различных участков небесной сферы. Другими словами, оптимальное расположение ВП должно обеспечить определение радиантов максимального количества радиометеоров в зоне действия метеорной РТС и тем самым уменьшить влияние структурной избирательности. Данный критерий будем называть критерием минимума структурной избирательности.

Следует отметить, что структурная избирательность (иначе говоря, фактор влияния геометрии позиций и алгоритма совместной обработки информации на основные показатели качества) проявляется не только в метеорных, но и в других многопозиционных радиосистемах [8]. Однако в метеорных РТС ее учет особенно важен, поскольку он влияет на возможность сравнения результатов и получения на их основе истинных распределений параметров метеорного вещества вблизи орбиты Земли.

Таким образом, введение понятия структурной избирательности, разработка методики расчета ее оценок и последующей оптимизации метеорных радиосистем определения координат радиантов позволяют:

1. Уточнить оценки распределений радиантов и элементов орбит метеороидов по результатам измерений, проведенных к настоящему времени разными исследователями на различных радиометеорных комплексах.

2. Для существующих РТС планировать графики измерений по критерию минимума структурной избирательности, а для вновь разрабатываемых систем оптимизировать параметры по этому же критерию.

3. Использовать полученные результаты для оптимизации режимов метеорных РТС иного функционального назначения, в частности радиометеорных систем сличения шкал времени [9].

Список литературы: 1. *Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260 с. 2. *Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Кручиненко В.Г.* Метеоры и метеорное вещество. К.: Наук. думка, 1989. 296 с. 3. *Лебединец В.Н.* Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 244 с. 4. *Лебединец В.Н., Манохина А.В.* Замечаемость метеоров // Тр. Ин-та эксперим. метеорологии (ИЭМ). 1978. Вып. 8(81). С. 12—39. 5. *Отражение радиоволн от метеорных следов. III. Замечаемость радиометеоров / В.Н. Лебединец, В.Н. Корпусов, А.К. Соснова и др.* // Астрон. вестн. 1971. Т. 11, № 6. С. 1011—1020. 6. *Метеорная автоматизированная радиолокационная система* // Б.Л. Кащеев, Ю.И. Волощук, А.А. Ткачук и др. // Метеор. исслед. 1977. № 4. С. 11—61. 7. *Дьяков А.А., Кащеев Б.Л.* Определение скорости радиометеора с минимальной среднеквадратической ошибкой // Астрон. вестн. 1972. Т. 6, № 2. С. 2—6. 8. *Кондратьев В.С., Котов В.Ф., Марков Л.Н.* Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986. 264 с. 9. *Волощук Ю.И., Милютченко И.А.* Определение характеристик радиометеорной системы сличения шкал времени // Радиотехника 1997. Вып. 102. С. 18—27.