

## МЕТОДЫ УЧЕТА ДОПЛЕРОВСКИХ СДВИГОВ ЧАСТОТЫ ПРИ СВЯЗИ СО СПУТНИКОМ

Современная спутниковая связь позволяет передавать сигналы одновременно для большого количества пользователей во всемирных мобильных системах через спутники связи, например, систем ICO, Iridium, Thuraya. Поскольку спутники на орбитах перемещаются на больших скоростях, это может вызвать доплеровские смещения частоты их сигналов, достигающие в зависимости от используемого диапазона, десятки килогерц. Если перед демодуляцией не компенсировать смещения частоты, то они способны привести к серьезному снижению производительности демодуляции и частым отказам связи [1].

Для систем, использующих FDMA/TDMA (например, системы ICO или Iridium), традиционный метод применения защитных интервалов для борьбы с эффектом Доплера приводит к потерям в пропускной способности канала [1, 2]. Таким образом, компенсация доплеровского сдвига частоты, вызванного быстрым движением спутника, является актуальной темой для спутниковой связи.

Как альтернативный подход к решению проблемы влияния доплеровского эффекта в спутниковых телекоммуникациях, предлагается использование неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов (N-OFDM), которая базируется на сверхрелеевском частотном уплотнении каналов связи. N-OFDM позволяет производить учет доплеровского смещения частоты, как на этапе вхождения в связь, так и непосредственно перед демодуляцией на приемной стороне. Предварительная оценка смещения Доплера производится по пилот-сигналу. Как самый простой вариант компенсации доплеровского смещения может рассматриваться предварительное изменение несущей частоты излучаемого сигнального пакета в сторону, противоположную направлению доплеровского смещения. Устранение влияния произвольных доплеровских смещений частоты в приемнике радиолинии связи также опирается на оценку частоты Доплера по пилот-сигналу. Например, процедура демодуляции N-OFDM сигналов в приемной станции, использующая метод максимального правдоподобия, основанный на минимизации функционала

$$F = \sum_{s=1}^S \left\{ U_s - \sum_{m=1}^M (a_m^c \cos p_{ms} - a_m^s \sin p_{ms}) \right\}^2 = \min,$$

может быть модифицирована путем введения в аргумент  $p_{ms} = \omega_m \Delta t(s-1)$  оценок доплеровского сдвига  $m$ -й частоты  $\Delta_{Dm}$ , а именно:  $p_{ms} = (\omega_m + \Delta_{Dm}) \Delta t(s-1)$ .