**Пассивный метод определения ионосферного индекса по сигналам радиомаяков**

**Сысоев Д.В.**

Магистрант

Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского, физический факультет, Омск, Россия

АО «Омский НИИ приборостроения», Омск, Россия

E-mail: [dima.sysoeff2017@yandex.ru](mailto:dima.sysoeff2017@yandex.ru)

Под ионосферным индексом понимается входной параметр модели ионосферы Земли, использование которого вместо одного из индексов солнечной активности – числа Вольфа или уровня радиоизлучения Солнца с длиной волны 10,7 см, позволяет лучше описать текущее состояние ионосферы – среды распространения радиосигналов в системах коротковолновой радиосвязи. Ионосферные индексы SSNe и T-index [1, 2] определяются по данным активного вертикального и наклонного зондирования ионосферы с использованием соответствующих измерительных установок – ионозондов. В докладе рассматриваются возможности для определения нового ионосферного индекса Z2S методами пассивного зондирования с использованием сигналов радиомаяков.

Известные закономерности изменения максимально применимой частоты радиолиний в течении суток таковы, что часть времени сигнал, излучаемый на определенной частоте, может отражаться от ионосферы, а на других временных интервалах он не отражается, и вся энергия радиоволны уходит в космическое пространство. В тот момент, когда сигнал радиостанции появляется в эфире (или начинает отражаться от ионосферы) и в тот момент, когда прием сигнала прекращается, рабочая частота радиостанции равна максимально наблюдаемой частоте (МНЧ) радиолинии. Соответственно, по времени регистрации данного события, можно оценить актуальное состояние ионосферы на данной измерительной линии. Считая, что «солнце светит всем одинаково», можно усреднять результаты отдельных измерений, чтобы уменьшить влияние локальных возмущений ионосферы на результаты общей диагностики. Определяя по данным об экспериментально измеренных значениях максимальных наблюдаемых частот ионосферный индекс можно использовать его значения для прогнозирования условий распространения на любых радионаправлениях. Ионосферный индекс Z2S определяется с использованием алгоритмов программы «Трасса» [3, 4]. Соответственно, и дальнейшие прогнозы следует выполнять с использованием данной программы. Стационарность ионосферы такова, что если получить ионосферный индекс усредняя экспериментальные значения в течение суток, то этим индексом можно пользоваться весь следующий день. Точность прогноза по сравнению с прогнозом, сделанным на основе долгосрочного прогноза числа Вольфа, при этом повышается.

Для проверки адекватности нашей методики были использованы данные об ионосферном индексе SSNe, представленные на сайте NWRA. [1]

Измерения ионосферного индекса Z2S проводились в Омске в два периода. Первый с 21.09.2021 по 21.12.2022. Второй с 13.07.2022 г. по 28.07.2022 г. В данные периоды измерений регистрировалось время появления в эфире сигналов, излучаемых в городах: Астрахань, Североморск, Калининград, Севастополь, Петропавловск-Камчатский, Москва, Магадан, Владивосток.

В экспериментальной установке использовались многоканальные цифровые радиоприемные устройства, разработанные в АО «ОНИИП» [5], и персональный компьютер, на котором выполнялась цифровая обработка принимаемых сигналов.

В первом эксперименте общее количество зарегистрированных событий по которым определялись измеренное значение индекса W’ равнялось 79.

Количество событий, зарегистрированных в течении суток от 1 до 4, что определялось возможностями 4-х канального приемного устройства, настроенного на прием сигналов радиомаяков по нескольким каналам в течении первой половины суток.

Полученные значения W’ лежат в диапазоне от 2 до 137, что отражает сильное влияние на точность определения данного параметра ионосферных возмущений. Усредненные за сутки значения, характеризующие поведение индекса Z2S нанесены на заимствованный из [3] график SSNe в виде дополнительных точек.

В результате сравнительного анализа, проведенного для первой серии экспериментов, получено, что в 55% случаев наблюдаются существенные расхождения между значениями Z2S и SSNe. Соответственно, в 45% случаев значения практически совпали. В 30% случаев полученные значения Z2S «легли в диапазон» прогнозируемых значений SSNe. Эксперимент был продолжен с более многоканальным приемником, что позволило получить лучшее усреднение данных на большем количестве W’, измеренных в течение суток.

Во втором эксперименте общее количество зарегистрированных событий, по которым определялись W’ равнялось 51.

Количество событий, зарегистрированных в течении суток от 2 до 6.

Полученные значения W’ лежат в диапазоне от 3 до 99.

В результате сравнительного анализа получено, что только в 16% случаев наблюдаются существенные расхождения между значениями Z2S и SSNe. Соответственно, в 84% случаев значения практически совпали. В 50% случаев полученные значения Z2S «легли в диапазон» прогнозируемых значений SSNe.

Подчеркнем, что полного соответствия быть не должно. Ионосферные индексы применяются и для того, чтобы получить более точное описание моделью ионосферы над отдельным регионом. Например, отличающиеся по абсолютным значениям, хотя и близкие Т-индексы, определяемые австралийской гидрометслужбой и используемые совместно с программой для расчета характеристик коротковолновых радиолиний ASAPS, публикуются для северной, центральной и южной Австралии [2, 6]. Так что важна именно близость значений.

Проведенное исследование показало, что предложенный метод измерения ионосферного индекса не противоречат известным представлениям и определение индексов возможно без использования специальных технических средств (станций вертикального и наклонного зондирования ионосферы). Могут быть использованы штатные РПУ радиоцентров, допускающие последующую цифровую обработку радиосигналов. При этом рекомендуется получать значения индекса Z2S путем усреднения не менее 5 значений W’, определяемых в течение суток.

Автор выражает благодарность Зубкову М.П. за предоставленные данные по регистрации W’, позволившие выполнить проверку работоспособности новой методики адаптации программ прогнозирования условий ионосферного распространения радиоволн к реальной обстановке.

**Литература**

1. <https://spawx.nwra.com/spawx/ssne_defn.html>
2. <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T_index.html>
3. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2 – 30 МГц «Трасса» (часть 1) // Техника радиосвязи 2013. Вып. 1 (19) . С. 25-34.
4. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2 – 30 МГц «Трасса» (часть 2) // Техника радиосвязи 2013. Вып. 2 (20) . С. 14-21.
5. <http://oniip.ru/product/102/> (Омский научно-исследовательский институт приборостроения).
6. <https://www.sws.bom.gov.au/HF_Systems/1/6>