УДК 621.391

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЕМА ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ИОНОСФЕРЫ

Ю. В. Березин, М. О. Окулов, Д. Е. Рыжов

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Приведены результаты экспериментальных исследований выигрыша в качестве передачи информации по ионосферному каналу связи, достигаемого за счет селективного возбуждения характеристических волн в ионосфере. Показано, что при обеспечении селективного возбуждения волн в ионосфере помехоустойчивость возрастает, как минимум, на 10—15 дБ.

Известно, что электромагнитная волна, распространяющаяся в ионосфере, распадается на две составляющие — характеристические волны [1]. Эти волны имеют различные доплеровские сдвиги частоты. Таким образом, наличие в точке приема двух волн с различными доплеровскими частотами — принципиальная особенность радиоволн, отраженных от ионосферы, приводящая к интерференции суммарного поля, которая сильно ухудшает качество приема дискретной информации. Вообще говоря, возможно селективное возбуждение характеристических волн в ионосфере [2]. В этом случае в ионосфере возникает лишь одна волна со всеми вытекающими отсюда последствиями (для качества приема информации).

В работе [2] описаны результаты экспериментов по исследованию качества селективного возбуждения характеристических волн в ионосфере в условиях раздельного приема двух отраженных от ионосферы характеристических волн. При этих исследованиях прямые оценки улучшения помехоустойчивости принимаемой информации сделать затруднительно, и эта задача решалась в рамках другого эксперимента, описанию и результатам которого посвящена настоящая работа.

Эксперименты, цель которых состояла в определении выигрыша в помехоустойчивости принимаемой дискретной информации, полученного за счет снижения интерференционного фединга при селективном возбуждении в ионосфере только одной характеристической волны, были поставлены следующим образом.

Зондирование ионосферы осуществлялось с помощью импульсного двухканального передатчика и двух ортогональных линейных антенн с вертикальными диаграммами направленности. Использовались радио-импульсы длительностью $100\,$ мкс и частотой повторения $50\,$ Гц. Несущая частота радиоимпульсов была существенно ниже критической частоты слоя F2, поэтому для двух отраженных от ионосферы характеристических волн разделение по времени группового запаздывания не наблюдалось.

Передатчик мог работать в нескольких режимах, обеспечивавших или одновременное возбуждение в ионосфере двух характеристических волн, или поляризационную диагностику ионосферы, или селективное возбуждение в ионосфере одной из характеристических волн.

В случае селективного возбуждения характеристических волн в один из каналов передатчика вводится блок комплексного весового коэффициента W_{η} , обеспечивающий излучение волны с поляризацией, согласованной с поляризацией одной из характеристических волн. При коэффициенте, равном W, в ионосфере возбуждались обе характеристические волны [2].

Эксперименты проводились сеансами длительностью 3—5 мин.

Число сеансов, использованных при обработке, M=50.

При использовании неразделенных во времени импульсов двух характеристических волн (магнитоионных компонент — МИК) возможна лишь косвенная оценка качества возбуждения этих волн в ионосфере. Для этой цели были использованы, в частности, функции распределения модуля и аргумента фазора принимаемого электромагнитного поля

$$P(t) = E_y(t)/E_x(t),$$

где $E_{x,y}$ — проекции вектора поля в системе координат, связанной с приемной антенной, составленной из двух линейных антенн.

Эксперименты показали, что функции распределения модуля и аргумента фазора поля, отраженного от ионосферы при селективном возбуждении одной характеристической волны, практически совпадают с функциями распределения модуля и аргумента фазора одной МИК и коренным образом отличаются от функций распределения модуля и аргумента фазора поля, в котором присутствуют две волны приблизительно равной мощности. Например, нормированные стандарты модулей фазоров ($\sigma_{|P|}/\langle |P| \rangle$) для этих трех случаев равны: для одной МИК — $0.1 \div 0.2$; для волны, возбужденной при селективном возбуждении, — $0.15 \div 0.25$; для суммы двух характеристических волн — $2 \div 6$. Аналогичные результаты получены и для аргумента фазора.

Другим параметром, также описывающим степень поляризации по-

ля, является коэффициент

$$q = \sqrt{V^2 + U^2 + Q^2}/I$$

где I, Q, U, V—параметры Стокса поля E,

$$I = \langle E_x E_x^* \rangle + \langle E_y E_y^* \rangle,$$

$$Q = \langle E_x E_x^* \rangle - \langle E_y E_y^* \rangle,$$

$$U = 2 \operatorname{Re} \langle E_x E_y^* \rangle$$
,

$$V = 2 \operatorname{Im} \langle E_x E_y^* \rangle$$
.

Эксперименты показали, что для одной магнитоионной компоненты $q=-0.98 \div 0.99$, т. е. степень деполяризации — $0.01 \div 0.02$; для поля, отраженного от ионосферы при селективном возбуждении одной характеристической волны, $q=0.96 \div 0.99$, т. е. степень деполяризации — $0.01 \div 0.04$. Для поля, являющегося суммой двух волн, коэффициент поляризации q меняется в очень широких пределах: $q=0 \div 0.7$.

Другой отличительной чертой селективного возбуждения поля, содержащего, вообще говоря, две характеристические волны, является

уменьшение флуктуаций амплитуд E_x и E_y проекций этого поля.

На рис. 1 представлена гистограмма отношения $\widehat{\sigma_W}/\widehat{\sigma_{W_\eta}}$ нормированных стандартов $((\widehat{\sigma}=\sigma_A/\langle A \rangle)_W$, где W=W или $W_\eta)$ амплитуд проекций полей $E_x(E_y)$, возбуждаемых волнами с поляризациями, определяемыми коэффициентами W_η и W.

Видно, что гистограмма имеет максимум при $\widehat{\sigma}_{w}/\widehat{\sigma}_{w_{\eta}} \approx 1.85$. Это обстоятельство свидетельствует о том, что при селективном возбуждении одной характеристической волны флуктуации амплитуды отраженного от ионосферы сигнала существенно снижаются.

Алгоритм поляризационной диагностики ионосферы построен таким образом, что при анализе сигнала, состоящего из двух неразделен-

ных MИК, определяются два оптимальных весовых коэффициента: W_{η_1} и W_{η_2} и при использовании любого из них в излучающей антенной системе обеспечивается селективное возбуждение только одной характеристической волны, причем алгоритм оценивает относительные

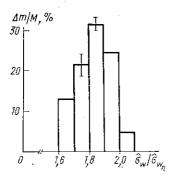


Рис. 1. Гистограмма распределения отношения нормированных стандартов амплитуд

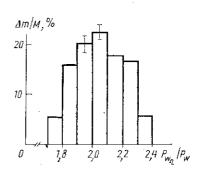


Рис. 2. Гистограмма распределения выигрыша в мощности принятого поля за счет селективного возбуждения одной характеристической волны в ионосфере

мощности этих волн. Таким образом, удается определить, какая из двух характеристических волн в данных ионосферных условиях меньше поглощается, и при передаче информации целесообразно возбуждать именно ее, что обеспечивает оптимальное использование мощности, излучаемой передатчиком. В этом случае излученная мощность расходуется на возбуждение только одной, наименее поглощаемой характеристической волны. Очевидно, что в этом случае на приемном конце радиолинии будет гарантировано максимально возможное в данных условиях отношение сигнал/шум и, следовательно, наивысшая помехоустойчивость приема.

Для оценки энергетического выигрыша $\gamma = P_{W\eta}/P_W$, получаемого при возбуждении какой-либо характеристической волны с помощью согласованного $(P_{W\eta})$ и несогласованного (P_W) поля, падающего на ионосферу, были выполнены соответствующие эксперименты. Особенность этих экспериментов заключалась в том, что проводились два, следующих во времени друг за другом, сеанса измерения мощности отраженного от ионосферы поля, причем в одном сеансе излучалось поле согласованное, а в другом — несогласованное с поляризацией характеристической волны, но излучаемая мощность в этих двух случаях поддерживалась одинаковой. Результаты этих экспериментов представлены на рис. 2 гистограммой значений коэффициента γ .

Видно, что метод селективного возбуждения в ионосфере только одной характеристической волны обеспечивает увеличение мощности принимаемого поля более чем в два раза.

Селективное возбуждение волн в ионосфере позволяет реализовать одновременно два способа повышения качества передачи информации по ионосферному каналу связи:

- 1) практически полностью устранить замирания амплитуды принимаемого поля, обусловленные интерференцией двух МИК;
- 2) увеличить отношение сигнал/шум на входе приемного устройства в среднем в два раза.

Для исследования степени улучшения качества передачи информации по ионосферному каналу связи за счет снижения интерференционного фединга проводились прямые эксперименты по измерению помехоустойчивости приема. Для этого в сторону ионосферы излучались импульсные сигналы, модулированные по амплитуде кодом Баркера, отраженные сигналы принимались и записывались. Длительность сеанса наблюдения равнялась 7 мин, что при скорости передачи 25 бод соответствовало 10^4 переданных бит информации. Большой объем переданной информации позволял достаточно надежно определять минимальную вероятность ошибки по битам не ниже $P_{\rm er} = 10^{-3}$. Измерение помехоустойчивости велось для сеансов с селективным возбуждением и без него, причем поляризация излученной волны определялась весовым коэффициентом W ($|W| = |W_n|$, $\arg(W) = 0$). Этим достигалось одинаковое значение величин мощностей излученных волн ($E_\xi E_\xi * (1 + WW*) = E_\xi E_\xi * (1 + W_\eta W_\eta *)$) при селективном возбуждении и без него.

Однако средняя мощность принятого поля в сеансах с селективным возбуждением одной характеристической волны больше, чем средняя мощность принятого поля в сеансах, где возбуждались две МИК, при условии что мощности излученного поля в обоих сеансах одинаковы. Это обстоятельство затрудняет определение выигрыша в помехоустейчивости приема за счет снижения фединга, так как в этих двух

случаях реализуется разное отношение сигнал/шум.

Однако большой массив сеансов наблюдения позволил отобрать достаточное для статистического анализа число сеансов, в которых для одной проекции вектора поля (x или y) отношение сигнал/шум в среднем оставалось постоянным как при селективном возбуждении характеристических волн, так и без него. При оценке помехоустойчивости анализировался временной ряд принятых импульсных сигналов, отраженных от ионосферы, при соблюдении правила превышения амплитудой принятого импульса заданного порога $A_{\rm th}$ (амплитуда принятого импульса и порог $A_{\rm th}$ измерялись в единицах счета измерительного комплекса). Определение ошибки проводилось по правилу: если в момент приема должен быть информационный сигнал «1» («0»), а амплитуда принятого импульса была меньше установленного порога, то считалось, что принят сигнал «0» («1»), т. е. совершена ошибка.

При этом анализе подсчитывалось общее число передаваемых бит информации N и число ошибочно принятых бит $N_{\rm er}$; вероятность ошибки определялась очевидным отношением

$$P_{\rm er} = N_{\rm er}/N$$

при заданном пороге A_{th} .

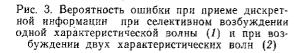
Значение $P_{\rm er}$ является функцией параметра $A_{\rm th}$, который варьировался при проведении анализа. Типичная функциональная зависимость $P_{\rm er}(A_{\rm th})$ изображена на рис. З для случая приема двухлучевого сигнала (без селективного возбуждения, кривая 2) и для случая приема однолучевого сигнала (с селективным возбуждением одной характеристической волны, кривая 1). На рис. З хорошо видно, что кривые $P_{\rm er}(A_{\rm th})$ в случае приема одно- и двухлучевого сигнала существенно разные, причем $P_{\rm er} > P_{\rm er}$ Видно также, что существует порог $A_{\rm th}$, приблизительно одинаковый для одно- и двухлучевого сигналов, при котором $P_{\rm er}$ достигает минимума. Приняв это значение порога $A_{\rm th}$ за оптимальное, найдем, что выигрыш в вероятности ошибки за счет селективного возбуждения одной характеристической волны в ионосфере равен 10-15 дБ: $(Y=10 \lg (P_{\rm er} _2/P_{\rm er} _1))$.

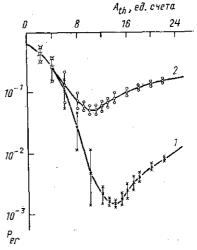
Заметим, что оценка выигрыша в помехоустойчивости приема проводилась для специально выбранных случаев равенства отношения сигнал/шум при селективном возбуждении и при его отсутствии. Это

было сделано для того, чтобы иметь возможность оценить величину Y.

В реальных условиях радиосвязи с помощью ионосферного канала, когда за счет селективного возбуждения мощность принимаемого поля возрастает почти вдвое, отношение сигнал/шум в точке приема будет увеличиваться пропорционально и соответствующий выигрыш в помехоустойчивости будет еще больше, чем полученная оценка 10—15 дБ.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования показывают,





что способ селективного возбуждения характеристических волн в ионосфере является эффективным средством улучшения качества передачи информации по ионосферному каналу связи: надежность передачи сообщений возрастает более чем в 10—20 раз.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., 1967. [2] Березин Ю. В., Рыжов Д. Е.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1992. 33, № 2. С. 93.

Поступила в редакцию 17.04.92

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 3

УДК 537.871.64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНОСФЕРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВЫМ МЕТОДОМ

В. Д. Гусев, Д. В. Кирьянов

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Анализируется возможность исследования геометрии мелкомасштабных неоднородностей ионосферы дифференциально-фазовым методом для разных значений фактора возмущенности ионосферы.

Неоднородности ионосферной плазмы являются анизотропными образованиями, вытянутыми вдоль геомагнитного поля Земли. Преимущественная ориентация естественных неоднородностей ионосферы определяется диффузией плазмы вдоль магнитных силовых линий. По различным экспериментальным данным для средних широт получено, что спектр размеров неоднородностей ионосферы достаточно широк: от сотен метров до сотен километров.