

нала поезда на удалении 1000 м присутствуют интенсивные по амплитуде низкочастотные гармоники, представляющие собой или моду поверхностной волны, либо преломленную в грунт в точке расположения сейсмического датчика акустическую волну. Кроме того, как показывает корреляционный анализ, в дальней зоне наблюдаются меньшие по амплитуде высокоскоростные объемные волны, захватывающие глубокие слои грунта. Этот экспериментальный факт дает основание к разработке механизма воздействия упругих полей поезда на увеличение отдачи малодебетными нефтяными скважинами.

Список литературы:

- [1] Bubnov E.Ya. Experimental Study of Several Mechanisms of Generation of Seismic Vibrations by Trains / E.Ya. Bubnov, V.V. Gushchin // 7th International Symposium Transport Noise and Vibration – St. Petersburg, 2004. – p. 11.
- [2] Экспериментальные исследования структуры упругих полей железнодорожного состава в волновой зоне / Бубнов Е.Я., Гущин В.В. // Труды 9 Научной конференции по радиофизике. Н.Новгород, НГУ. 2005. – С. 233–235.
- [3] Бубнов Е.Я. Экспериментальные исследования упругих полей движущегося железнодорожного состава / Бубнов Е.Я., Гущин В.В. // Труды Конгресса 11 Международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2009». – Н.Новгород, 2009. – С. 535–537.
- [4] Вершинский С.В. – Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. транспорта: / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, И.И. Челноков. – М.: Транспорт, 1978. – 352 с.

Ф.И. Выборнов, Д.С. Котик, А.В. Першин, А.В. Рахлин
ФГБНУ «НИРФИ»

НАБЛЮДЕНИЕ F-SPREAD В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОНОЗОНДА CAIDI

При воздействии мощным радиоизлучением на ионосферную плазму вследствие большого разнообразия физических условий в ионосфере наблюдается развитие широкого спектра явлений, к которым в первую очередь следует отнести явление искусственной диффузности (ИД) или искусственный F-spread.

Впервые ИД была обнаружена в начале 70-х годов прошлого столетия в экспериментах по искусственной модификации ионосферы в Боулдаре (США) [1] и независимо в Горьком в НИРФИ (Зименки) [2]. Эксперименты показали, что ИД легко создается в дневной ионосфере, а ее характеристики внешне очень похожи на естественный F-spread, хотя в естественных условиях диффузность отраженных сигналов имеет место в ночное время, обычно после полуночи [3]. Времена развития и релаксации ИД в дневных условиях составляли (7–10) минут, в ночных – время релаксации было существенно больше, достигая десятков минут. В слое F1 ионосферы ИД исчезает быстрее, чем в слое F2. При воздействии на слой F2 диффузность сначала развивается на частотах, близких к частоте волны накачки (ВН), быстро захватывая всю верхнюю часть ионограммы и постепенно опускаясь в область более низких частот. ИД в F-слое возникает как при воздействии радиоизлучением «О»-поляризации, так и «Х»-поляризации, однако в последнем случае наблюдаются существенные отличия в характере и временных параметрах ИД.

Результаты специальных экспериментов

С середины 80-х годов экспериментальные исследования ИД были продолжены

на нагревном стенде СУРА (Васильсурск, Нижегородской области). В них удалось выявить ряд важных особенностей образования ИД [4]. Было установлено, что для развития заметной диффузности отраженных сигналов мощность $P_{эфф}$ волны накачки «О»-поляризации должна быть не менее 10 МВт. Постепенное увеличение мощности ВН приводят вначале к росту интенсивности ИД, а затем к насыщению при мощностях $P_{эфф} > 50$ МВт. При воздействии на ионосферу волнами «Х»-поляризации необходимы более высокие уровни мощности ВН, и насыщения, аналогичного случаю «О»-компоненты, по известным результатам экспериментов, не отмечается.

При мощностях ВН $P_{эфф} \sim 50\text{--}100$ МВт диффузность на ионограммах начинает появляться через 2–3 минуты, а полного своего развития достигает через 5–10 минут при непрерывной работе стенда.

В проводимых в НИРФИ исследованиях ионограммы вертикального зондирования (ВЗ) регистрировались с помощью аналоговых ионосферных станций как непосредственно в пункте нагрева (Васильсурск), так и в 120 км западнее от него, в г. Горьком (Зименки).

Один из обсуждаемых экспериментов по целенаправленному созданию искусственной диффузности с помощью стенда СУРА был проведен в дневные часы в январе 1987 года (с 19 по 22 января с 10:00 до 15:00 по московскому времени). Его результаты представлены на рис. 1 (*a* – для 19 и *b* – для 22 января) в виде временных зависимостей величины действующей высоты h_g регулярного слоя F_2 , которая фиксировалась на частоте 4,25 МГц, критической частоты f_o слоя F_2 , а также ширины следа необыкновенной компоненты Δf_x на ионограммах станции ВЗ «Базис» в Васильсурске и АИС в Зименках. На временной оси сплошными линиями отмечены циклы нагрева. 19 января использовался режим 5 минут нагрев, 5 минут пауза; 20 января – 10 минут нагрев, 10 минут пауза; 21 января – 15 минут нагрев, 15 минут пауза; 22 января – использовался последовательный перебор 5, 10 и 15 минутных режимов. Стенд СУРА работал на частоте 4785 кГц на «О»-компоненте тремя передатчиками в синфазном режиме. Эффективная мощность излучения составляла 80 МВт.

Появление в распоряжении авторов цифрового ионозонда CADI позволило в 2012–2013 гг. провести почти аналогичные измерения. Воздействие на ионосферу излучением нагревном стенда СУРА осуществлялось на частоте ниже критической на обыкновенной компоненте с эффективной мощностью до 80 МВт в дневное и вечернее время. ИД уверенно диагностировалась ионозондом CADI. Обычно наблюдался частотный F -spread с интенсивностью до 3 баллов. На рис. 2 приведены ионограммы, полученные с использованием ионозонда CADI 4 сентября 2012 года в 20:45 и 21:00 по московскому времени (16:45 и 17:00 UT) (*a* – ионограмма, полученная до включения стенда СУРА, *b* – ионограмма после 10-минутной работы нагревном стенда).

В целом, анализ результатов экспериментов, проведенных за указанный период, показал следующее:

1. Искусственная диффузность различной интенсивности возникала во всех циклах нагрева и регистрировалась как в Васильсурске, так и на расстоянии 120 км;
2. Длительность нагрева 5–10 минут достаточна для создания ИД, дальнейшее продолжение нагрева увеличения интенсивности не дает;
3. Интенсивность ИД растет при подъеме высоты слоя F_2 ионосферы.
4. При наличии на ионограммах перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) интенсивность ИД возрастает.

Во всех проводившихся экспериментах было установлено, что вид искусственной диффузности в значительной степени определяется состоянием ионосферы до начала воздействия. Если на ионограммах до первого включения нагрева имели место различного рода аномалии (ПИВ, естественная диффузность, дополнительные отражения и т.п.) хотя и в слабо развитом виде, то ИД, как правило, имела большую интенсивность, захватывала большой высотный интервал и часто сопровождалась появлением

дополнительных наклонных отражений, утроением или учетверением отраженных следов.

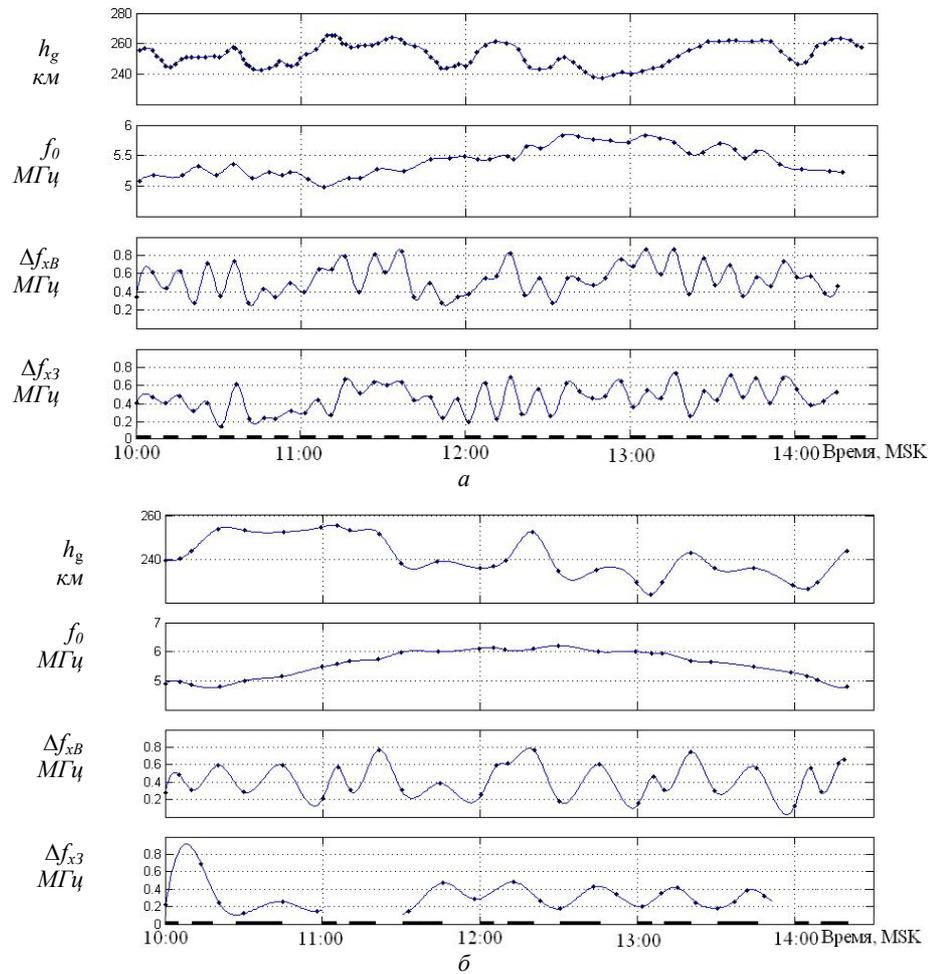


Рис. 1. Графики критической частоты f_0 слоя $F2$, действующей высоты h_g регулярного слоя $F2$ на частоте 4,25 МГц, ширины следа необыкновенной компоненты на ионограммах станции ВЗ «Базис» в Васильсурске Δf_{xB} и АИС в Зименках Δf_{x3} . 19 января 1987 г. (а) и 22 января 1987 г. (б)

Кроме того, исследования показали, что интенсивность ИД зависит от отношения f_{BH} / f_{oF2} , с приближением уровня отражения ВН к максимуму F -слоя интенсивность рассеяния увеличивалась. В то же время при уменьшении f_{oF2} вследствие суточного хода при фиксированной f_{BH} искусственная диффузность продолжала возбуждаться от цикла к циклу нагрева вплоть до $f_{BH} \geq (1.1 - 1.15) f_{oF2}$.

Явление F -spread в ионосфере в естественных условиях связывают с рассеянием радиоволн на неоднородностях электронной концентрации с размерами $l = (1-5)$ км [3-4]. Данные по релаксации искусственного F -spread, а также результаты измерения времени исчезновения мерцаний сигналов дискретных источников [2] показывают, что здесь мы имеем дело с генерацией искусственных неоднородностей с размерами $l \approx (1-5)$ км, для которых значения флуктуаций концентрации плотности плазмы могут достигать значений $\Delta N / N \approx (1-5) \cdot 10^{-2}$. Как показали измерения, эти крупно-

масштабные неоднородности (КН) занимают значительный высотный интервал $\Delta h \geq (100-150)$ км, а протяженность области возмущения по горизонтали превышает 200 км.

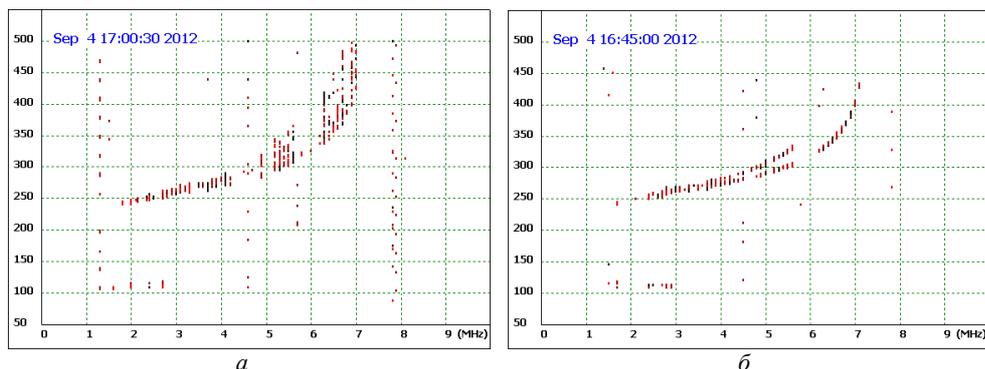


Рис. 2. Ионограммы ионозонда CADI, полученные 4 сентября 2012 года в 16:45 и 17:00 UT (*a* – до включения стенда СУРА, *б* – после 10-минутной работы нагревного стенда)

Измерения характеристик области возмущения с помощью просвечивания ее сигналами геостационарного ИСЗ показали, что при модификаций ионосферы возбуждаются неоднородности широкого спектра масштабов и в том числе КН с размерами $l_{\perp} \approx (1-2)$ км. Времена их релаксации не превышали 4–10 минут, что соответствует временам релаксации ИД, времена развития и релаксации которого составляли единицы минут. Своей максимальной величины ИД достигала, как правило, за 3–5 минут, что соответствует развитию неоднородной структуры с $l \leq (10-40)$ км), однако неоднородности с $l \leq (1-5)$ км вносят значительный вклад в явление диффузности. Одновременные наблюдения ионограмм ВЗ в пункте нагрева выявили наличие диффузности в периоды, когда отмечались искусственные мерцания сигналов ИСЗ, причем ИД, как правило, не исчезала в паузах нагрева $T_{науз} \approx (5-8)$ мин.

Заключение

Приведенные выше результаты показывают возможность искусственного моделирования в ионосфере процессов и явлений, наблюдаемых в естественных (без целенаправленного воздействия) условиях.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 13-02-97086р_поволжье_a.

Список литературы:

- [1] Utlaut W.F., Cohen R. Modifying the ionosphere with intense radio waves. Science. 1971. V. 174, № 4006. P. 245.
- [2] Беликович В.В. и др. Новые результаты исследований нелинейных явлений в ионосфере // Изв. ВУЗов. Радиофизика. Т.18. 1975, № 4. С.516.
- [3] Гершман Б.Н., Казимировский Э.С., Кокуров В.А., Чернобровкина Н.А. Явление F - рассеяния в ионосфере. М.: Наука. 1984. 141 с.
- [4] Ерухимов Л.М., Митякова Э.Е. Неоднородная структура ионосферы и ее связь с волновыми возмущениями. - В сб. «Динамика ионосферы», ч.3, Алма-Ата, 1991. С. 18.