

УДК 621.391 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.4.58.62

Исследование возможности построения сверхскоростной радиолинии систем ДЗЗ с использованием поляризационного уплотнения (краткое сообщение)

А. А. Аджибеков, *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

В. В. Березкин, *к. т. н., доцент, nkpor@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. Н. Ершов, *nkpor@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. В. Петров, *nkpor@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. С. Тусов, *nkpor@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

П. В. Шишминцев, *nkpor@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В настоящем сообщении приводятся результаты анализа ранее опубликованных материалов, полученных в результате эксперимента по удвоению пропускной способности сверхскоростной радиолинии методом реализации второго канала за счет поляризационного уплотнения. Показано, что за счет усовершенствования конструкции элементов, обеспечивающих поляризационную развязку, можно существенным образом увеличить коэффициенты эллиптичности АФУ и в конечном счете улучшить качество передачи и/или упростить требования к другим составляющим радиолинии. Например, за счет использования поляризационного уплотнения можно увеличить скорость передачи в радиолинии или использовать более простой корректирующий код.

Ключевые слова: радиолиния, канал связи, поляризационная развязка, частотно-энергетические ресурсы, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), модуляция с высокой кратностью, корректирующее кодирование, сигнальное созвездие

Study of the Possibility of Building an Ultra-High-Speed Radio Link for ERS Systems with the Implementation of Polarization Multiplexing (Short Report)

A. A. Adzhibekov, *contact@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

V. V. Berezkin, *Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof., petrov_sv@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. N. Ershov, *nkpor@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. V. Petrov, *nkpor@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. S. Tusov, *nkpor@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

P. V. Shishmintsev, *contact@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. The present report sets forth the results of an analysis of previously published materials, obtained by means of an experiment on doubling the throughput of an ultra-high-speed radio link by realizing the second channel via polarization multiplexing. The improvement of the design of elements ensuring polarization isolation makes it possible to significantly increase the ellipticity ratio of the AFD (antenna feeder device) and, ultimately, to enhance transmission quality and/or simplify the requirements for other components of the radio link. For example, by using polarization multiplexing it is possible to increase the transmission rate in the radio link or use a simpler correcting code.

Keywords: radio link, communication channel, polarization isolation, frequency-power resources, Earth remote sensing (ERS), high order modulation, correction coding, constellation diagram

В статье [1] были опубликованы результаты анализа возможности и соответствующего эксперимента по практически удвоению пропускной способности сверхскоростной радиолинии передачи информации в X -диапазоне частот.

По результатам эксперимента был проведен анализ погрешностей некоторых узлов экспериментального стенда и определены меры по дальнейшему улучшению коэффициента развязки.

Проведена доработка зеркальной антенны диаметром 300 мм (рис. 1).



Рис. 1. Конструкция зеркальной антенны с облучателем

Ввиду того, что исходная антенна построена по двухзеркальной схеме с контррефлектором в ближней зоне облучателя, для увеличения поляризационной развязки потребовалось обеспечить высочайший уровень согласования открытого конца волновода облучателя с контррефлектором и зеркалом.

Согласование облучателя, а следовательно, и характеристики антенны определяются конфигурацией контррефлектора, расстоянием от контррефлектора до открытого конца волновода и расстоянием от контррефлектора до зеркала (ввиду сравнительно малых электрических размеров зеркальной системы).

Соответственно для улучшения характеристик антенны (поляризационной развязки, коэффициента усиления и коэффициента согласования) были доработаны геометрия ступенчатой поляризационной структуры и зеркальной системы.

Указанные геометрические параметры также влияют и на диаграмму направленности зеркала.

Таким образом, для получения высоких уровней поляризационной развязки и направленности антенны решалась оптимизационная задача поиска параметров зеркальной системы: длины открытого конца волновода, конфигурации контррефлектора, его расстояний до облучателя и зеркала, обеспечивающих одновременно хорошее согласование ($|S_{11}|$ не хуже -23 дБ) и высокий уровень коэффициента усиления зеркальной антенны (не менее $24-25$ дБ). Эти параметры были заложены в качестве критериев оптимизации.

Для достижения этой цели численными методами была проведена оптимизация параметров зеркальной антенны с контррефлектором ступенчатой формы, расположенным в ближней зоне. Критериями оптимизации были указанные выше величина коэффициента согласования и уровень коэффициента усиления зеркальной антенны.

В качестве облучателя использовался открытый конец квадратного волновода. Расчет проводился на модели с линейной поляризацией с дальнейшим приведением вычислений к параметрам круговой поляризации.

Полученные в ходе оптимизации частотные зависимости поляризационной развязки и коэффициента усиления антенны приведены на рис. 2, 3.

Усреднение площади под кривой частотной зависимости расчетной величины поляризационной развязки дает приближенную величину средней величины развязки ≈ -29 дБ.

При предположении, что параметры наземной антенны могут быть реализованы примерно с аналогичными параметрами, в первом приближении можно ожидать, что результирующий коэффициент развязки в приемопередающей системе радиолинии составит величину порядка -26 дБ.

В соответствии с данными таблицы эта величина развязки соответствует коэффициентам эллиптичности наземной (НА) и бортовой (БА) антенн $KЭ \approx 0,95$. (При экспериментальной отработке была получена величина $-21,6$ дБ, что соответствовало $KЭ \approx 0,92$.)

При этом результирующий перекоп АЧХ коэффициента направленности антенн в значительной мере компенсируется за счет работы цифрового корректора, входящего в состав демодулятора.

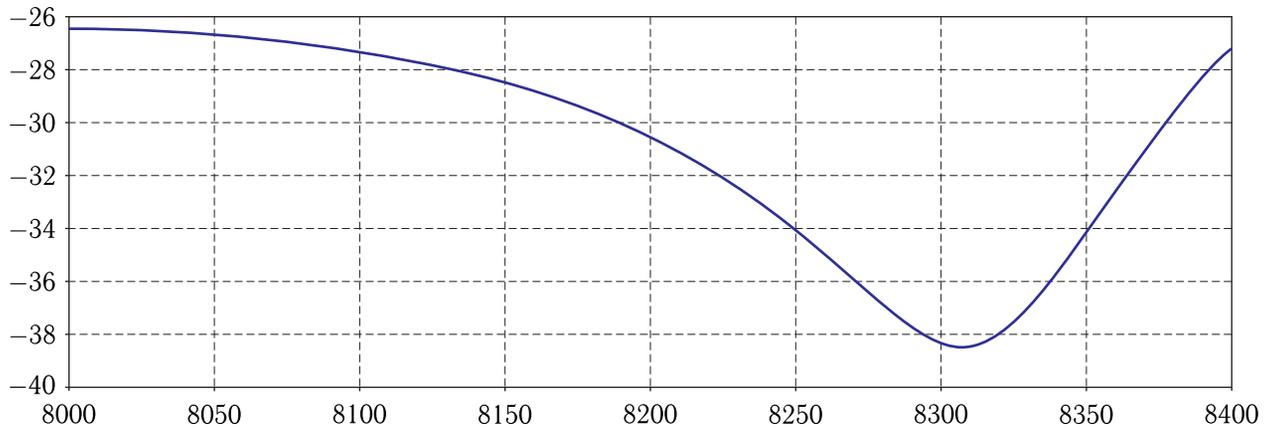


Рис. 2. Частотная зависимость расчетной поляризационной развязки зеркальной антенны

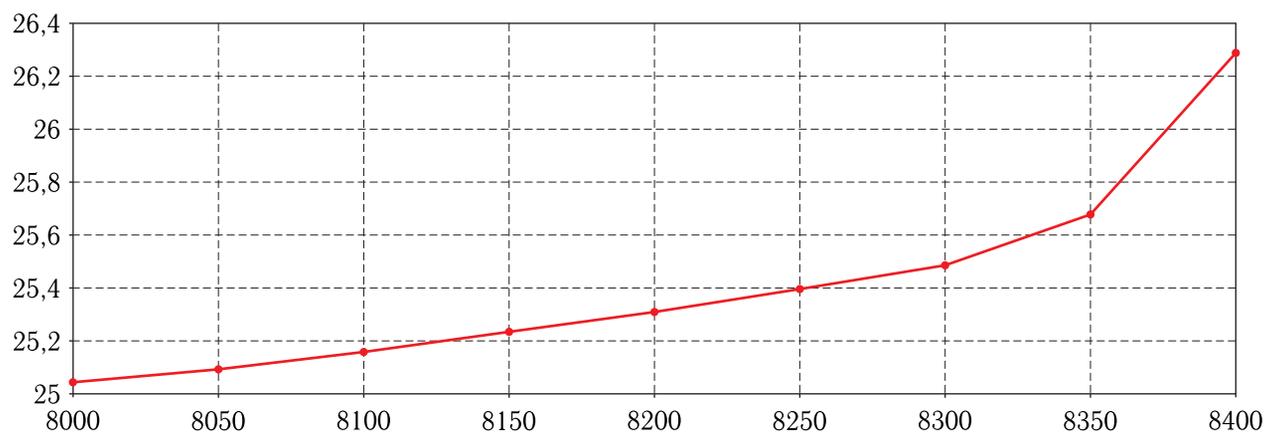


Рис. 3. Частотная зависимость расчетного коэффициента усиления зеркальной антенны

Таблица. Соответствие коэффициента эллиптичности БА и НА величинам поляризационной развязки

Коэффициент эллиптичности БА/НА	Развязка, дБ								
	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
0,99	-40,0	-36,4	-33,9	-31,9	-30,3	-28,9	-27,7	-26,6	-25,7
0,98	-36,4	-33,9	-31,9	-30,3	-28,9	-27,7	-26,7	-25,7	-24,9
0,97	-33,9	-31,9	-30,3	-29,0	-27,8	-26,7	-25,8	-24,9	-24,1
0,96	-31,9	-30,3	-29,0	-27,8	-26,7	-25,8	-24,9	-24,2	-23,4
0,95	-30,3	-28,9	-27,8	-26,7	-25,8	-25,0	-24,2	-23,4	-22,8
0,94	-28,9	-27,7	-26,7	-25,8	-25,0	-24,2	-23,5	-22,8	-22,2
0,93	-27,7	-26,7	-25,8	-24,9	-24,2	-23,5	-22,8	-22,2	-21,6
0,92	-26,6	-25,7	-24,9	-24,2	-23,4	-22,8	-22,2	-21,6	-21,1
0,91	-25,7	-24,9	-24,1	-23,4	-22,8	-22,2	-21,6	-21,1	-20,5

В итоге разница хода кривых по горизонтальной оси между $P_{\text{err}}\text{APSK} = f(E_{\text{bit}}N_0)$ и $P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{pol}} = f(E_{\text{bit}}N_0)$, а также соответственно между $P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{ldpc}} = f(E_{\text{bit}}N_0)$ и $P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{ldpcpol}} = f(E_{\text{bit}}N_0)$ (рис. 4) уменьшится до величин лучше, чем 0,1 дБ.

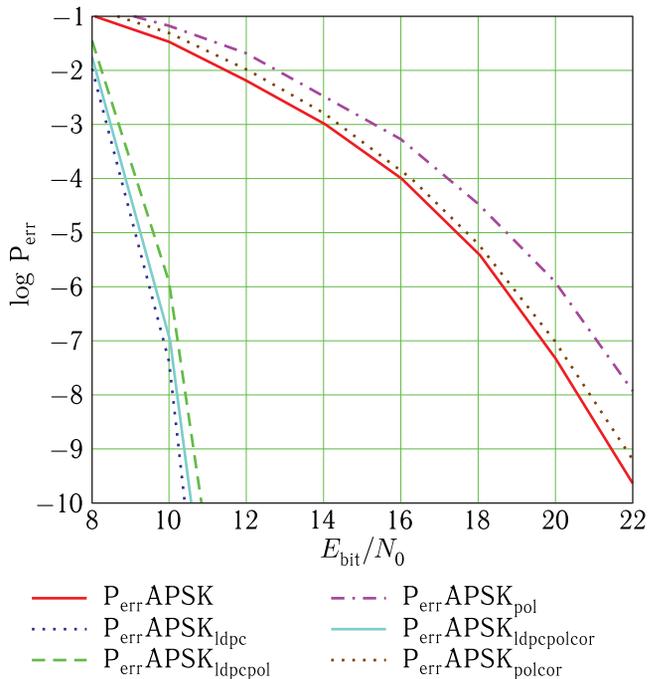


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки от энергетичности в канале $\log P_{\text{err}} = f(E_{\text{bit}}/N_0)$ в одноканальном режиме и в режиме с поляризационной развязкой. Вид модуляции 32APSK, вид кодирования LDPC 7/8

Обозначения на рис. 4:

$P_{\text{err}}\text{APSK}$ — вероятность ошибки в случае без избыточного APSK32 (эксперимент);

$P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{pol}}$ — вероятность ошибки в случае без избыточного APSK32 при наличии поляризационной развязки (эксперимент);

$P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{polcor}}$ — вероятность ошибки в случае без избыточного APSK32 при наличии поляризационной развязки после коррекции (оценочное значение);

$P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{ldpc}}$ — вероятность ошибки APSK32 в случае кодирования (эксперимент);

$P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{ldpcpol}}$ — вероятность ошибки APSK32 в случае кодирования, при наличии поляризационной развязки (эксперимент);

$P_{\text{err}}\text{APSK}_{\text{ldpcpolcor}}$ — вероятность ошибки APSK32 в случае кодирования, при наличии поляризационной развязки после коррекции (оценочное значение).

Заключение

Таким образом, анализ результатов экспериментальной отработки показал, что за счет усовершенствования конструкции элементов, обеспечивающих поляризационную развязку в проведенном эксперименте, можно существенным образом увеличить коэффициенты эллиптичности АФУ и в конечном счете улучшить качество передачи и/или упростить требования к другим составляющим радиолинии. Например, можно несколько увеличить скорость передачи в радиолинии или использовать более простой корректирующий код.

Список литературы

1. Аджибеков А. А., Березкин В. В., Ершов А. Н., Петров С. В., Петров А. В., Шишминцев П. В. Экспериментальное исследование эффективности поляризационного уплотнения для сверхскоростной радиолинии систем ДЗЗ // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. Т. 7, № 2. С. 11–20.