

УДК 621.396.96

Д. С. Боровицкий, А. Е. Жестерев
 АО "Российский институт радионавигации и времени" (Санкт-Петербург)
 В. П. Ипатов, Р. М. Мамчур
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Компьютерная модель отраженного сигнала спутникового высотомера

Объектом исследования является высотомер космического базирования. Цель исследования – разработка компьютерной модели отраженного сигнала спутникового радиовысотомера в среде *Matlab*. В работе используется феноменологическая интерпретация отражающей поверхности как совокупности независимых отражателей (блестящих точек), на свойства которых накладывается ряд ограничений. Полученная модель применима для изучения влияния параметров зондирующего сигнала, антенны высотомера, состояния морской поверхности и ряда других параметров на форму профиля принимаемой мощности, а также верификации теоретических результатов. Разработанный программный продукт обладает высокой степенью адекватности физически прогнозируемым характеристикам отраженного сигнала и вполне пригоден для применения в компьютерных экспериментах по исследованию основных режимов функционирования высотомера.

Спутниковый высотомер, отражающая поверхность, элементарный отражатель, отраженный сигнал

Спутниковые радиолокационные высотомеры являются ключевым элементом космических миссий, предназначенных для дистанционного зондирования Земли. Альтиметры сантиметрового и миллиметрового диапазонов позволяют проводить глобальный мониторинг земной поверхности вне зависимости от времени суток и состояния атмосферы, осуществляя бесконтактное измерение уровня и степени возмущенности морской поверхности, локализацию океанских течений и вихрей, измерение вектора приповерхностного ветра и т. п.

В течение десятилетий отечественные системы космического мониторинга Земли создавались в расчете на использование альтиметров зарубежных фирм, имеющих устоявшиеся позиции на рынке высокотехнологичной электроники научного профиля. Текущая же конъюнктура дает импульс к активизации разработок отечественных высотомеров, отвечающих мировым стандартам в части точности, энергосбережения и коммерческой привлекательности.

На проектно-тестовом этапе разработки критически важная роль отводится компьютерным моделям, имитирующим физические условия и разнообразные режимы функционирования спутникового высотомера. В настоящей статье обоснованы подходы к моделированию сигнала, принимаемого альтиметром космического базирования, детализированы параметры модели и приведены результаты ее

верификации на основе теоретического анализа и компьютерных экспериментов.

Профиль принимаемой мощности. В ряде публикаций [1]–[4] приведены варианты выражения для профиля (зависимости от времени) мощности отраженного сигнала, поступающего на приемник высотомера. Геометрию расчета профиля для случая невзволнованной поверхности поясняет рис. 1 [2], где горизонтальная плоскость xOy соответствует отражающей поверхности; h – высота фазового центра антенны альтиметра над отра-

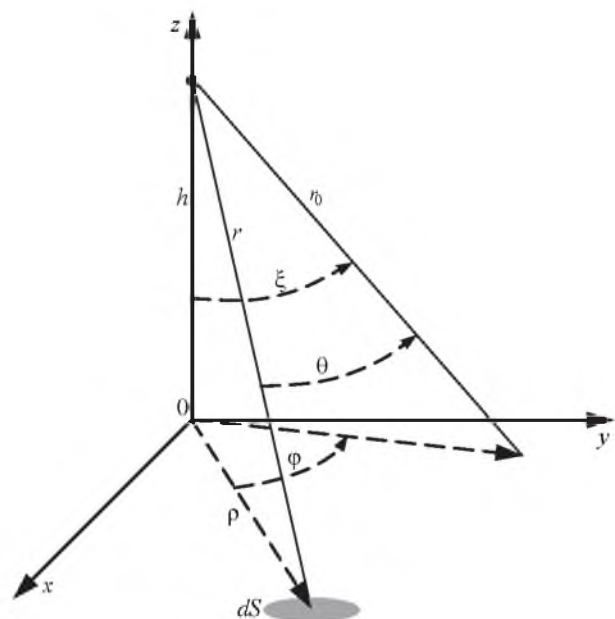


Рис. 1

жающей поверхностью; ξ – угол между осью диаграммы направленности антенны (ДНА) r_0 и направлением надира; r – наклонная дальность от фазового центра антенны до элемента отражающей поверхности (блестящей точки) dS , имеющего полярные координаты ρ , φ ; θ – угол между направлением на этот элемент и осью ДНА.

В предположении некогерентного сложения мощностей отражений от блестящих точек в пределах освещаемого пятна результирующая усредненная принятая мощность определится соотношением [2]

$$P_T(t) = A \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{s^2 \left(t + 2 \frac{h-r}{c} \right)}{\left[1 + (\rho/h)^2 \right]^2} G^2(\theta) \rho d\rho d\varphi, \quad (1)$$

где в A собраны все не зависящие от координат элементарного отражателя величины; $s(t)$ – форма сжатого зондирующего импульса; $r = \sqrt{h^2 + \rho^2}$; c – скорость света; $G(\theta)$ – ДНА;

$$\theta = \arccos \frac{h \cos \xi + \rho \sin \xi \cos \varphi}{r}.$$

Во многих источниках по спутниковой альтиметрии [1]–[5] обосновывается тезис о том, что профиль принимаемой мощности при волнении моря есть свертка отражения от невзволнованной поверхности с плотностью вероятности высоты волны \mathcal{W} . Тогда выражение для профиля мощности при волнении моря имеет вид

$$P_{TW}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c}{2} \mathcal{W} \left(\frac{cx}{2} \right) P_T(t-x) dx.$$

Распространенной аппроксимацией \mathcal{W} является гауссовская [1]–[6]:

$$\mathcal{W}(z_w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{z_w}} \exp \left(-\frac{z_w^2}{2\sigma_{z_w}^2} \right),$$

где σ_{z_w} – среднеквадратическое отклонение высоты волны z_w . Как можно видеть, при остром луче антенны (шириной порядка 1°) от высоты волны z_w в (1) зависит только мощность сигнала $s(t)$. Поэтому для нахождения $P_{TW}(t)$ можно воспользоваться непосредственно соотношением (1), подставив в него вместо $s^2(t)$ свертку этой функции с плотностью вероятности высоты волны. В частности, при колокольном приближении формы сжатого зондирующего импульса подоб-

ная свертка вновь окажется колокольным импульсом большей длительности [6].

Модель отраженного сигнала в среде Matlab.

Традиционная феноменологическая модель представляет отражающую поверхность совокупностью отдельных отражателей (блестящих точек) [7]–[9], удовлетворяющих следующим ограничениям [10]:

- парциальный сигнал индивидуального отражателя не зависит от сигналов других отражателей;
- количество элементарных отражателей, образующих поверхность, должно быть велико, а отражающие свойства этих элементов приблизительно одинаковы;
- ординаты отражателей распределены по нормальному закону, причем статистические характеристики поверхности считаются неизменными в пределах всей облучаемой области в течение продолжительности отраженного сигнала;
- фазы сигналов элементарных отражателей случайны и равномерно распределены в интервале от 0 до 2π ;
- форма и размеры элементарных отражателей определяют диаграмму обратного рассеяния морской поверхности. Поскольку отдельные отражатели имеют конечные размеры, существенно превышающие длину волны радиоизлучения λ , они рассеивают энергию в ограниченном диапазоне углов;
- угол отклонения оси ДНА ξ невелик, так что облучение близко к вертикальному;
- поверхность крупношероховатая; значения ординат морских волн и радиусы кривизны много больше λ .

Детали компьютерной модели поясняются рис. 2. Элементарные отражатели (блестящие точки) отстоят друг от друга на интервал корре-

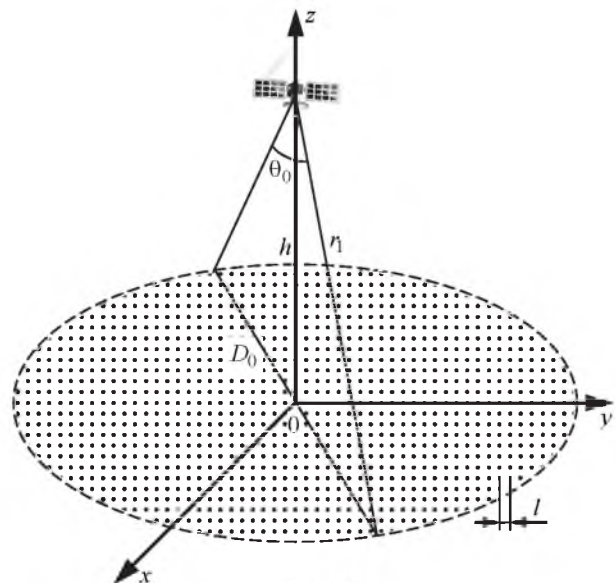


Рис. 2

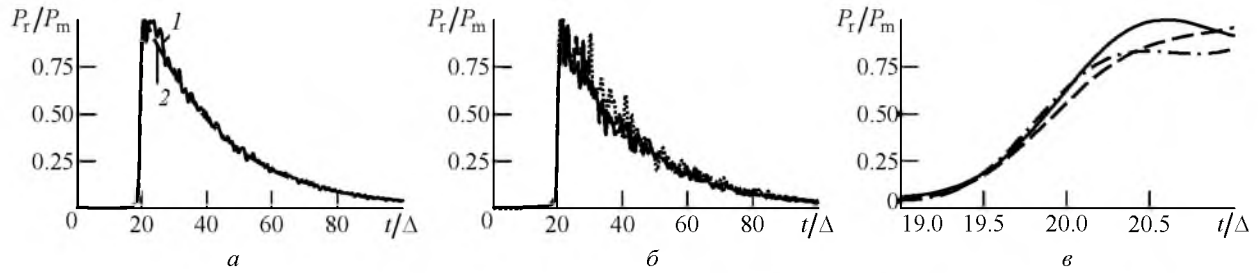


Рис. 3

ляции l , зависящий от взволнованности морской поверхности. В дополнение к ранее введенным обозначениям на рис. 2 показаны: θ_0 – ширина луча ДНА на половинном уровне; $r_1 = h/\cos(\theta_0/2)$ – расстояние от космического аппарата до крайнего элементарного отражателя в пределах луча антенны и $D_0 = 2h \operatorname{tg}(\theta_0/2)$ – диаметр области, засвечиваемой лучом антенны шириной θ_0 . Для учета более отдаленных отражателей полный диаметр пятна засветки принимался в 2 раза большим: $D = 2D_0$.

В компьютерных экспериментах, выполненных при отсутствии волнения, значение l варьировалось с целью достижения компромисса между точностью имитации отраженного сигнала и временем исполнения программы. Для компьютерных экспериментов при значениях параметров волнения, указанных далее, удовлетворительным в указанном смысле было сочтено значение $l = D/500$.

Для экономии времени вычислений процедура сжатия сигнала приемником из модели исключена, а сжатие учтено адекватным укорочением и увеличением мощности зондирующего сигнала. Иначе говоря, реальный высотомер с широкополосным зондированием заменен гипотетическим, излучающим короткий импульс, эквивалентный реальному по форме отклика согласованного фильтра.

Предположим, что сжатый импульс описывается законом $\sin(Wt)/(Wt)$, что отвечает зондирующему сигналу с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с девиацией W . Генерируемый моделью нормированный на максимум P_m профиль мощности отраженного сигнала, усредненный по $N = 1000$ зондированиям, приведен на рис. 3, а, где время нормировано на длительность импульса по уровню половинной мощности $\Delta = 0.8859/W$. Для наглядности профиль смещен вправо на величину 20Δ . График построен для следующих исходных параметров высотомера и отражающей поверхности:

- высота орбиты спутника $h = 1000$ км;
- ширина спектра сигнала $W = 320$ МГц;
- расстояние между элементарными отражателями $l = 42$ м;
- число возможных значений начальных фаз отражателей $N_p = 100$;
- значимая высота морских волн $H_w = 0$ ($H_w \approx 4\sigma_{z_w}$ [1], [3], [4]);
- ширина луча ДНА на половинном уровне $\theta_0 = 0.6^\circ$.

Для сравнения на том же рисунке представлен профиль мощности, рассчитанный с помощью (1). Как видно, различия между теоретической и модельной кривыми малозаметны. На рис. 3, б показаны несколько наложенных реализаций усредненного по 100 зондированиям профиля мощности, нарастающие фронты которых (с растяжением по оси времени) приведены на рис. 3, в, демонстрирующем незначительные флюктуации момента достижения фронтом уровня половины максимальной мощности усредненного профиля.

В ходе тестирования программы построены нормированные кривые профиля мощности для различных значимых высот волны H_w (рис. 4). Как и ожидалось, волнение моря приводит к растяжению переднего фронта профиля, подтверждая правомерность учета волнения эквивалентным увеличением длительности зондирующего импульса.

На рис. 5, а представлены нормированные кривые профиля мощности отраженного сигнала высотомера для значений интервала простран-

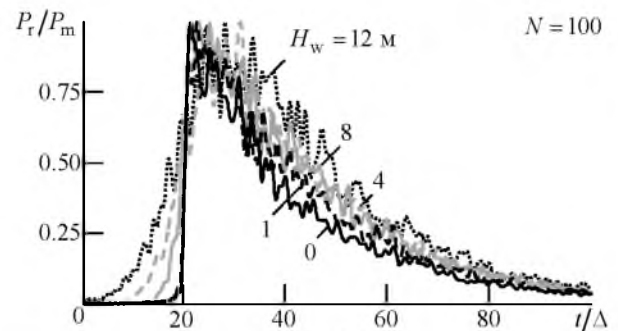


Рис. 4

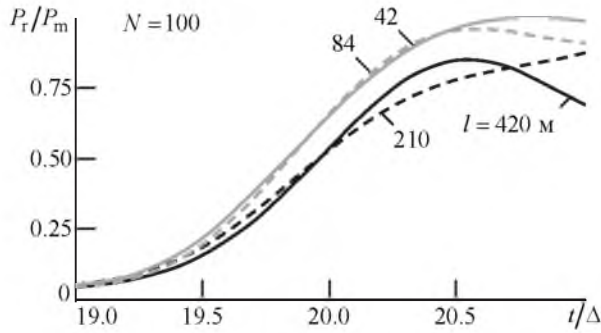
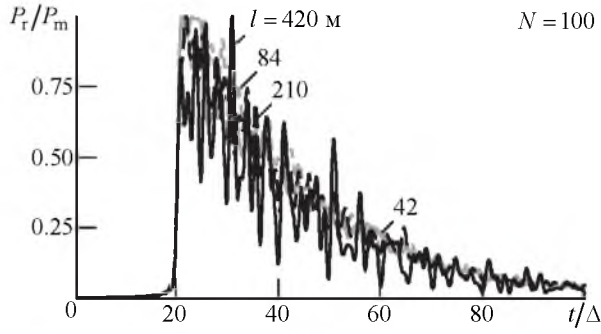


Рис. 5

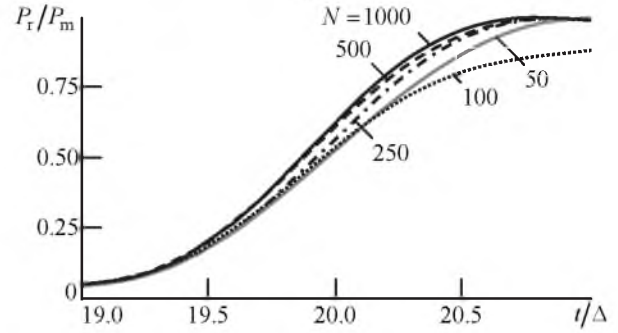
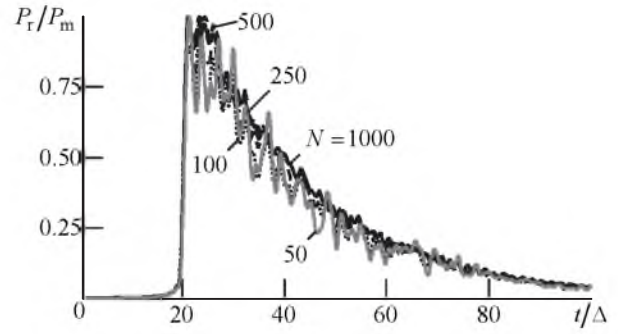


Рис. 6

ственной корреляции $l = D/50, D/100, D/250, D/500$ (при $D = 21\,000$ м): 420, 210, 84 и 42 м соответственно. Передние фронты этих зависимостей приведены на рис. 5, б. Видно, что увеличение расстояния между "блестящими точками" в модели приводит в основном к усилению флуктуаций заднего фронта профиля, влияние же этого фактора на передний фронт выражено слабо.

Рис. 6 демонстрирует влияние числа накопленных зондирований N на нормированный принятый профиль мощности. Отчетливо прослеживается улучшение сглаживания медленно спадающего фронта отраженного сигнала, тогда как крутой передний фронт малочувствителен к увеличению параметра N .

На рис. 7 изображены зашумленные нормированные профили мощности в зависимости от отношения принятой мощности к дисперсии теплового шума на входе квадратичного детектора Q . Рост интенсивности шума поднимает "пьедестал" (шумовую дорожку) нормированного профиля, не оказывая заметного влияния на скорость нарастания его переднего фронта.

На рис. 8, а, б представлены профили мощности и их передние фронты для следующих характерных аппроксимаций ДНА:

$$G_1(\theta) = \left[\frac{\sin(2.784 \cdot \theta/\theta_0)}{2.784 \cdot \theta/\theta_0} \right]^2,$$

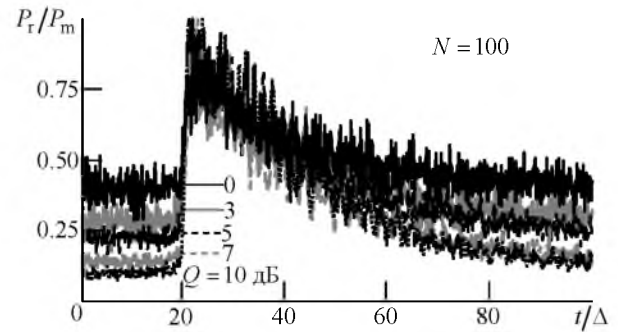


Рис. 7

$$G_2(\theta) = \left| \frac{0.45\theta_0}{\sin \theta} J_1 \left(\frac{4.432}{\theta_0} \sin \theta \right) \right| \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

– антенна с параболическим зеркалом,

$$G_3(\theta) = \exp \left[-4 \ln 2 (\theta/\theta_0)^2 \right]$$

при ширине главного лепестка на половинном уровне $\theta_0 = 0.6^\circ$ ($J_1(\cdot)$ – функция Бесселя первого порядка). Рис. 9 иллюстрирует влияние на профиль мощности ширины луча θ_0 зеркальной параболической антенны с ДНА $G_2(\theta)$. Как можно было ожидать, форма ДНА не оказывает существенного влияния на передний фронт профиля, тогда как спад заднего фронта критически замедляется с расширением луча.

Графики усредненной мощности (рис. 10, а) и ее переднего фронта (рис. 10, б) в зависимости от времени при различных значениях W подтвер-

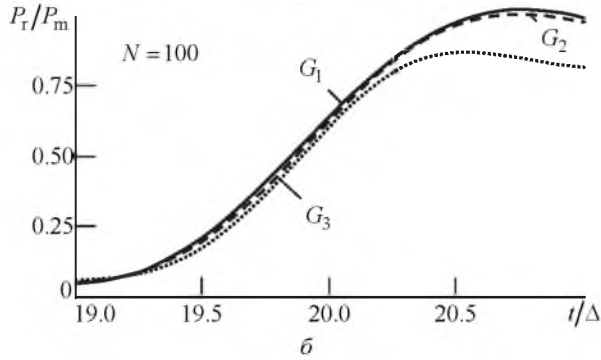
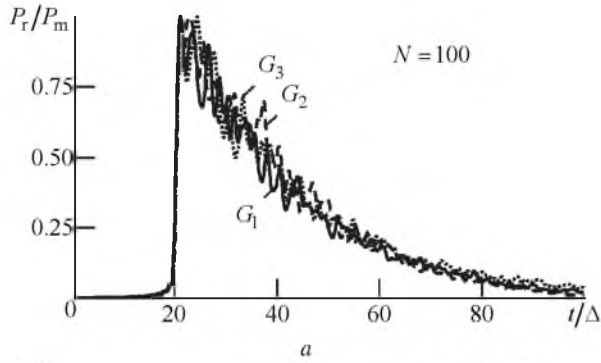


Рис. 8

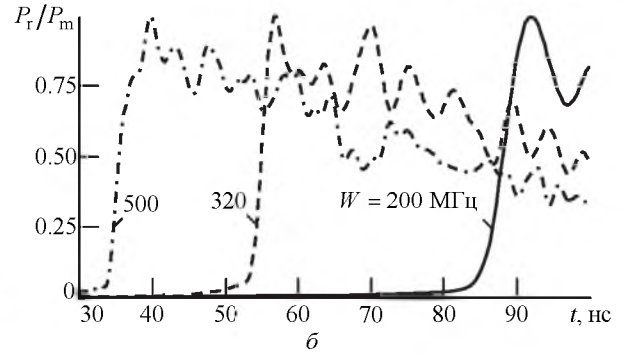
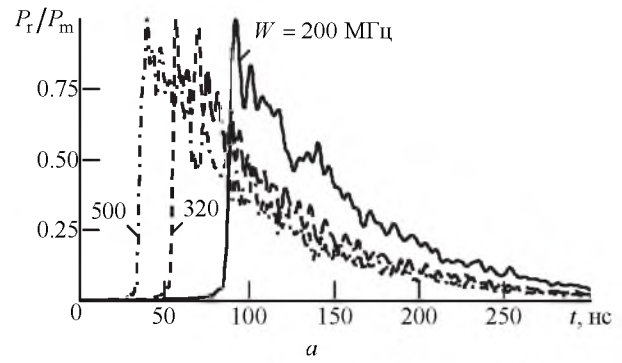


Рис. 10

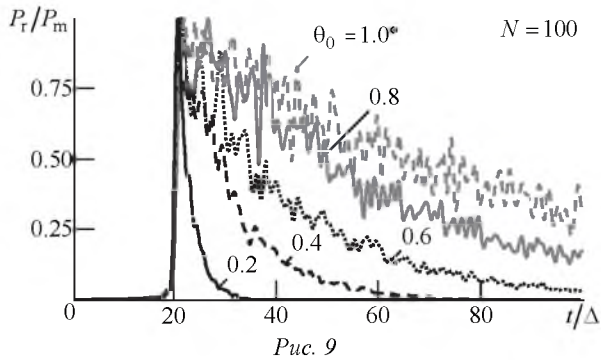


Рис. 9

ждут предсказуемое увеличение крутизны нарастающего фронта профиля с расширением полосы сигнала, а также нечувствительность к этому параметру скорости его убывания.

Как отмечалось, описанная модель воспроизводила профиль мощности на выходе фильтра сжатия в приемнике высотомера. Исключение из модели самой процедуры сжатия связано с тем, что при реальных ширине спектра, длительности сигнала и ширине луча антенны расчет одной ре-

ализации профиля занял бы десятки минут. Поэтому для дополнительной верификации предложенной модели генерируемые ею профили сопоставлялись с получаемыми с помощью модифицированной модели, охватывавшей сжатие импульса, при значениях параметров W и T , приемлемых с точки зрения временных затрат на моделирование. Исполняемый код Matlab был написан для зондирующих сигналов в виде ЛЧМ и фазоманипулированного (ФМ) импульсов. Сгенерированный моделью усредненный за $N=100$ зондирований профиль мощности для ЛЧМ-сигнала с полосой $W=50$ МГц и длительностью $T=10$ мкс показан на рис. 11, а. Для ФМ-сигнала в виде m -последовательности длины 511 усредненный профиль при тех же значениях W , T и N дан на рис. 11, б. Приведенные кривые практически неотличимы от аналогичных, генерируемых моделью, оперирующей со сжатым импульсом полосы $W=50$ МГц при $N=100$, что с особой наглядно-

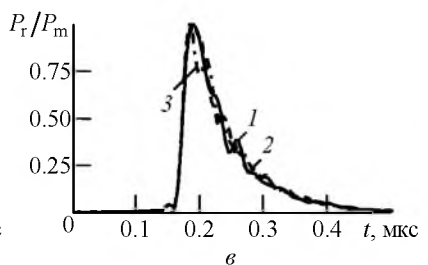
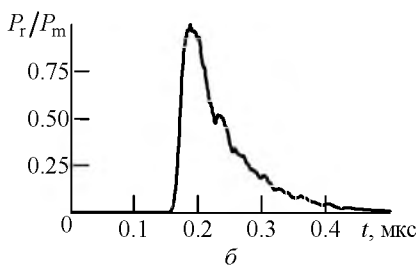
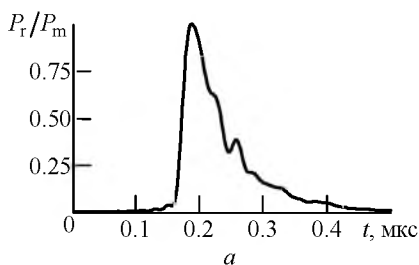


Рис. 11

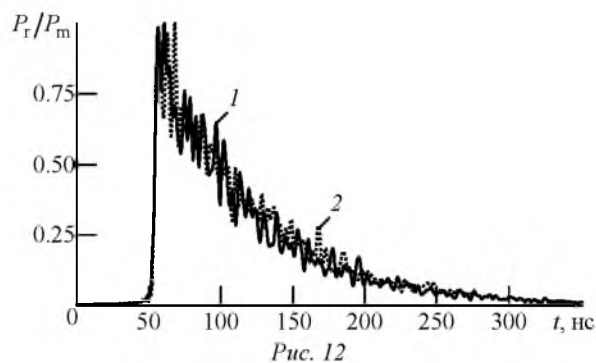


Рис. 12

стью следует из рис. 11, в, на котором представлены нормированные профили мощности для ЛЧМ-сигнала (кривая 1), ФМ-сигнала (кривая 2) и сжатого импульса вида $\sin(Wt)/(Wt)$ (кривая 3).

Для сопоставления исходной и модифицированной моделей по временным затратам проведен также расчет с их помощью профилей для реальных полосы $W = 320$ МГц и длительности зон-

дирующего ЛЧМ-сигнала $T = 100$ мкс при усреднении по $N = 50$ зондированиям. При отсутствии видимых отличий полученных кривых (рис. 12) продолжительность счета для модели, охватывающей сжатие, составила около 8 ч, тогда как для модели со сжатым сигналом аналогичные затраты не превышали нескольких минут.

Отметим, что при типичных вычислительных ресурсах расчет профиля мощности для ФМ-сигналов с теми же значениями полосы и длительности при включении в модель процедуры сжатия оказывается еще более затратным.

Из представленного в настоящей статье материала следует, что разработанная программная модель обладает высокой степенью адекватности физически прогнозируемым характеристикам отраженного сигнала и вполне пригодна для применения в компьютерных экспериментах по исследованию основных режимов функционирования высотомера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coastal Altimetry / ed. by S. Vignudelli, A. G. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 565 p.
2. Brown G. S. The Average Impulse Response of a Rough Surface and Its Applications // IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1977. Vol. AP-25, № 1. P. 67–74.
3. Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications / ed. by L.-L. Fu, A. Cazenave. San Diego: Academic Press, 2001. 463 p.
4. Barrick D. E., Lipa B. J. Analysis and Interpretation of Altimeter Sea Echo // Advances in Geophysics. 1985. Vol. 27. P. 61–100.
5. Hayne G. S. Radar Altimeter Mean Return Waveforms from Near-Normal-Incidence Ocean Surface Scattering // IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1980. Vol. AP-28, № 5. P. 687–692.
6. Brown G. S. Backscattering From a Gaussian-Distributed Perfectly Conducting Rough Surface // IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1978. Vol. AP-26, № 3. P. 472–482.
7. Зубкович С. Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Сов. радио, 1968. 224 с.
8. Жуковский А. П., Оноприенко Е. И., Чижов В. И. Теоретические основы радиолокации. М.: Сов. радио, 1979. 320 с.
9. Хейн Т. А., Баскаков А. И. Разработка компьютерной модели многочастотного радиointерферометра, предназначенного для анализа состояния поверхности акваторий с борта ИСЗ // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 3. С. 43–49.
10. Терехов В. А. Радиолокационные методы определения степени взволнованности морской поверхности с борта ИСЗ: дис. ... канд. техн. наук / Моск. энергетич. ин-т (Техн. ун-т). М., 2011. 228 с.

Статья поступила в редакцию 07 марта 2017 г.

Для цитирования: Компьютерная модель отраженного сигнала спутникового высотомера / Д. С. Боровицкий, А. Е. Жестерев, В. П. Ипатов, Р. М. Мамчур // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 5. С. 12–19.

Боровицкий Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук (2016), ведущий научный сотрудник АО "Российский институт радионавигации и времени" (Санкт-Петербург). Автор 20 научных публикаций. Сфера научных интересов – широкополосные системы радиолокации и радионавигации, теория сигналов.
E-mail: dmitry_nepogodin@mail.ru

Жестерев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук (1982), начальник отдела АО "Российский институт радионавигации и времени" (Санкт-Петербург). Автор 30 научных публикаций. Сфера научных интересов – радиолокация и радионавигация; теория связи.
E-mail: zhesterev@mail.ru

Ипатов Валерий Павлович – доктор технических наук (1983), профессор (1985) кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Заслуженный деятель науки РФ (2001), почетный радист СССР (1983). Автор более 300

научных работ. Сфера научных интересов – радиоэлектронная системотехника; статистическая теория связи; широкополосные системы радиолокации, радионавигации и передачи данных; теория сигналов.

E-mail: ival1941@yandex.ru

Мамчур Руслан Михайлович – магистр техники и технологий по направлению "Радиотехника" (2015), аспирант и ассистент кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор 10 научных публикаций. Сфера научных интересов – статистическая теория связи; широкополосные системы радиолокации, радионавигации и передачи данных; теория сигналов; техническая электродинамика.

E-mail: ruslan.mamchur@mail.ru

D. S. Borovitsky, A. E. Zhesterev

JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time" (Saint Petersburg)

V. P. Ipatov, R. M. Mamchur

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Space-Based Altimeter Backscatter Waveform Software Model

Abstract. The subject of investigation is a space-based altimeter. The goal of investigation is development of MATLAB software model of echo-signal in a satellite radar altimeter. The phenomenological treatment of a scattering surface is used as a set of independent reflectors (specular points) subject to a number of restrictions. The model produced is applicable to simulating the effect of ranging signal parameters, antenna directivity, sea surface condition and other factors on the received power profile as well as verification of theory inferences. The software developed is of a great adequacy to physically predicted echo-signal characteristics and quite suitable for computer experiments aimed at studying altimeter basic operation modes.

Key words: Space-Based Altimeter, Reflective Surface, Specular Point, Echo-Signal

REFERENCES

1. Coastal Altimetry; ed. by S. Vignudelli, A. G. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 565 p.
2. Brown G. S. The Average Impulse Response of a Rough Surface and Its Applications. IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1977, vol. AP-25, no. 1, pp. 67–74.
3. Fu L.-L., Cazenave A. Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications. San Diego, Academic Press, 2001, 463 p.
4. Barrick D. E., Lipa B. J. Analysis and Interpretation of Altimeter Sea Echo. Advances in Geophysics. 1985, vol. 27, pp. 61–100.
5. Hayne G. S. Radar Altimeter Mean Return Waveforms from Near-Normal-Incidence Ocean Surface Scattering. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 1980, vol. AP-28, no. 5, pp. 687–692.
6. Brown G. S. Backscattering From a Gaussian-Distributed Perfectly Conducting Rough Surface. IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1978, vol. AP-26, no. 3, pp. 472–482.
7. Zubkovich S. G. Statisticheskie kharakteristiki radio-signalov, otrazhennykh ot zemnoi poverkhnosti [Statistical Characteristics of Radio Signals Reflected from Earth Surface]. Moscow, Sov. Radio, 1968, 224 p. (In Russian)
8. Zhukovskii A. P., Onoprienko E. I., Chizhov V. I. Teoreticheskie osnovy radiolokatsii [Theoretical Foundations of Radiolocation]. Moscow, Sov. Radio, 1979, 320 p. (In Russian)
9. Khein T. A., Baskakov A. I. Computer Model Design for Multifrequency Radiointerferometer Serving for Sea Surface Condition Analysis from Artificial Satellite Board. Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy [Radio Engineering and Telecommunication Systems]. 2011, vol. 3, pp. 43–49. (In Russian)
10. Terekhov V. A. Radiolokatsionnye metody oprede-leniya stepeni vzvolnovannosti morskoi poverkhnosti s borta ISZ [Radiolocation Methods of Sea Surface Wave Condition Determination from Artificial Satellite Board]. Ph.D. on engineering thesis. Moscow Power Eng. Inst. (Tech. University). Moscow, Russia, 2011, 228 p. (In Russian)

Received March, 07, 2017

For citation: Borovitsky D. S., Zhesterev A. E., Ipatov V. P., Mamchur R. M. Space-Based Altimeter Backscatter Waveform Software Model. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2017, no. 5, pp. 12–19. (In Russian)

Dmitry S. Borovitsky – Ph.D. in Engineering (2016), leading research fellow of JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time" (Saint Petersburg). The author of 20 scientific publications. Area of expertise: broadband radiolocation and radionavigation systems; signaling theory.

E-mail: dmitry_nepogodin@mail.ru

Alexander E. Zhesterev – Ph.D. in Engineering (1982), chief of the department of JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time" (Saint Petersburg). The author of 30 scientific publications. Area of expertise: radiolocation and radionavigation systems; communication theory.

E-mail: zhesterev@mail.ru

Valery P. Ipatov – D.Sc. in Engineering (1983), Professor (1985) of the Department of Radio Engineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". Honored scientist of the RF (2001), honorable radio-man of the USSR (1983). The author of more than 300 scientific publications. Area of expertise: radio-electronic system engineering; statistical communication theory; broadband radar, navigation and data systems; signaling theory. E-mail: ival1941@yandex.ru

Ruslan M. Mamchur – Master of Science in Radio Engineering (2015), postgraduate student and assistant of the Department of Radio Engineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 10 scientific publications. Area of expertise: statistical communication theory; broadband radar, navigation and data systems; signal theory; technical electrodynamics. E-mail: ruslan.mamchur@mail.ru

УДК 520.27

Н. Е. Кольцов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

С. А. Гренков

Институт прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН)

Цифровые видеоконверторы для радиоастрономических систем преобразования сигналов

Цифровые видеоконверторы предназначены для систем преобразования сигналов радиотелескопов. Для видеоконвертора, работающего с тактовой частотой 128 МГц, характерной для радиоастрономической аппаратуры на программируемых логических интегральных схемах, разработан цифровой гетеродин с шагом перестройки 10 кГц. Блок, содержащий 16 цифровых видеоконверторов, выделяет сигналы с полосой 16 или 8 МГц из потоков данных 10GE, поступающих от каналов преобразования широкополосных (512 МГц) сигналов.

Радиотелескоп, цифровой преобразователь сигналов, видеоконвертор

Большинство координатно-временных, геодезических и эфемеридных измерений методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) в настоящее время проводится с использованием многоканальных систем преобразования сигналов (СПС), в которых из широкополосного шумового сигнала промежуточной частоты (ПЧ) видеоконверторами выделяется ряд сравнительно узкополосных (до 16 МГц) сигналов [1]. Обычно такие СПС содержат 14–16 видеоконверторов с фазовым разделением сигналов верхней боковой полосы (ВБП) и нижней боковой полосы (НБП). При РСДБ-наблюдениях по астрометрическим и геодезическим программам чаще всего регистрируются сигналы с полосой ΔF равной 16 или 8 МГц. Видеоконверторы должны перестраиваться гетеродинами в широкой (до 1 ГГц) полосе частот с шагом 10 кГц. Хотя разделение сигналов ВБП и НБП, фильтрация и двухбитное квантование амплитуд выходных сигналов

выполняются цифровыми методами [2], габариты видеоконверторов и СПС в целом все еще остаются большими, так как квадратурные преобразователи частот и гетеродины выполняются на дискретных аналоговых элементах. Поэтому СПС невозможно установить в кабине небольшой быстроповоротной антенны рядом с радиоастрономическим приемным устройством (РПУ), что позволило бы отказаться от громоздких кабельных линий передачи широкополосных сигналов ПЧ с магистральными усилителями, корректорами неравномерности затухания сигналов в широкой полосе частот и множеством разъемов.

На новых радиотелескопах с небольшими антеннами, например на радиотелескопах РТ-13 [3], устанавливаются системы преобразования широкополосных сигналов (СПШС), в которых преобразуются в цифровую форму и форматируются сигналы ПЧ с полосами $B_s = 512$ МГц [4]. Цифровые СПШС компактны и размещаются в антенной ка-