

УДК: 629.783:338.94

НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВ СВЯЗИ

В. Е. Косенко, В. В. Попов, Д. А. Матроницкий, В. Е. Чеботарев, А. А. Внуков

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru

Представлены модели расчета экономической эффективности спутников связи для двух схем финансирования: из госбюджета или за счет внешнего банковского кредитования.

Для каждой схемы финансирования сформированы показатели экономической эффективности: срок окупаемости базовых затрат и индекс доходности проекта.

Разработаны математические модели расчета показателей экономической эффективности для двух схем финансирования, предложен критерий по ограничению диапазона существования показателей экономической эффективности – доходность от проекта не ниже доходности от банковского вклада.

По результатам оценочных расчетов выработаны рекомендации по ограничению срока окупаемости базовых затрат, менее одной трети срока активного существования.

Ключевые слова: спутник связи, индекс доходности, срок окупаемости, экономическая эффективность.

NORMALIZATION OF COST EFFICIENCY FACTOR OF COMMUNICATION SATELLITES

V. Ye. Kosenko, V. V. Popov, D. A. Matronitsky, V. Ye. Chebotarev, A. A. Vnukov

JSC “Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia.
E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru

The cost efficiency calculation models for communication satellites were developed considering two financing schemes: the government budget financing, and at the expenses of bank crediting.

For each of these schemes the cost efficiency indices are formed: basic costs payback period and profitability index.

Respective calculation methods for cost efficiency indices were developed for both financing schemes. There was proposed the constraint criterion for the cost efficiency factor existence range: the project profitability shall be no less than bank deposit profitability.

Using the assesment results there were developed guidelines for the payback period restriction, that is less than one third of the satellite lifetime.

Keywords: communication satellite, profitability index, payback period, economical efficiency.

Экономическая модель создания и эксплуатации спутника связи. Жизненный цикл спутника связи (далее: космический аппарат – КА) характеризуется длительностью ($t_{\text{ж}} = t_{\text{п}} + t_{\text{гс}}$) и наличием следующих укрупненных этапов [1]:

– проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) (длительность этапа $t_{\text{п}}$);

– эксплуатация в пределах гарантированного срока (длительность этапа $t_{\text{гс}}$);

– вывод из эксплуатации.

Этап ОКР охватывает период времени от принятия решения о начале работ (выпуск ТТЗ, заключение контракта) до завершения ввода КА в целевое использование, после выведения КА на орбиту в рабочую точку с предъявлением его Заказчику по результатам положительных предварительных проверок.

Затраты на создание спутника (далее – проекта) можно представить в виде суммы двух составляющих: базовые затраты на проведение ОКР $C_{\text{ОКР.б}}$ и

суммарные затраты на эксплуатацию КА в течение гарантированного срока (суммарные эксплуатационные расходы) $C_{\text{с.э.р}}$.

Затраты на проведение опытно – конструкторских работ в свою очередь формируются как сумма затрат на разработку $C_{\text{ОКР.р}}$, изготовление $C_{\text{ОКР.и}}$ и запуск спутника $C_{\text{ОКР.з}}$ на рабочую орбиту

$$C_{\text{ОКР.б}} = C_{\text{ОКР.р}} + C_{\text{ОКР.и}} + C_{\text{ОКР.з}}. \quad (1)$$

Текущие расходы на эксплуатацию спутника $C_{\text{т.э.р}}$ представим в первом приближении в виде линейной функции от длительности эксплуатации $t_{\text{э}}$:

$$C_{\text{т.э.р}} = C_{\text{у.р}} \cdot t_{\text{э}}, \quad t_{\text{э}} \leq t_{\text{гс}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{у.р}}$ – удельные расходы (принимаются постоянными).

Текущий доход от эксплуатации спутника $C_{т.э.д}$ (текущий эксплуатационный доход) так же представим в виде линейной функции от длительности эксплуатации

$$C_{т.э.д} = C_{у.д} \cdot t_{э}, \quad t_{э} \leq t_{ГС}, \quad (3)$$

где $C_{у.д}$ – удельные доходы (принимаются постоянными).

Общая модель получения текущего чистого дохода от проекта создания спутника связи, по аналогии с инвестиционным проектом [2; 3], определяется уравнением

$$\begin{aligned} C_{т.ч.д} &= C_{т.э.д} - C_{ОКР.б} - C_{т.э.р} = \\ &= (C_{у.д} - C_{у.р}) \cdot t_{э} - C_{ОКР.б}, \\ &t_{э} \leq t_{ГС}. \end{aligned} \quad (4)$$

Приведенная функциональная зависимость текущего чистого дохода от времени содержит, в неявном виде, зависимость базовых затрат на создание спутника $C_{ОКР.б}$ от времени с наличием разрыва между первоначальными расходами и последующими доходами (функция знакопеременная).

Суммарный чистый доход от эксплуатации спутника $C_{с.ч.д}$ в течение всего срока эксплуатации ($t_{э} = t_{ГС}$) согласно формуле (4) составит

$$C_{с.ч.д} = (C_{у.д} - C_{у.р}) \cdot t_{ГС} - C_{ОКР.б}. \quad (5)$$

Дальнейшая детализация экономической модели реализации проекта связана с типом источника первоначального финансирования проекта.

Рассмотрим следующие две принципиально отличающиеся схемы финансирования [2; 3]:

Схема 1: Госбюджетное финансирование.

Схема 2: Внешнее кредитование.

Расчет экономической эффективности проекта при госбюджетном финансировании. Временная диаграмма процесса реализации проекта при госбюджетном финансировании приведена на рис. 1, разъяснения обозначений по тексту.

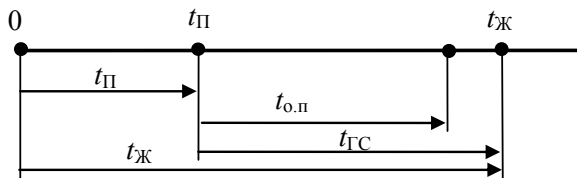


Рис. 1

Общая модель получения текущего чистого дохода от проекта определяется уравнением (4), из которого можно определить срок окупаемости базовых затрат на проведение ОКР, полагая $C_{т.ч.д} = 0$:

$$t_{о.б} = \frac{C_{ОКР.б}}{C_{у.д} - C_{у.р}}. \quad (6)$$

Суммарный чистый доход от эксплуатации спутника $C_{с.ч.д}$ в течение всего срока эксплуатации ($t_{э} = t_{ГС}$) согласно формуле (5) и с учетом равенства (6) составит

$$\begin{aligned} C_{с.ч.д} &= (C_{у.д} - C_{у.р}) \cdot t_{ГС} - C_{ОКР.б} = \\ &= C_{ОКР.б} \cdot \left(\frac{t_{ГС}}{t_{о.б}} - 1 \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Удельный показатель экономической эффективности создаваемого проекта является индекс доходности проекта [2], определяемый из формулы (7):

$$K_{и.д} = \frac{C_{с.ч.д}}{C_{ОКР.б}} = \frac{t_{ГС}}{t_{о.б}} - 1. \quad (8)$$

Согласно уравнению (8) увеличение индекса доходности проекта $K_{и.д}$ требует уменьшения срока окупаемости $t_{о.б}$, значение которого при проектировании имеет обратную тенденцию.

Для разрешения этого противоречия введем критерий нормирования нижней границы значения $K_{и.д}$: сопоставим индекс доходности проекта $K_{и.д}$ с соответствующим индексом доходности от вложения в банк $K_{и.д.б}$ вклада на сумму базовых затрат по ОКР за период полного жизненного цикла проекта КА, который составляет [3]

$$\begin{aligned} K_{и.д.б} &= (1 + K_{Б})^{t_{ж}}, \\ t_{ж} &= t_{П} + t_{ГС}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $K_{Б}$ – ставка банковского вклада.

Из совместного решения уравнений (8) и (9) получим верхнюю границу срока окупаемости базовых затрат $t_{о.б}$, которую примем за срок окупаемости проекта $t_{о.п}$:

$$K_{и.д} = K_{и.д.б}, \quad t_{о.п} = \frac{t_{ГС}}{1 + (1 + K_{Б})^{t_{П} + t_{ГС}}}. \quad (10)$$

В общем случае на показатели эффективности реального проекта накладываются ограничения следующего вида: $K_{и.д} \geq K_{и.д.б}$, $t_{о.б} \leq t_{о.п} \leq t_{ГС}$.

Зависимость срока окупаемости проекта $t_{о.п}$, удовлетворяющего условию (10), от гарантированного срока $t_{ГС}$ приведена на рис. 2.

Анализ графиков рис. 2 показывает, что увеличение $t_{ГС}$ сопровождается увеличением $t_{о.п}$, что облегчает реализацию проекта, так как $C_{ОКР.б} \leq t_{о.п} \cdot (C_{у.д} - C_{у.р})$. Однако при больших значениях $K_{Б}$ это свойство не соблюдается, т. е. увеличение $t_{ГС}$ не дает экономического выигрыша.

Расчет экономической эффективности проекта при его внешнем кредитовании. Временная диаграмма процесса реализации проекта при внешнем кредитовании приведена на рис. 3, разъяснения обозначений по тексту.

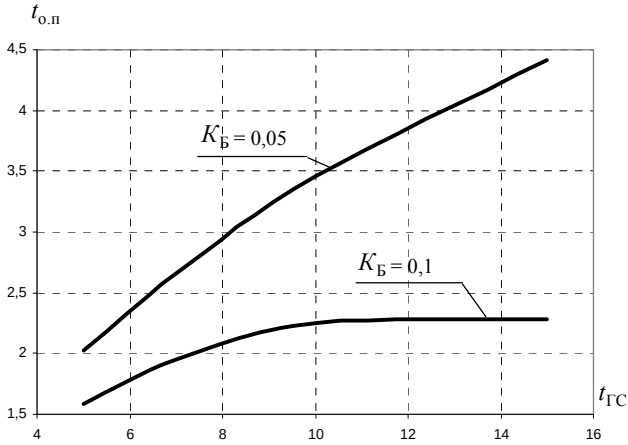


Рис. 2

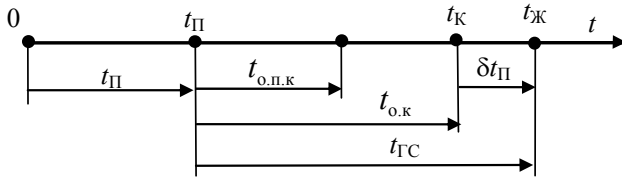


Рис. 3

Для этой модели стоимость ОКР за счет кредитования и страхования рисков возрастает и в случае одноразового кредита определяется выражением

$$C_{\text{ОКР.к}} = C_{\text{ОКР.б}} \cdot (1 + K_{\text{стр}})(1 + K_{\text{кр}})^{t_{\text{к}}}, \quad (11)$$

где $K_{\text{стр}}$ – страховой тариф; $K_{\text{кр}}$ – ставка кредитования, $t_{\text{к}}$ – максимальный срок кредитования, $t_{\text{к}} \leq t_{\text{ж}}$.

На интервале разработки проекта $t_{\text{п}}$ ежегодные затраты неравномерны, поэтому кредитование может быть дискретным с разными начальными сроками, чтобы снизить общие затраты на проект.

$$t_{\text{к}}^i = t_{\text{к}} - i, \quad C_{\text{ОКР.к}} = \sum_{i=0}^{t_{\text{п}}-1} \Delta C_i, \quad i = 0; 1 \dots t_{\text{п}} - 1, \quad (12)$$

$$C_{\text{ОКР.к}} = (1 + K_{\text{стр}}) \sum_{i=0}^{t_{\text{п}}-1} \Delta C_i (1 + K_{\text{кр}})^{t_{\text{к}}^i} = C_{\text{ОКР.б}} (1 + K_{\text{стр}})(1 + K_{\text{кр}})^{t_{\text{к}}} \cdot K_{\text{р.к}},$$

$$K_{\text{р.к}} = \sum_{i=0}^{t_{\text{п}}-1} \frac{\Delta C_i}{C_{\text{ОКР.б}}} (1 + K_{\text{кр}})^{-i}.$$

Значения коэффициента распределения кредита $K_{\text{р.к}}$ в зависимости от различных вариантов его дробления для случая $t_{\text{п}} = 3$ представлены в таблице.

Значения коэффициента распределения кредита $K_{\text{р.к}}$

№	i	0	1	2	$K_{\text{п}}$
1	$\frac{\Delta C_i}{C_{\text{ОКР.б}}}$	1	0	0	1,0
2	$\frac{\Delta C_i}{C_{\text{ОКР.б}}}$	0,3	0,4	0,4	0,953
3	$\frac{\Delta C_i}{C_{\text{ОКР.б}}}$	0,1	0,5	0,4	0,939
4	$\frac{\Delta C_i}{C_{\text{ОКР.б}}}$	0,1	0,6	0,3	0,943

Анализ данных таблицы подтверждает целесообразность использования распределенного кредита.

Общая модель получения текущего чистого дохода от проекта для случая внешнего кредитования определяется уравнением (4) путем замены выражения затрат на ОКР по формуле (12):

$$C_{\text{т.ч.д.к}} = (C_{\text{у.д}} - C_{\text{у.р}}) \cdot t_{\text{э}} - C_{\text{ОКР.б}} \cdot (1 + K_{\text{стр}}) \cdot K_{\text{р.к}} \cdot (1 + K_{\text{кр}})^{t_{\text{к}}}, \quad 0 \leq t_{\text{э}} \leq t_{\text{Гс}}. \quad (13)$$

Длительность срока кредитования и соответственно срока возврата кредита $t_{\text{о.к}}$ определим из уравнения (13), полагая $C_{\text{т.ч.д.к}} = 0$, $t_{\text{к}} = t_{\text{п}} + t_{\text{о.к}}$ и используя равенство (6):

$$t_{\text{о.к}} = t_{\text{о.б}} (1 + K_{\text{стр}}) \cdot K_{\text{р.к}} \cdot (1 + K_{\text{кр}})^{t_{\text{п}} + t_{\text{о.к}}}, \quad t_{\text{о.к}} \leq t_{\text{Гс}}. \quad (14)$$

Суммарный чистый доход от проекта формируется после погашения кредита на интервале, равном $\delta t_{\text{п}} = t_{\text{Гс}} - t_{\text{о.к}}$ и рассчитывается с использованием формул (5) и (6):

$$C_{\text{с.ч.д.к}} = (C_{\text{у.д}} - C_{\text{у.р}}) \cdot \delta t_{\text{п}} = C_{\text{ОКР.б}} \cdot \frac{\delta t_{\text{п}}}{t_{\text{о.б}}}. \quad (15)$$

Индекс доходности проекта при внешнем кредитовании определим как отношение суммарного чистого дохода от проекта (см. формулу 15) к базовым затратам на проведение ОКР

$$K_{\text{и.д.к}} = \frac{C_{\text{с.ч.д.к}}}{C_{\text{ОКР.б}}} = \frac{\delta t_{\text{п}}}{t_{\text{о.б}}}, \quad \delta t_{\text{п}} = t_{\text{Гс}} - t_{\text{о.к}} \geq 0. \quad (16)$$

Используя тот же критерий нормирования нижней границы значения $K_{\text{и.д.к}}$: сопоставим индекс доходности проекта $K_{\text{и.д.к}}$ с соответствующим индек-

сом доходности от вложения в банк $K_{и.д.б}$ (см. формулу (9)), получим верхнюю границу срока окупаемости базовых затрат $t_{о.б}$, которую примем за срок окупаемости проекта $t_{о.п.к}$ при внешнем кредитовании

$$K_{и.д.б} = K_{и.д.к}, \quad (1 + K_B)^{t_{\Pi} + t_{ГС}} = \frac{\delta t_{\Pi}}{t_{о.п.к}} = \frac{t_{ГС} - t_{о.к}}{t_{о.п.к}}. \quad (17)$$

Решая совместно уравнения (14) и (17) путем подстановки $t_{о.п.к} = t_{о.б}$ и в предположении, что $K_B = K_{кр}$, получим уравнение нелинейного вида относительно $t_{о.к}$:

$$t_{о.к} = \frac{(1 + K_{стр}) \cdot K_{р.к}}{(1 + K_{кр})^{\delta t_{\Pi}}}. \quad (18)$$

Уравнение (18) может быть решено графически, путем построения зависимости $t_{о.к}$ и $t_{ГС} = t_{о.к} + \delta t_{\Pi}$ от δt_{Π} , а затем и $t_{о.п.к}$ от δt_{Π} по формуле (17).

Эти графики для случая $t_{\Pi} = 3$ года, $K_{кр} = 0,05$, $K_{стр} = 0,15$, $K_{р.к} = 1,0$ приведены на рис. 4.

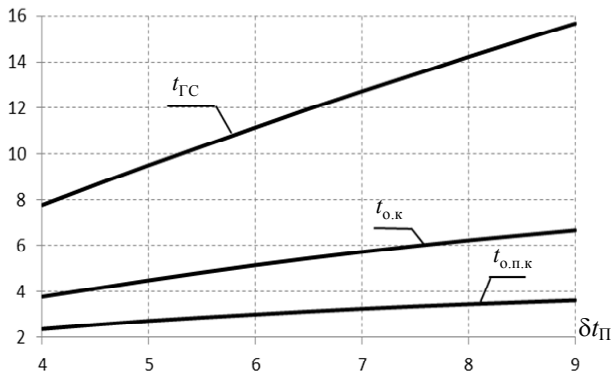


Рис. 4

При малых значениях $K_{кр}$ степенную функцию можно представить в виде полинома первой степени $(1 + K_{кр})^{\delta t_{\Pi}} \approx 1 + K_{кр} \cdot \delta t_{\Pi}$, что позволит привести уравнение (18) к квадратичному виду относительно $t_{о.к}$ (при замене $\delta t_{\Pi} = t_{ГС} - t_{о.к}$).

$$\begin{aligned} K_{кр} \cdot t_{о.к}^2 + b \cdot t_{о.к} - t_{ГС} &= 0, \\ t_{о.к} &= \frac{\sqrt{b^2 + 4K_{кр} \cdot t_{ГС}} - b}{2K_{кр}}, \\ b &= 1 - K_{кр} \cdot t_{ГС} + \frac{(1 + K_{кр})^{t_{ГС}}}{(1 + K_{стр}) \cdot K_{р.к}}, \\ t_{о.п.к} &= \frac{t_{ГС} - t_{о.к}}{(1 + K_{кр})^{t_{ГС}}}. \end{aligned} \quad (19)$$

Расчетные значения $t_{о.к}$ и $t_{о.п.к}$ как функция от $t_{ГС}$, для случая $t_{\Pi} = 3$ года, $K_{кр} = 0,05$, $K_{стр} = 0,15$, $K_{р.к} = 1,0$ приведены на рис. 5. Там же для сравнения приведен аналогичный график для $t_{о.п}$.

Анализ представленных графиков рис. 5 позволяет сделать вывод об ужесточении ограничений на параметр $t_{о.п.к} = \frac{C_{ОКР.б}}{C_{уд} - C_{ур}}$ за счет дополнительных затрат на выплату кредитов и страховых взносов: $t_{о.п.к} \leq t_{о.п}$.

При этом, срок окупаемости проекта должен быть менее одной трети срока активного существования.

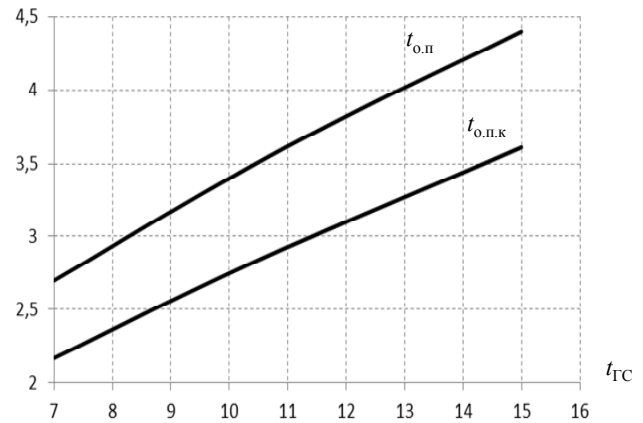


Рис. 5

Формирование показателей экономической эффективности проекта. В рассмотренных экономических моделях реализации проекта показателями экономической эффективности проекта являются: срок окупаемости базовых затрат на проведение ОКР ($t_{о.б}$) и индекс доходности проекта ($K_{и.д}$), на которые накладываются ограничения следующего вида:

а) в схеме госбюджетного финансирования $K_{и.д} \geq K_{и.д.б}$ и $t_{о.б} \leq t_{о.п}$;

б) в схеме внешнего кредитования $K_{и.д.к} \geq K_{и.д.б}$ и $t_{о.б} \leq t_{о.п.к}$.

При известных значениях, условиях и сроках финансирования определяются границы показателей эффективности проекта, что позволяет задать верхнее ограничение на стоимость проведения ОКР по проекту:

$$\begin{aligned} C_{ОКР.б} &\leq t_{о.п} \cdot (C_{уд} - C_{ур}), \\ C_{ОКР.б} &\leq t_{о.п.к} \cdot (C_{уд} - C_{ур}). \end{aligned} \quad (20)$$

Для использования неравенства (20) при проектировании спутника необходимо построить соответ-

вующие математические модели, связывающие проектные параметры спутника с экономическими показателями $C_{\text{ОКР.б}}$, $C_{\text{уд}}$, $C_{\text{ур}}$.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны модели расчета экономической эффективности спутников связи для двух схем финансирования: из госбюджета или за счет внешнего банковского кредитования.

2. Для каждой схемы финансирования сформированы показатели экономической эффективности и методы их расчета: срок окупаемости базовых затрат и индекс доходности проекта.

3. Предложен критерий ограничения диапазона существования показателей экономической эффективности – доходность от проекта не ниже доходности от банковского вклада.

4. Разработанная модель может быть использована для нормирования показателей экономической эффективности спутников связи.

Библиографические ссылки

1. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с.
2. Титов В. И. Экономика предприятия : учебник. М. : Эксмо, 2008. 416 с.
3. Лукашин Ю. П. Финансовая математика : учеб.-метод. комплекс. М. : Изд. центр ЕАОИ, 2008. 200 с.

References

1. Chebotarev V. E. Kosenko V. E. *Osnovy proyektirovaniya kosmicheskikh apparatov informatsionnogo obespecheniya* (Foundation of information satellites design). Krasnoyarsk, 2011, 488 p.
2. Titov V. I. *Ekonomika predpriyatiya* (Enterprise economy, tutorial). Moscow, Eksmo, 2008, 416 p.
3. Lukashin Y. P. *Finansovaya matematika* (Financial mathematics. Educational methodical complex). Moscow, EAOI Publishing Center, 2008, 200 p.

© Косенко В. Е., Попов В. В., Матроницкий Д. А.,
Чеботарев В. Е., Внуков А. А., 2013

УДК 621.396.6

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ МОДУЛЕЙ ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АМ415 В УГЛОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ПО СИГНАЛАМ ГЛОНАСС/GPS

А. Л. Асеев¹, В. М. Владимиров², Ю. Л. Фатеев³,
А. И. Филиппов⁴, В. Ф. Шабанов², В. Н. Шепов²

¹Института физики полупроводников имени А. В. Ржанова СО РАН
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13. E-mail: aseev@sbras.nsc.ru

²Красноярский научный центр СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50. E-mail: vlad@ksc.krasn.ru

³Сибирский федеральный университет
Россия, 660074, Красноярск, ул. Киренского, 28. E-mail: fateev-yury@mail.ru

⁴Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: sovfa@iss-reshetnev.ru

Разработаны трехдиапазонные (L1/L2/L3) антенные модули АМ415, состоящие из щелевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией и малошумящего усилителя. Исследованы их точностные характеристики. Показано, что при измерении в частотном диапазоне L1 по созвездию ГЛОНАСС/GPS среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки позиционирования второго и третьего модуля АМ415 относительно первого составляет в горизонтальной плоскости менее 2,2 мм, в вертикальной менее 1,7 мм. СКО ошибки позиционирования по углам курса, крена и тангажа не хуже 9 угловых минут при расстоянии между центрами трех модулей 0,7 м и не хуже 4 угловых минут при расстоянии 2 м. Антенные модули АМ415 предназначены для высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

Ключевые слова: щелевая полосковая антенна, антенна с круговой поляризацией, высокоточное позиционирование по сигналам ГНСС, измерения по сигналам ГЛОНАСС/GPS.