

Разработка метода эффективного привлечения инвестиций для организации производства космических систем связи

© И.А. Галькевич, М.Н. Захаров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

На мировом космическом рынке операторы систем связи и вещания являются связующим звеном между рынком и космической промышленностью. Для их успешного коммерческого функционирования и обеспечения потребностей конечных потребителей перед операторами стоит задача определения оптимальных параметров заказываемых у промышленности космических аппаратов. Космические системы связи, базирующиеся на основе разрабатываемых спутников, должны быть коммерчески эффективными и инвестиционно привлекательными. Предлагаемый метод оценки эффективности космических проектов позволяет решить эту задачу и определить требуемые тактико-технические характеристики создаваемых космических аппаратов связи и вещания.

Ключевые слова: мировой космический рынок, услуги связи, космическая система связи, спутник, технический уровень, информационная пропускная способность, энергетика, модель, регрессионный анализ, коммерческая эффективность, инвестиционные затраты, доходность проекта.

Обзор рынка спутниковой связи и вещания. Спутниковая связь является наиболее развивающимся сегментом мирового космического рынка (МКР). По оценкам ФГУП «Организация «Агат» и ведущих мировых аналитических компаний Futron Corp., Space Foundation (США), Euroconsult (Франция), объем мирового космического рынка в 2011 г. составил 240,8 млрд долл.

Услуги спутниковой связи состоят из двух основных сегментов. Первый — прямые услуги, непосредственно получаемые в результате деятельности в космосе. Их обеспечивают операторы космических систем, эксплуатирующие космическую технику и ее целевую аппаратуру. К этим услугам относятся аренда ретрансляторов и обслуживание сетей связи. В 2011 г. они составили 25,8 млрд долл., из которых около 7 млрд долл. пришлось на государственных операторов.

Рыночные механизмы регулирования баланса спроса и предложения создали условия, когда именно сфера услуг космических систем (в настоящее время это прежде всего системы фиксированной связи) определяет объемы производства и технико-экономические показатели космических аппаратов (КА) и средств их выведения, т.е. на мировом космическом рынке ракетно-космическая промышленность играет подчиненную роль на фоне приоритетов конечных потребителей услуг и обеспечивающих их потребности

операторов космических систем. Многочисленные исследователи МКР практически единодушны во мнении, что этот рынок в целом устойчиво развивается, в то время как производство коммерческих КА и средств их выведения достигло насыщения и в обозримом будущем не имеет серьезных перспектив роста, сравнимых с темпами роста коммерческих услуг космических систем и средств доступа к этим услугам. Прогнозируется, что рынок прямых космических услуг достигнет к 2015 г. 60 млрд долл., а к 2020 г. — примерно 130 млрд долл.

Второй сегмент — косвенные космические услуги. Это услуги, использующие результаты космической деятельности. К ним относятся спутниковое теле- и радиовещание (формирование и трансляция теле- и радиoproграмм на целевую аудиторию через спутниковые каналы связи), широкополосная связь и пр. В этом сегменте в перспективе практически неизбежно появление новых коммерчески перспективных услуг на базе технических возможностей существующих и перспективных КА. В 2011 г. косвенные услуги составили 88,6 млрд долл., большую часть которых занимает цифровое спутниковое телевещание — 84,4 млрд долл. Доля использования результатов космической деятельности на мировом космическом рынке превышает долю прямой космической деятельности и неуклонно возрастает. К 2015 г. по прогнозам, рынок теле- и радиовещания составит 167 млрд долл., а к 2020 г. достигнет 387 млрд долл.

Одним из основных способов реализации глобальной межконтинентальной связи являются геостационарные связные спутники-ретрансляторы. Основные их достоинства — большая постоянная зона обслуживания, высокая пропускная способность и длительный срок эксплуатации.

Связной геостационарный космический аппарат представляет собой технически сложный объект, характеризующийся набором техническим параметров, определяющих уровень его технологического развития. К его основным тактико-техническим характеристикам относятся: стартовая масса, мощность системы электропитания (СЭС), срок активного существования (САС) и общая пропускная способность (выражаемая в количестве транспондеров).

Наиболее общепризнанной потребительской характеристикой коммерческого телекоммуникационного спутника является его информационная пропускная способность. Она определяется количеством информации, ретранслируемой через спутник на абонентские приемные терминалы. Для спутника связи и вещания этот показатель определяется количеством установленных на нем транспондеров (спутниковых каналов связи), каждый из которых обладает соответствующей мощностью. За поддержание стабильного их функционирования, а также всех служебных систем

КА отвечает система электроснабжения. Она определяет общую энергетику КА и напрямую зависит от мощности целевой аппаратуры. Таким образом, общая производительность космического аппарата также находится в прямой зависимости от его общей энергетики. В этой связи для целей технико-экономического моделирования в качестве основного параметра, характеризующего КА и определяющей его производительность, можно рассматривать общую мощность систем электропитания (СЭП). Этот подход корректен для стабильного периода научно-технического прогресса, когда отсутствуют прорывные технологии, значительно увеличивающие производительность спутников связи при сохранении той же энергетики.

По энергетической характеристике компания Boeing классифицирует свои космические аппараты в следующие группы:

- малые спутники с энергетикой менее 4 кВт;
- средние спутники с энергетикой от 4 до 12 кВт;
- большие спутники с энергетикой более 12 кВт.

С коммерческой точки зрения спутниковая связь охватывает в основном услуги связи, долгосрочную аренду транспондеров, производство наземного оборудования и производство самих спутников связи и вещания. Одним из важных игроков на телекоммуникационном рынке являются операторы космических систем связи. Они служат связующим звеном между рынком и производителями спутников. Для успешного коммерческого функционирования операторов космических систем необходимо определить оптимальные параметры заказываемых у производителя космических аппаратов, которые позволили бы обеспечить потребности конечных потребителей и эффективно использовать привлеченные инвестиции.

Предлагаемый метод оценки эффективности космических проектов связи позволяет решить эту задачу и определить тактико-технические характеристики создаваемых космических аппаратов связи и вещания, при которых КСС будет коммерчески эффективной и инвестиционно привлекательной.

Подход к оценке коммерческой эффективности КСС. Одним из основных параметров, по которому спутниковый оператор может оценивать эффективность вложений в развитие КСС, является *NPV* (чистый дисконтированный доход). *NPV* — это текущая стоимость предполагаемых денежных потоков космического телекоммуникационного проекта, приведенная к текущему моменту, за вычетом инвестиционных затрат.

Доходная часть космического телекоммуникационного проекта формируется за счет сдачи в аренду спутниковых каналов связи. В качестве инвестиционных затрат рассматриваются затраты на приобретение спутника по коммерческой рыночной стоимости

у головного производителя, а также затраты, связанные с полным циклом услуг по запуску космического аппарата в необходимую точку стояния на геостационарной орбите (включая страховку и пр.):

$$NPV = \sum_{n=1}^T \frac{TCF_n}{(1+i)^n} - Inv, \quad (1)$$

где TCF_n — чистый денежный поток для n -го периода; Inv — начальные инвестиции в космический проект; i — ставка дисконтирования.

С учетом специфики космических телекоммуникационных проектов данный показатель предлагается рассчитывать следующим образом:

$$NPV_{KCC} = \sum_{n=1}^T \frac{(D_{ат} - Z_{эксп})}{(1+i)^n} - C_{КА} - C_{зап}, \quad (2)$$

где $D_{ат}$ — доход от аренды транспондеров, долл.; $Z_{эксп}$ — затраты на эксплуатацию спутника, долл.; T — срок активного существования спутника (САС), лет; $C_{КА}$ — коммерческая стоимость спутника связи и вещания, долл.; $C_{зап}$ — стоимость запуска КА, долл.; i — ставка дисконтирования.

Для того чтобы осуществить технико-экономическое моделирование КСС, необходимо выделить один основной технический параметр КА и определить взаимосвязь всех элементов выражения (2) с данным параметром. Как указывалось выше, для этой цели хорошо подходит общая энергетическая характеристика космического аппарата.

$$NPV_{KCC}(P) = \sum_{n=1}^T \frac{(D_{ат}(P) - Z_{эксп}(P))}{(1+i)^n} - C_{КА}(P) - C_{зап}(P). \quad (3)$$

Для определения искомых зависимостей было проведено крупное статистическое исследование, и с помощью регрессионного анализа были определены все составные части выражения (3).

Анализ технических характеристик и стоимости КСС. Процесс сбора данных — наиболее трудоемкий и важный момент всего технико-экономического анализа.

В качестве объектов анализа рассматривались геостационарные спутники связи и вещания ведущих производителей. Удалось собрать информацию по всем интересующим технико-экономическим параметрам.

Информация о спутниках связи и вещания собиралась из многих открытых источников: различных тематических интернет-ресурсов, справочников по космической технике, статей и публикаций в различных изданиях, а также справочно-аналитических материалов.

Наиболее редким параметром, встречающимся в открытом доступе, является стоимость КА. Она зачастую не афишируется, и выбор КА для анализа определялся наличием информации именно об этом параметре. Поэтому предварительный сбор информации был сосредоточен именно на этой экономической характеристике. В процессе статистического анализа были собраны технико-экономические данные по более чем 200 спутникам связи и вещания. Также оказалось, что по некоторым КА отсутствует информация об одном или нескольких технических параметрах — стартовой массе, мощности СЭП и др. Поскольку для проведения анализа необходимы все технико-экономические параметры КА, некоторые спутники пришлось исключить из итогового списка. Конечный вариант анализируемых КА представлен в таблице.

Спутники связи и вещания ведущих производителей

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая платформа)	Год запуска	Стартовая масса КА, кг	Мощность, Вт	САС, лет	Стоимость КА, долл.
1	Galaxy-3	Boeing (HS 601)	2000	4860	12 000	15	90 000
2	Apstar 2R	Boeing (HS 601)	1997	3700	6000	14	90 000
3	Astra 1C	Boeing (HS 601)	1993	2790	3300	15	90 000
4	DirecTV-1R	Boeing (HS 601)	1999	3446	8300	15	150 000
5	ICO G1	Boeing (HS 601)	2008	6600	16 000	15	120 000
6	JCSat 10	Boeing (HS 601)	2006	4400	8000	15	90 000
7	MSAT 1	Boeing (HS 601)	1996	4000	6500	10	90 000
8	Optus B3	Boeing (HS 601)	1994	2858	3000	12	90 000
9	PAS-2	Boeing (HS 601)	1994	2920	5000	15	75 000
10	PAS-3R	Boeing (HS 601)	1994	2920	5000	15	75 000
11	Satmex 4	Boeing (HS 601)	1994	2276	3300	14	90 000
12	Superbird-C	Boeing (HS 601)	1997	3130	4600	10	100 000
13	SUPERBIRD-6	Boeing (HS 601)	2004	3100	4400	13	100 000
14	UFO-11	Boeing (HS 601)	2003	3200	8000	4	150 000
15	UFO-6	Boeing (HS 601)	1995	3200	8000	4	125 000
16	AsiaSat 3S	Boeing (HS 601HP)	1999	3480	10 000	15	90 000
17	AsiaSat 4	Boeing (HS 601HP)	2003	4137	9500	15	100 000
18	Astra 1G	Boeing (HS 601HP)	1997	3379	6600	15	90 000
19	Astra 2A	Boeing (HS 601HP)	1998	3635	7000	15	90 000
20	Astra 2C	Boeing (HS 601HP)	2001	3643	7000	15	90 000
21	DirecTV-1R	Boeing (HS 601HP)	1999	3420	8700	15	100 000
22	DirecTV-4S	Boeing (HS 601HP)	2001	4300	8100	15	125 000
23	GALAXY 8i	Boeing (HS 601HP)	1997	4500	11 000	15	120 000
24	Galaxy-3C	Boeing (HS 601HP)	2002	4860	16 000	15	120 000

Продолжение табл.

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая плат- форма)	Год запу- ска	Стар- товая масса КА, кг	Мощ- ность, Вт	САС, лет	Стои- мость КА, долл.
25	GALAXY 4-R	Boeing (HS 601HP)	2000	3668	15 000	15	120 000
26	GALAXY 10	Boeing (HS 601HP)	1998	4860	16 000	15	140 000
27	Horizons 2	Boeing (HS 601HP)	2007	2300	4700	15	100 000
28	Measat 3	Boeing (HS 601HP)	2006	4900	10 800	15	100 000
29	Mentor 3	Boeing (HS 601HP)	2003	4500	10 000	15	89 000
30	Intelsat 5	Boeing (HS 601HP)	1997	2730	9700	15	100 000
31	Intelsat 10	Boeing (HS 601HP)	2001	5500	9600	15	120 000
32	Satmex 5	Boeing (HS 601HP)	1998	3542	8800	15	90 000
33	Superbird 4	Boeing (HS 601HP)	2000	4051	5400	10	100 000
34	Galaxy-13	Boeing (HS 601HP)	2003	4060	8600	15	145 000
35	Anik F1	Boeing (BSS 702)	2000	4710	16 000	15	150 000
36	Anik F2	Boeing (BSS 702)	2004	5910	16 000	15	115 000
37	NSS-806	Boeing (BSS 702)	1998	3720	4900	12	125 000
38	PAS-1R	Boeing (BSS 702)	2000	4792	14 000	15	100 000
39	Galaxy-11	Boeing (BSS 702)	1999	4488	10 400	14	150 000
40	Spaceway F1	Boeing (BSS 702)	2005	5993	12 690	12,5	170 000
41	Spaceway F2	Boeing (BSS 702)	2005	5993	13 000	12,5	170 000
42	Spaceway 3	Boeing (BSS 702)	2007	6100	15 500	12	150 000
43	Sinosat-5C	Chinese Aerospace Corporation (DFH-4)	2007	2200	4000	8	75 000
44	Sinosat-6	Chinese Aerospace Corporation (DFH-4)	2010	5000	8500	15	75 000
45	Anik F1	EADS Astrium (Eurostar 3000)	2000	4500	10 000	15	115 000
46	INMARSAT 4 F1	EADS Astrium (Eurostar 3000)	2005	5959	16 000	15	233 000
47	Intelsat 10	EADS Astrium (Eurostar 3000)	2001	5500	16 000	15	200 000
48	Amazonas	EADS Astrium (Eurostar 3000)	2004	4545	9500	15	115 000
49	Eutelsat W3A	EADS Astrium (Eurostar 3000)	2004	4300	10 000	15	110 000
50	Galaxy-12	Orbital Sciences (STAR-2)	2003	1760	6000	15	100 000
51	N-Star C	Orbital Sciences (STAR-2)	2002	1625	2600	15	100 000
52	Telkom 2	Orbital Sciences (STAR-2)	2005	1930	5000	15	73 000

Продолжение табл.

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая плат- форма)	Год запу- ска	Стар- товая масса КА, кг	Мощ- ность, Вт	САС, лет	Стои- мость КА, долл.
53	AMC-8	Orbital Sciences (STAR-2)	2000	2015	3300	15	125 000
54	Galaxy-12	Orbital Sciences (STAR-2)	2003	1760	4000	15	100 000
55	Galaxy-14	Orbital Sciences (STAR-2)	2005	2086	4700	15	100 000
56	Galaxy-15	Orbital Sciences (STAR-2)	2005	2033	4700	15	100 000
57	AMC-1	Lockheed Martin (A2100)	1996	2783	6500	15	120 000
58	AMC-10	Lockheed Martin (A2100)	2004	2315	6500	15	130 000
59	AMC-15	Lockheed Martin (A2100)	2004	4200	10 500	15	130 000
60	AMC-4	Lockheed Martin (A2100)	1999	3909	12 300	15	120 000
61	AMC-7	Lockheed Martin (A2100)	2000	1935	6500	15	120 000
62	Chinastar-1	Lockheed Martin (A2100)	1998	3000	6797	15	100 000
63	ABS-1	Lockheed Martin (A2100)	1999	2894	6800	15	150 000
64	NSS-6	Lockheed Martin (A2100)	2002	4575	10 000	14	150 000
65	Echostar 12	Lockheed Martin (A2100)	2003	4328	12 000	18	125 000
66	Telkom 1	Lockheed Martin A2100AX	1999	2763	4000	15	90 000
67	NSS-11	Lockheed Martin A2100AX	2000	3582	10 500	15	110 000
68	AMC-6	Lockheed Martin A2100AX	2000	3901	9600	15	120 000
69	Echostar 3	Lockheed Martin A2100AX	1997	3674	10 000	12	150 000
70	Echostar 7	Lockheed Martin A2100AX	2002	4027	14 000	12	120 000
71	Echostar 10	Lockheed Martin A2100AX	2006	4333	10 000	15	120 000
72	Nimiq 2	Lockheed Martin A2100AX	2002	3600	8600	12	140 000

Продолжение табл.

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая плат- форма)	Год запу- ска	Стар- товая масса КА, кг	Мощ- ность, Вт	САС, лет	Стои- мость КА, долл.
73	NSAT 110	Lockheed Martin A2100AX	2000	3000	6000	15	100 000
74	NSS-7	Lockheed Martin A2100AX	2002	4500	14 000	14	150 000
75	Garuda-1	Lockheed Martin A2100AX2	2000	4291	14 000	12	150 000
76	Agila 2	Space Systems Loral (LS-1300)	1997	3775	9000	15	125 000
77	Apstar 2R	Space Systems Loral (LS-1300)	1997	3750	8300	15	90 000
78	DirecTV-5	Space Systems Loral (LS-1300)	2002	4300	10 500	15	100 000
79	DIRECTV 6	Space Systems Loral (LS-1300)	1997	4500	10 500	15	100 000
80	DirecTV-7S	Space Systems Loral (LS-1300)	2004	5483	14 000	15	100 000
81	Echostar 6	Space Systems Loral (LS-1300)	2000	4000	11 000	12	200 000
82	Echostar 8	Space Systems Loral (LS-1300)	2002	4660	10 000	12	130 000
83	Intelsat 707	Space Systems Loral (LS-1300)	1996	4180	3900	15	126 000
84	PAS-7	Space Systems Loral (LS-1300)	1998	6000	16 000	15	140 000
85	Intelsat 9	Space Systems Loral (LS-1300)	2000	3659	9900	15	160 000
86	MBSat	Space Systems Loral (LS-1300)	2004	4143	7400	12	125 000
87	MSAT 1	Space Systems Loral (LS-1300)	1996	2850	3300	12	102 000
88	MTSAT-1R	Space Systems Loral (LS-1300)	2005	2900	2700	5	100 000
89	NSS-703	Space Systems Loral (LS-1300)	1994	3642	3900	15	126 000
90	Intelsat 7	Space Systems Loral (LS-1300)	1998	3833	8000	15	80 000
91	Satmex 6	Space Systems Loral (LS-1300)	2006	5456	13 000	15	125 000
92	Spainsat	Space Systems Loral (LS-1300)	2006	3680	8000	15	100 000

Продолжение табл.

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая плат- форма)	Год запу- ска	Стар- товая масса КА, кг	Мощ- ность, Вт	САС, лет	Стои- мость КА, долл.
93	Superbird 4	Space Systems Loral (LS-1300)	2000	4051	5400	10	94 500
94	Telstar 12	Space Systems Loral (LS-1300)	1999	3878	10 600	13	110 000
95	Telstar 5	Space Systems Loral (LS-1300)	1997	3515	12 000	13	100 000
96	WildBlue 1	Space Systems Loral (LS-1300)	2006	4735	10 000	12	100 000
97	XTAR-EUR	Space Systems Loral (LS-1300)	2005	3631	9500	15	100 000
98	Thaicom-4	Space Systems Loral (LS-1300)	2005	6505	14 000	12	150 000
99	Galaxy-16	Space Systems Loral (LS-1300)	2006	4640	10 000	15	150 000
100	Galaxy-18	Space Systems Loral (LS-1300)	2008	4642	10 000	15	150 000
101	Galaxy-19	Space Systems Loral (LS-1300)	2008	4690	10 000	15	150 000
102	Galaxy-25	Space Systems Loral (LS-1300)	1997	3515	11 000	13	120 000
103	Galaxy-27	Space Systems Loral (LS-1300)	1999	3790	11 000	13	120 000
104	Telstar 7	Space Systems Loral (LS-1300)	1999	3790	12 000	13	150 000
105	Galaxy-28	Space Systems Loral (LS-1300S)	2005	5493	16 000	13	150 000
106	Intelsat IA-8	Space Systems Loral (LS-1300S)	2005	5500	16 000	13	150 000
107	Galaxy-26	Space Systems Loral (LS-1300)	1999	3765	8100	13	130 000
108	Intelsat APR-2	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	1999	2550	2000	12	65 000
109	Arabsat 2B	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	1996	2661	5000	14	80 000
110	ARABSAT 3	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	1999	2708	6000	13	100 000
111	Atlantic Bird 2	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	2001	3150	7400	15	125 000
112	Hispasat 1C	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	2000	3112	6000	15	87 000

Окончание табл.

№ п/п	Название КА	Производитель КА (Космическая плат- форма)	Год запу- ска	Стар- товая масса КА, кг	Мощ- ность, Вт	САС, лет	Стои- мость КА, долл.
113	Rascom-QAF 1R	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	2010	3050	9000	15	100 000
114	Sinosat-1	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	1998	2840	5100	17,5	87 000
115	THAICOM 3	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000)	1997	2652	5000	14	90 000
116	Hispasat 1D	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B)	2002	3288	6200	15	100 000
117	Eurobird 9A	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B2)	2006	4100	10 000	15	125 000
118	W5A	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B2)	2012	5250	12 300	15	100 000
119	Eurasiasat 1	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2001	3535	13 000	15	180 000
120	Hot Bird 6	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2002	3800	9000	12	125 000
121	Eurobird 9A	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2006	4100	10 000	15	150 000
122	Hot Bird 8	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2006	4900	14 000	15	150 000
123	Star One C1	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2007	4100	10 500	15	122 000
124	Atlantic Bird 3	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2002	4500	11 000	15	190 000
125	Astra 1KR	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3S)	2006	4332	12 000	15	100 000
126	NSS-10	Thales Alenia Space (SPACEBUS 4000)	2005	5396	11 000	16	150 000
127	AMC-13	Thales Alenia Space (SPACEBUS 4000)	2005	4816	11 000	16	150 000
128	AMC-9	Thales Alenia Space (SPACEBUS 4000)	2003	4100	10 000	15	150 000
129	Koreasat 5	Thales Alenia Space (SPACEBUS 4000)	2006	4450	9000	15	150 000
130	Apstar 6	Thales Alenia Space (SPACEBUS 4000C1)	2005	4680	11 000	14	118 000
131	Galaxy-17	Thales Alenia Space (SPACEBUS 3000B3)	2007	4100	9500	15	150 000

Определение взаимосвязи технических и стоимостных характеристик КА. *Стоимость космического аппарата.* Набор исходных данных, представленных в таблице, позволяет определить, как зависит стоимость КА от его энергетики. Для этих целей был проведен регрессионный анализ зависимости стоимости КА от его мощности. С помощью метода наименьших квадратов удалось установить следующую экспоненциальную зависимость:

$$C_{КА} = 8,24 \cdot 10^5 \cdot e^{3,73 \cdot 10^{-3} \cdot P} \quad (4),$$

где $C_{КА}$ — коммерческая стоимость КА, долл., а P — мощность его СЭП, Вт.

Полученная зависимость представлена на рис. 1. Здесь точками обозначены КА из таблицы с их фактическими технико-экономическими характеристиками. Экспоненциальный характер кривой объясняется тем, что высокоэнергетические КА представляют собой технически более сложные космические изделия, и для их создания требуется больше финансовых ресурсов.

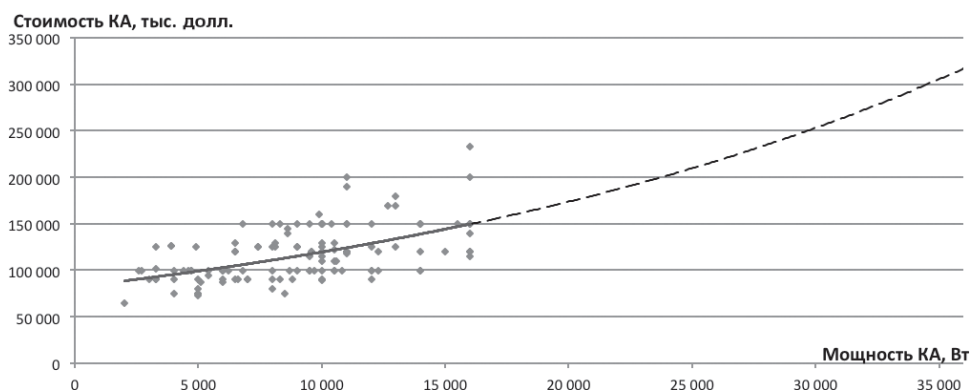


Рис. 1. Зависимость стоимости КА от его мощности

Стоимость запуска космического аппарата. Для определения зависимости стоимости запуска КА от его мощности $C_{зэп}(P)$ в выражении (3) вначале необходимо определить зависимость мощности КА от его массы $P(M)$ и учесть стоимость запуска 1 кг полезного груза на ракете-носителе (РН). Для этой цели был проведен регрессионный анализ требуемой зависимости по исходным параметрам из таблицы. Графическое решение поставленной задачи представлено на рис. 2. Уравнение искомой зависимости имеет вид:

$$P_{КА} = 2,7 \cdot M - 1,448 \cdot 10^3, \quad (5)$$

где P — мощность КА, Вт; M — стартовая масса КА, кг.

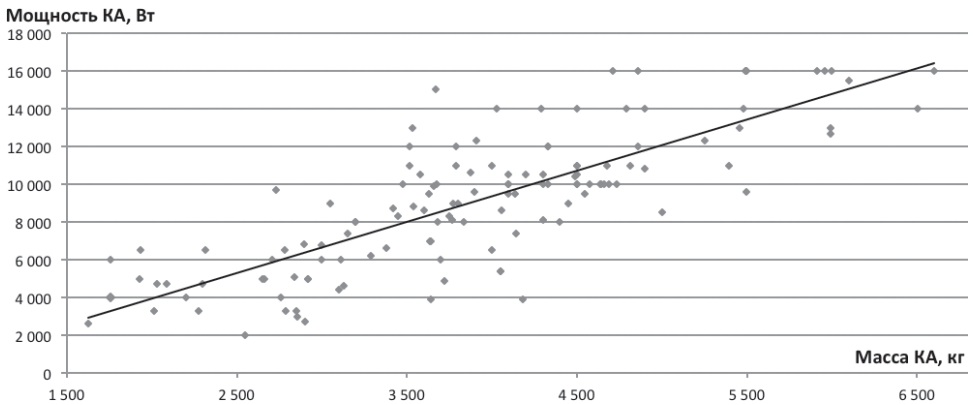


Рис. 2. Зависимость мощности КА от его массы

Отсюда зависимость

$$M(P) = \frac{P + 1,448 \cdot 10^3}{2,7}. \quad (6)$$

Для определения стоимости запуска 1 кг полезного груза связанного спутника возьмем за основу среднюю коммерческую стоимость запуска РН «Протон» на геостационарную орбиту и его грузоподъемность:

$$C_{\text{зап 1 кг ГСО}} = 15,8 \text{ тыс. долл./кг}$$

Совместив это значение с (6), получим следующую зависимость:

$$C_{\text{зэп}}(P) = 1,58 \cdot 10^4 \cdot \frac{P + 1,448 \cdot 10^3}{2,7}. \quad (7)$$

Зависимость стоимости запуска КА от его мощности представлена на рис. 3.

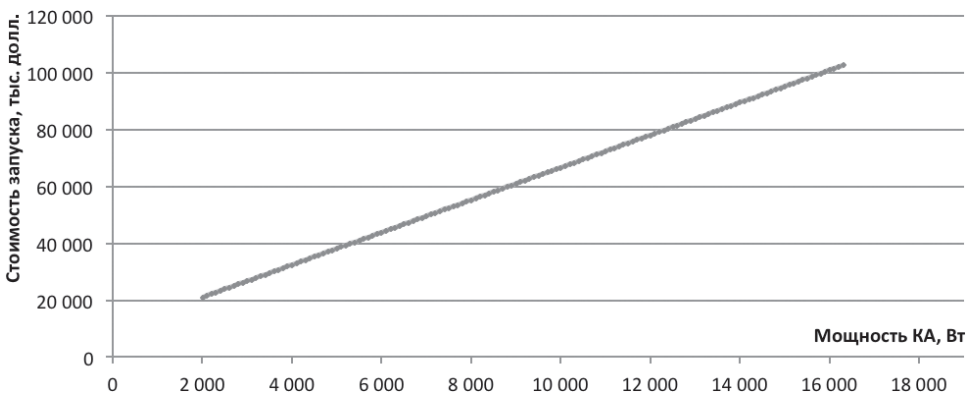


Рис. 3. Зависимость стоимости запуска КА на РН «Протон» от его мощности

В рассматриваемой модели предполагается, что в случае, если анализируется средний КА массой, например, в 1/2 грузоподъемности ракеты-носителя (ГП РН), то к нему присоединяется для попутного запуска другой КА такой массой, чтобы в сумме их масса равнялась грузоподъемности РН, т.е. в данном случае тоже массой 1/2 ГП РН. Стоимость запуска в таком случае будет делиться пропорционально массе КА в общей грузоподъемности РН. В данном примере стоимость обоих КА составляет по 1/2 общей коммерческой стоимости запуска РН.

Доход от эксплуатации космического аппарата. Доход оператора КСС от эксплуатации КА формируется за счет сдачи в аренду каналов связи (транспондеров) теле-, радио-, медиа- и другим компаниям. Среднерыночная годовая стоимость аренды транспондера ($C_{тр}$) составляет около 1 млн долл.

Для того чтобы можно было использовать эту величину в рассматриваемой модели, необходимо прежде определить зависимость между количеством транспондеров на КА и его средней мощностью, необходимой для функционирования заданного числа каналов связи. Исходя из исходных данных и пользуясь регрессионным аппаратом, установлена следующая зависимость $N_{тр}(P)$:

$$N_{тр} = 3 \cdot 10^3 \cdot P + 9,6, \quad (8)$$

где $N_{тр}$ — количество транспондеров на КА, шт., а P — его средняя мощность, Вт. Полученная зависимость представлена на рис. 4.

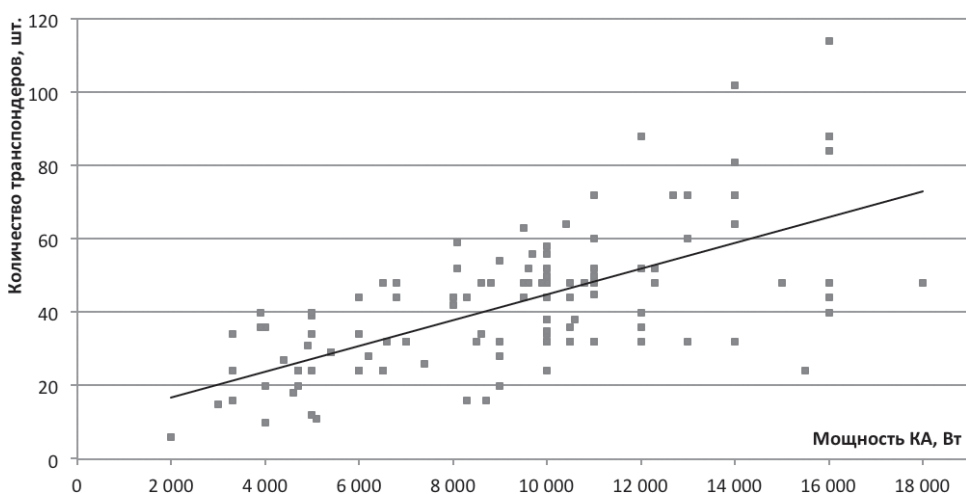


Рис. 4. Зависимость количества транспондеров, установленных на КА, от его мощности

Далее, пользуясь полученной зависимостью (8) и значением стоимости аренды транспондеров, находим искомую зависимость

выручки за аренду каналов связи от мощности КА, на которых они установлены:

$$D_{\text{эт}} = C_{\text{тр}} \cdot (3 \cdot 10^3 \cdot P + 9,6). \quad (9)$$

Полученная зависимость представлена на рис. 5.

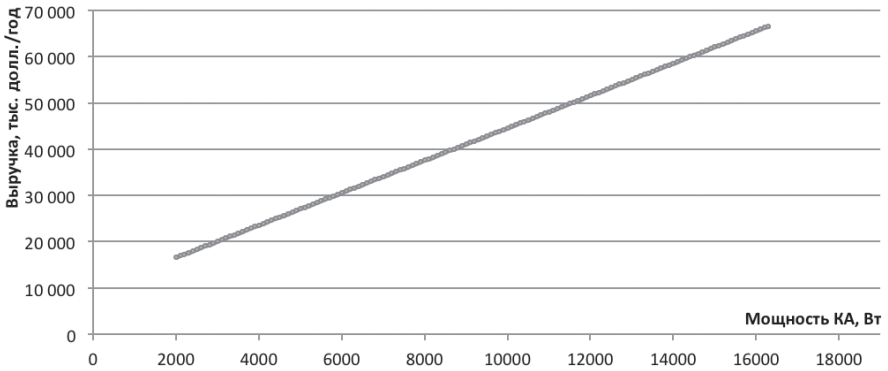


Рис. 5. Зависимость выручки от аренды транспондеров, установленных на КА, от его мощности

Затраты на эксплуатацию космического аппарата. Для определения зависимости затрат на эксплуатацию космической системы от ее мощности воспользуемся следующей формулой:

$$Z_{\text{экс}} = C_{\text{тр}} \cdot N_{\text{тр}}, \quad (10)$$

где $C_{\text{тр}}$ — средние затраты на эксплуатацию одного транспондера; $N_{\text{тр}}$ — количество транспондеров, установленных на КА.

По оценочным данным, средние затраты на эксплуатацию одного транспондера составляют 220 тыс. долл. Используя зависимость (8), получаем выражение

$$Z_{\text{экс}}(P) = C_{\text{тр}} \cdot (3 \cdot 10^3 \cdot P + 9,6). \quad (11)$$

Полученная зависимость представлена на рис. 6.

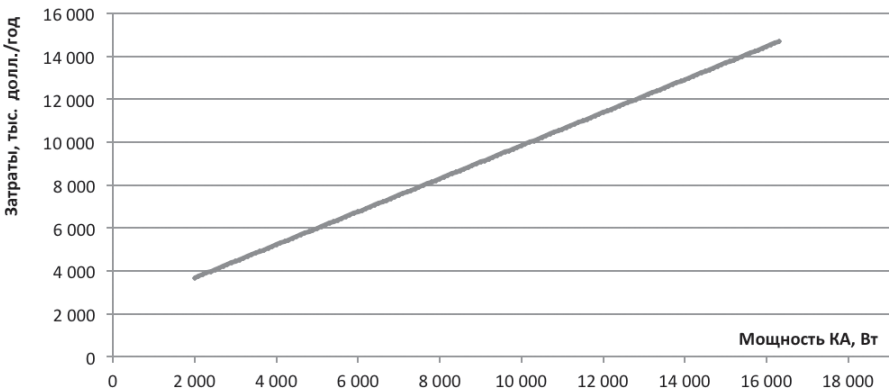


Рис. 6. Зависимость затрат на эксплуатацию транспондеров, установленных на КА, от его мощности

Доходность космической системы связи. Доходность КСС определяется по критерию NPV . Подставляя в выражение (3) найденные зависимости (4), (7), (9) и (11), получаем искомое выражение:

$$NPV_{\text{КСС}}(P) = \sum_{n=1}^T \frac{(7,8 \cdot 10^5 \cdot (3 \cdot 10^{-3} P + 9,6))}{(1+i)^n} - 8,24 \cdot 10^5 \cdot e^{3,73 \cdot 10^5 \cdot P} - 1,58 \cdot 10^1 \cdot \frac{P + 1,448 \cdot 10^3}{2,7}. \quad (12)$$

Ставка дисконтирования i принимается равной 0,12.

Подставив в (12) значения мощности КА с шагом 100 Вт и продисконтировав доходные и затратные потоки во времени для различных САС, получаем зависимость доходности проекта от его мощности. Полученные значения доходности космических проектов представлены на рис. 7 в виде точек.

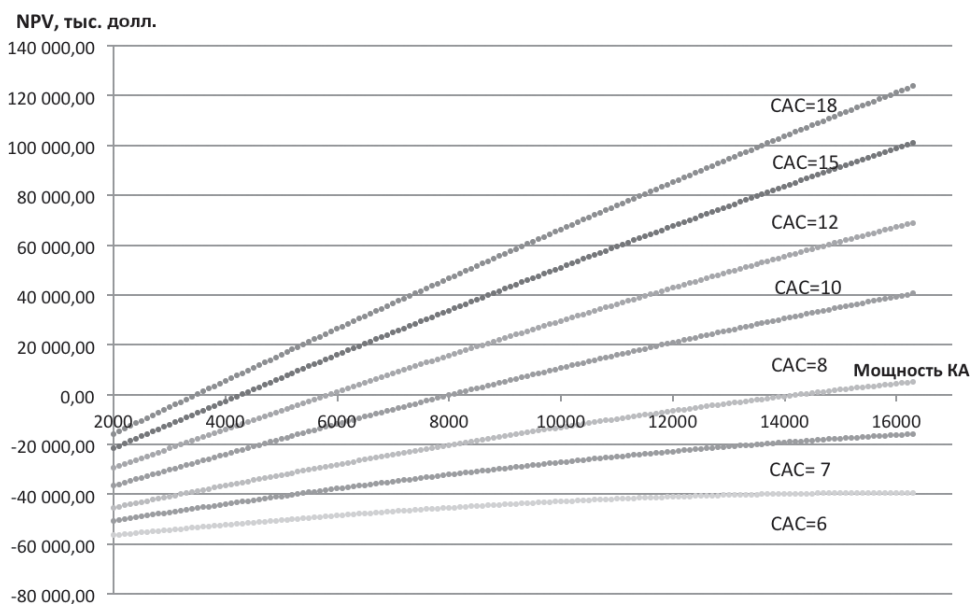


Рис. 7. Динамика доходности КСС по критерию NPV в зависимости от мощности КА

Из полученных данных видно, что космические аппараты со сроком активного существования меньше 8 лет коммерчески неэффективны ($NPV < 0$). Это связано с тем, что инвестиционные затраты космического проекта, связанные с созданием спутника, запуском его на орбиту и т.д., не покрываются доходами от аренды каналов связи за период функционирования КА. Для КА с САС, равным 8 лет, пороговым значением мощности, при котором эксплуатация космической системы становится выгодной, является $P = 14\,300$ Вт. Для КА с САС, равным 10 лет, это значение умень-

шается до $P = 8100$ Вт. Для КА с САС, равным 15 лет, граница эффективности проходит по отметке $P = 4300$ Вт.

Для определения эффективности инвестиционных вложений в проекты традиционно используется индекс $PI = \sum_{n=1}^T \frac{TCP_n}{(1+i)^n} / Inv$.

Адаптировав данное выражение в соответствии с решаемой задачей для КСС, получаем:

$$PI = \frac{\sum_{n=1}^T \frac{(D_{ат} - Z_{эксп})}{(1+i)^n}}{C_{КА} + C_{эксп}}. \quad (12)$$

Подставив в данное выражение значения различных мощностей КА и продисконтировав доходные и затратные потоки во времени для различных САС, получаем зависимости индекса доходности КСС от тактико-технических характеристик рассматриваемых КА. Полученные зависимости представлены на рис. 8.

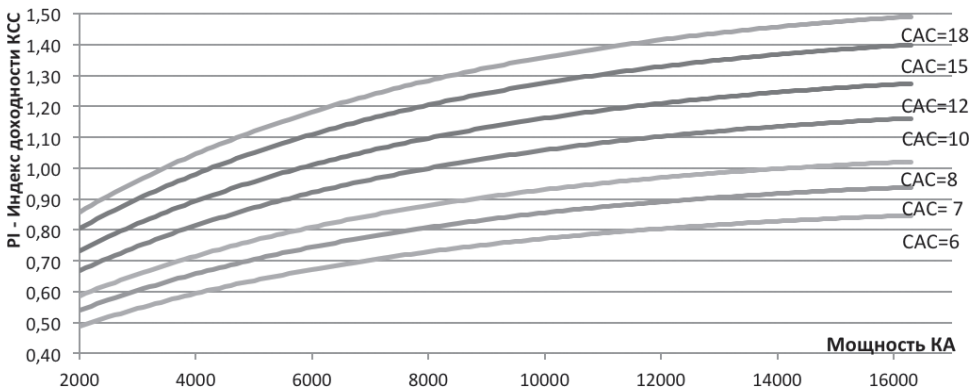


Рис. 8. Динамика доходности КСС по критерию PI в зависимости от мощности КА

Определение коммерческой эффективности КСС. Полученные данные позволяют определить границу технических параметров КА (мощности КА и его САС), при которых КСС, базирующаяся на их основе, является экономически эффективной и в конечном итоге выгодной для создания ($NPV > 0$). Полученная область выделена штрихом на рис. 9. Нижняя граница области соответствует нулевой доходности космических проектов ($NPV = 0$).

Как видно из полученных результатов, общая тенденция такова, что наиболее коммерчески эффективны и выгодны КА с наибольшей мощностью и наиболее продолжительным сроком активного существования. Инвестиционные вложения в создание и развитие КСС и вещания на их основе наиболее выгодны и привлекательны.

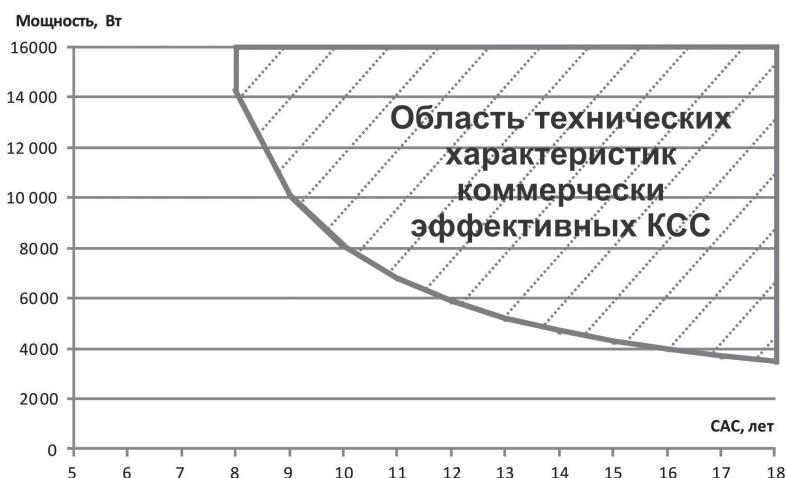


Рис. 9. Область технических характеристик коммерчески эффективных КСС

С другой стороны, в последние годы все большее внимание уделяется малым и средним геостационарным спутникам, так как они обладают рядом преимуществ — оперативность создания, относительно низкая стоимость создания и запуска, более простое частотное обеспечение и международная координация, ниже риски и цена страховки. Поэтому конечный выбор тактико-технических характеристик создаваемых КА основывается на рыночной конъюнктуре, особенностях деятельности телекоммуникационного оператора, рыночных потребностях в пропускной способности спутника и ряде других особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The Space report 2012: Space foundation, 2012.
- [2] Futron forecast of global satellite Service Demand: Futron Corp., 2010.
- [3] Спутниковые системы связи и вещания. Москва, Радиотехника, 2005.
- [4] Информационный портал по космической технике.
URL: <http://space.skyrocket.de>
- [5] Информационный портал по спутникам связи и вещания.
URL: <http://www.satbeams.com>

Статья поступила в редакцию 18.10.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Галькевич И.А., Захаров М.Н. Разработка метода эффективного привлечения инвестиций для организации производства космических систем связи. *Гуманитарный вестник*, 2013, вып. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/120.html>

Галькевич Игорь Александрович — аспирант кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: ibm3@ibm.bmstu.ru

Захаров Михаил Николаевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана.