

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПУСКОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СПУТНИКОВ НА ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПЕРИОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ*

В.А. Пивоваров

pivovalera2012@gmail.com

SPIN-код: 3853-1038

Т.Н. Соболева

tatyana_soboleva_96@mail.ru

SPIN-код: 7454-4745

Е.А. Цыганкова

zhenay95@yandex.ru

SPIN-код: 1807-6650

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

На сегодняшний день использование спутниковых систем наиболее популярно. При устройстве наземных линий применяют провода — оптоволоконные или медные, или при беспроводной технологии — сотовые сети, радио или Интернет. Эти достаточно затратные работы всегда имеют существенные недостатки: ограничение покрытия территории, невозможность демонтажа оборудования. Вопросы модернизации сетей всегда касаются технических возможностей и целесообразности затрат финансовых ресурсов. Самым оправданным в техническом и финансовом смысле для обеспечения надежной и качественной связи является использование спутниковых систем. В статье рассмотрено развитие космического рынка. Проведен анализ запусков космических аппаратов, рассмотрены тенденции запусков спутников и прогнозирование методом экстраполяции.

Ключевые слова

Спутник, прогнозирование, анализ, космический рынок, запуски, космический мусор, трендовая модель, космический аппарат

Поступила в редакцию 06.02.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Современный космический рынок расширяет спектр продуктов и услуг, создаваемых для использования как в сфере космической деятельности, так и вне этой сферы (в интересах безопасности государства). В связи с ростом функциональных возможностей космических аппаратов (КА) на одну из ведущих позиций выходит прогнозирование не только количества запусков КА [1] на ближайшие и долгосрочные периоды, но и востребованность их по технологическим задачам. Прогнозирование позволяет предопределить динамику производства, технологию разработки и создания изделий, что является важным фактором при планировании производства ракетно-космической техники.

В настоящее время развивающаяся коммерциализация космической деятельности, с одной стороны, и целенаправленные действия государственных органов, с другой, — вследствие естественной трансформации космических технологий

* Работа была представлена на конференции «Студенческая весна 2018».

для удовлетворения требованиям свободного рынка, подтвердила возможность самокупаемости и доходности многих областей космической деятельности. Возможно, разгрузка государственного бюджета без ущерба для развития отрасли создала новые мотивы и стимулы к ее дальнейшему развитию. Несомненно, рынок спутников в перспективе ближайших лет будет активно развиваться, поэтому ставится задача прогнозирования динамики мировых запусков.

Задача исследования — построение трендовой модели запусков спутников. Рассматриваются тенденции запусков спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), телекоммуникационных и научных для нескольких стран: Россия, США, Китай, Индия и Франция.

Создание базы данных для анализа современного космического рынка. Тема работы в настоящее время очень актуальна ввиду большой важности эффективных исследований дальнейшего развития ракетно-космических предприятий в условиях рыночной экономики [1, 2].

Для выполнения исследований, удобства проведения анализа и расчетов в процессе работы, была создана реляционная база данных [2] «Запуски» в программе Access. Схема данных базы показана на рис. 1. В таблицах приведены характеристики и функциональные возможности ракет-носителей и космических аппаратов. Экранная копия части таблицы «Космические аппараты» показана на рис. 2. В ней содержатся данные о космических аппаратах за период с 2007 по 2017 г.

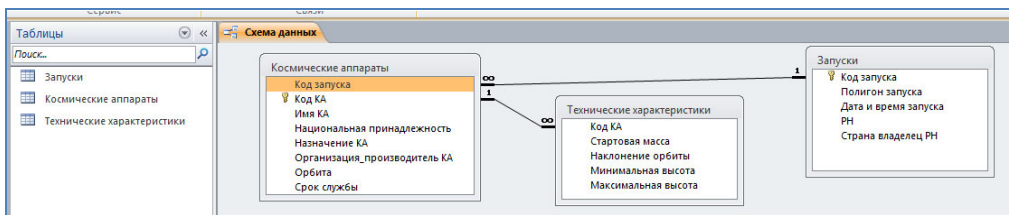


Рис. 1. Часть экранной копии окна базы данных со схемой данных

Код запуска	Номер КА	МО КА	Имя КА	Организация_производитель КА	Национальная принадлежность	Назначение КА	Стартовая А
212_2009	36121	072A	Яогань вэйсин-8	нет	КНР	Оптико-электронный	1040
212_2009	36122	072B	Сиван-1	нет	КНР	Радиолобительский	60
77_12	39030	073A	Gokturk-2	TUBITAK	КНР	Оптико-электронный	450
213_2009	36124	073A	Helios-2B	MO	Франция	Оптико-электронный	4200
78_12	39032	074A	Союз TMA-07M (11Ф732А47 №704А)	Роскосмос	РФ	Пилотируемый (основная экспедиция на МКС)	7186
214_2009	36129	074A	Союз TMA-17	Роскосмос	РФ	Экипаж 22-й основной экспедиции на МКС	7230
79_12	39034	075A	Skyнет 5D	Paradigm	Франция	Телекоммуникационный	4844
79_12	39035	075B	Marsat-3	Paradigm	Франция	Телекоммуникационный	2934
215_2009	36131	075A	DirectV-12	DirectV	США	Телекоммуникационный	3627
57_12	38852	1998-067CN	Raiko	Уч-т Вакаяма	Япония		ДЗЗ 1
8_14	39512	1998-067DG	Flock 1A-3	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
7_14	39513	1998-067DH	Flock 1A-1	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
7_14	39514	1998-067DJ	Flock 1A-2	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
8_14	39515	1998-067DK	Flock 1A-4	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
9_14	39518	1998-067DL	Flock 1A-5	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
9_14	39519	1998-067DM	Flock 1A-6	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
14_14	39520	1998-067DN	Flock 1A-7	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
14_14	39521	1998-067DP	Flock 1A-8	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
15_14	39525	1998-067DQ	Flock 1A-9	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
15_14	39526	1998-067DR	Flock 1A-10	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
10_14	39527	1998-067DS	Flock 1A-11	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
10_14	39528	1998-067DT	Flock 1A-12	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
11_14	39529	1998-067DU	Flock 1A-13	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
11_14	39530	1998-067DV	Flock 1A-14	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
12_14	39531	1998-067DW	Flock 1A-15	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
12_14	39532	1998-067DXA	Flock 1A-16	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
17_14	39555	1998-067DY	Flock 1A-17	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
17_14	39556	1998-067DZ	Flock 1A-18	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
18_14	39557	1998-067EA	Flock 1A-21	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
18_14	39558	1998-067EB	Flock 1A-22	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
19_14	39559	1998-067EC	Flock 1A-19	Planet Labs	США		ДЗЗ 5
19_14	39560	1998-067ED	Flock 1A-20	Planet Labs	США		ДЗЗ 5

Рис. 2. Экранная копия части таблицы «Космические аппараты»

Для подготовки данных к составлению прогноза использованы запросы на выборку, где выполняется условие отбора по назначению спутников в исследуемый период по выбранным странам. Экранные копии выполненных запросов для научных спутников показаны на рис. 3 и 4. Аналогично выполнены запросы по оставшимся категориям.

Также для всех изучаемых типов спутников построены формы-диаграммы, пример одной из которых представлен на рис. 5.

Код запуска	Код КА	Имя КА	Национальная принадлежность	Назначение КА
003_15	40376	SMAP	США	Научный
007_12	38077	Lages	Франция	Научный
029_16	КА037	Ломоносов	РФ	Научный
041_12	38711	Зонд-ПП (МКА-ФКИ)	РФ	Научный
050_11	37855	Dice-2	США	Научный
050_11	37854	Dice-1	США	Научный
050_11	37853	Rax-2	США	Научный
067_14	40283	CE-5T1	КНР	Научный
072_14	40302	Tsubame	США	Научный
077_14	40314	SpinSat	США	Научный
100_14	40024	Nanosat-C BR1	РФ	Научный

а

Код запуска	Код КА	Имя КА	Национальная принадлежность	Назначение КА
			РФ	Научный
			США	Научный
			КНР	Научный
			Индия	Научный
			Франция	Научный

б

Рис. 3. Экранная копия простого запроса на выборку по категории «Научные спутники»:

а — в режиме таблицы; б — в режиме конструктора запроса

Националы	Назначение	Повторы
Франция	Научный	1
КНР	Научный	1
РФ	Научный	3
США	Научный	6

Рис. 4. Экранная копия запросов на повторяющиеся записи по категории «Научные спутники»:

а — в режиме таблицы;

б — в режиме конструктора запроса

а

Поле:	Национальная при	Назначение КА поле	Повторы:	Национал	Национальная при	Назначение КА	Назначение КА
Имя таблицы:	Научные	Научные	Научные	Научные	Научные	Научные	Научные
Групповая операция:	First	First	Count	Группировка	Группировка	Группировка	Count
Сортировка:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Вывод на экран:			> 0				> 0
Условие отбора:							
или:							

б

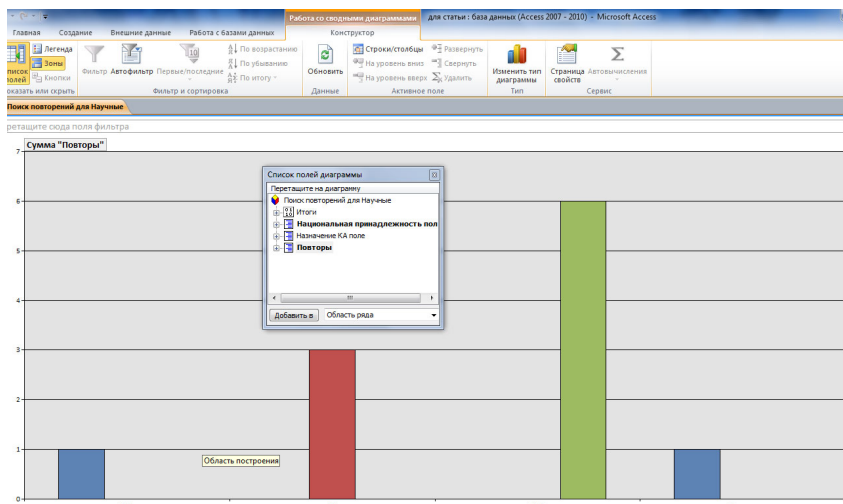


Рис. 5. Экранная копия формы «Сводная диаграмма» по количеству запущенных научных спутников

Назначение выбранных КА.

В зависимости от назначения КА их подразделяют следующим образом:

- ДЗЗ — наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры;
- телекоммуникационные — искусственные спутники Земли, специализированные для ретрансляции радиосигнала между точками на поверхности Земли, не имеющими видимости прямого типа;
- научные — искусственные спутники Земли, предназначенные для изучения поверхности Земли.

Прогнозирование запусков спутников с использованием метода экстраполяции трендов. В качестве метода прогнозирования была выбран метод экстраполяции трендов. Прогноз по тренду учитывает факторы, влияющие на развитие явления только в неявном виде.

Экстраполяция — это прогнозирование неизвестных значений путем продолжения функцией за границы области известных значений [3].

Для составления прогноза на графике показывают линию тренда. Формы линий тренда, отражающие эволюцию уровней временного ряда, как общую тенденцию, выбирают по графику действующих значений уровней временного ряда [4–8].

Исследования проводили со следующими видами форм линий тренда, дающими наиболее значимые и реальные результаты:

1. Линейная форма тренда выбирается, если цепные абсолютные приросты относительно стабильны, не имеют отчетливой тенденции к росту или снижению, т. е. уровень явлений изменяется с постоянной скоростью ($\Delta i = \text{const.}$): $Y = a + b \cdot t$.

2. Экспоненциальная форма тренда (показательная кривая) выбирается, если относительно стабильными являются цепные темпы прироста. $T_i \sim \text{const.}$, т. е. уровень явлений растёт с более или менее постоянной относительной скоростью: $Y = a \cdot b \cdot t$.

3. Логарифмическая форма тренда при замедляющемся росте уровней, не достигающих предельно возможных значений; хорошо описывает величину, которая вначале быстро растёт или убывает, а затем постоянно стабилизируется. $Y = a + b \cdot \log(t)$.

4. Степенная кривая отображает изменение уровней с разной мерой пропорциональности изменений во времени: $Y = a \cdot t^b$.

Если в данных имеются нулевые или отрицательные значения, использование степенного приближения невозможно.

Для удобства работы данные из базы данных были перетранслированы в программу Excel.

На рис. 6 в качестве примера показана работа с общим количеством «научных» спутников: исходные таблицы с данными, примеры построения трендов. Для выбранного диапазона данных были построены все доступные в программе трендовые линии — логарифмическая, линейная, полиномиальная и линейной фильтрации. Но, по тем или иным причинам, картины прогноза они не дали, что подтверждает правильность выбора вышеуказанные трендовых моделей.

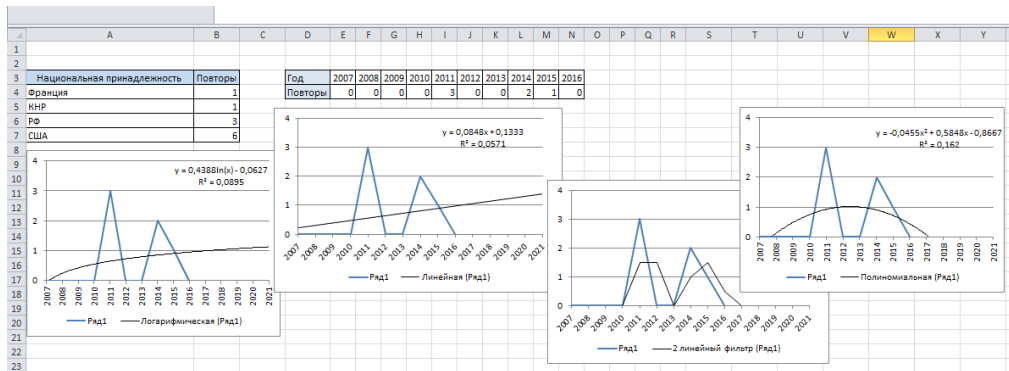


Рис. 6. Пример работы в программе Excel

Рассмотрим трендовые модели спутников ДЗЗ для различных стран.

Трендовая модель спутников ДЗЗ.

РФ. По собранным в базе данным определили следующие трендовые линии:

- 1) линейный тренд: $y = 0,9286x + 2,4286$; $R^2 = 0,0519$;
- 2) логарифмический тренд: $y = 3,544 \ln x + 1,8266$; $R^2 = 0,076$;
- 3) экспоненциальный тренд: $y = 2,3399e^{0,1164 \cdot x}$; $R^2 = 0,0759$;
- 4) степенной тренд: $y = 2,2041x^{0,4313}$; $R^2 = 0,1048$,

где R^2 — коэффициент детерминации — доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, т. е. объясняющими переменными.

Из всех перечисленных трендов для лучшего прогнозирования выбираем степенной, поскольку он имеет наивысшее значение коэффициента детерминации (рис. 7).

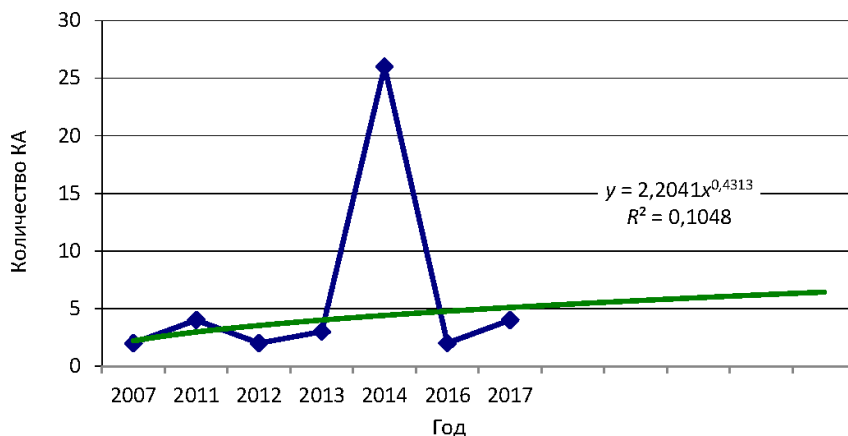


Рис. 7. Степенной тренд КА ДЗЗ РФ

США. Аналогично по данным, собранным в базе Access для США, определили следующие трендовые линии:

- 1) линейный тренд: $y = -0,5714x + 30,667$; $R^2 = 0,0029$;

2) логарифмический тренд: $y = -3,9729 \ln x + 33,023$; $R^2 = 0,0175$;

3) экспоненциальный тренд: $y = 15,11e^{0,0814x}$; $R^2 = 0,0195$;

4) степенной тренд: $y = 18,643x^{0,0683}$; $R^2 = 0,0017$.

Из всех перечисленных трендов для лучшего прогнозирования выбираем экспоненциальный тренд (рис. 8).

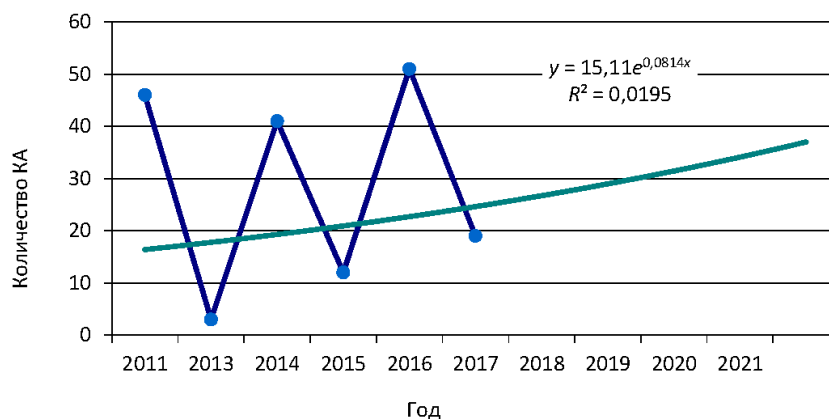


Рис. 8. Экспоненциальный тренд КА ДЗЗ США

Китай. Аналогично по данным, собранным в базе Access, для КНР определили следующие трендовые линии:

1) линейный тренд: $y = 0,369x + 3,4643$; $R^2 = 0,059$;

2) логарифмический тренд: $y = 2,0705 \ln x + 2,3803$; $R^2 = 0,1533$;

3) экспоненциальный тренд: $y = 1,6635e^{0,1738x}$; $R^2 = 0,1917$;

4) степенной тренд: $y = 1,2792x^{0,7883}$; $R^2 = 0,3251$.

Из всех перечисленных трендов для лучшего прогнозирования выбираем степенной тренд (рис. 9).

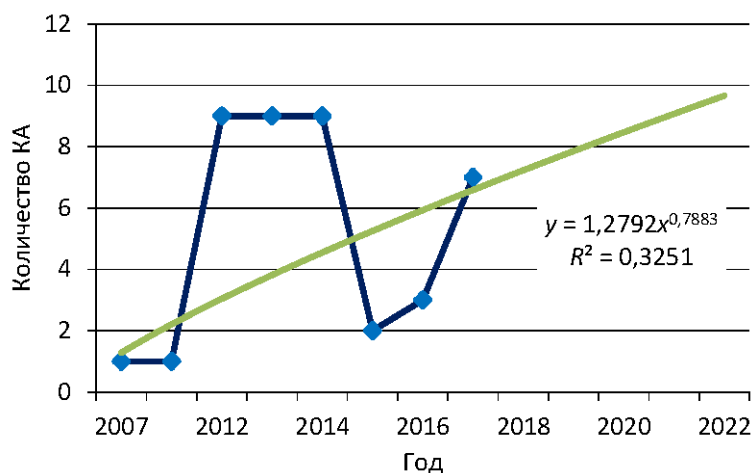


Рис. 9. Степенной тренд КА ДЗЗ КНР

Аналогичным образом были посчитаны и выбраны линии тренда по КА других назначений (рис. 10–17).

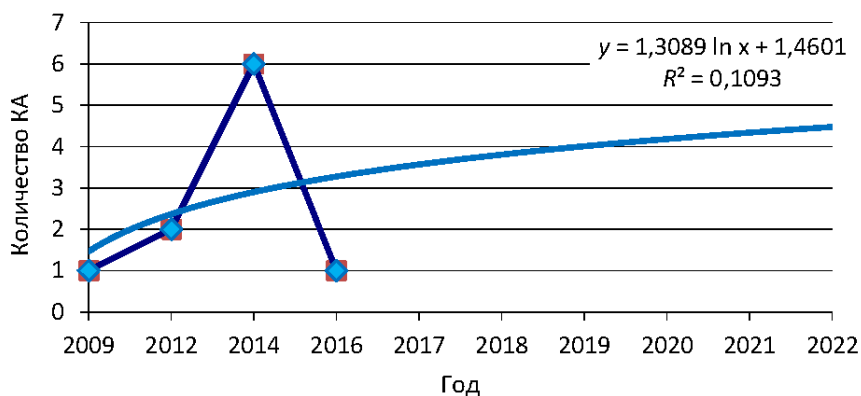


Рис. 10. Логарифмический тренд научных КА РФ

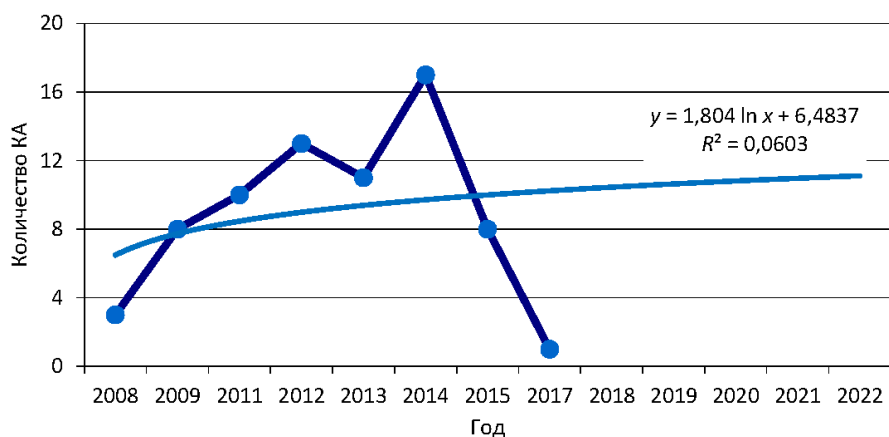


Рис. 11. Логарифмический тренд телекоммуникационных КА РФ

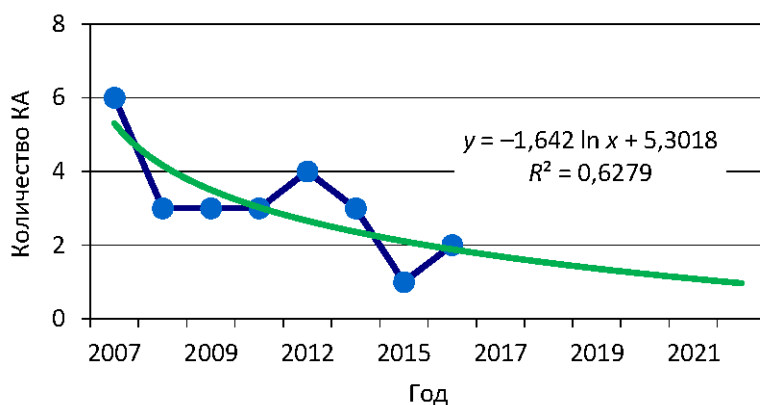


Рис. 12. Логарифмический тренд телекоммуникационных КА США

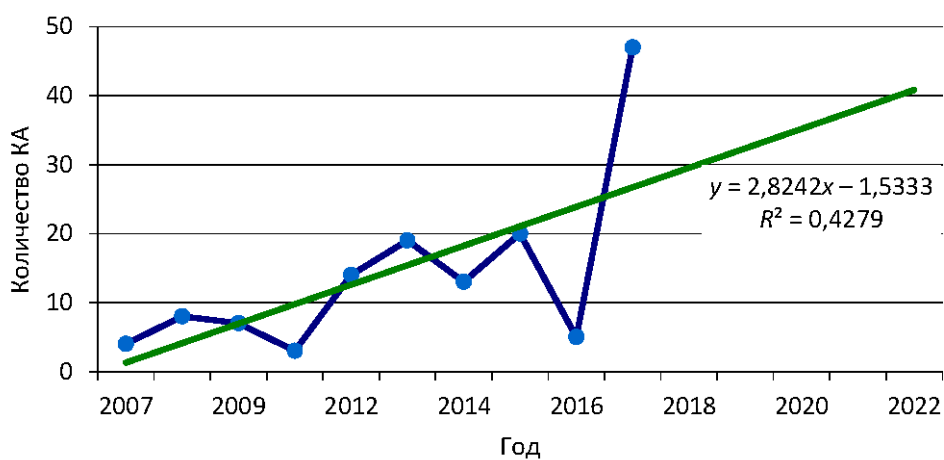


Рис. 13. Линейный тренд телекоммуникационных КА США

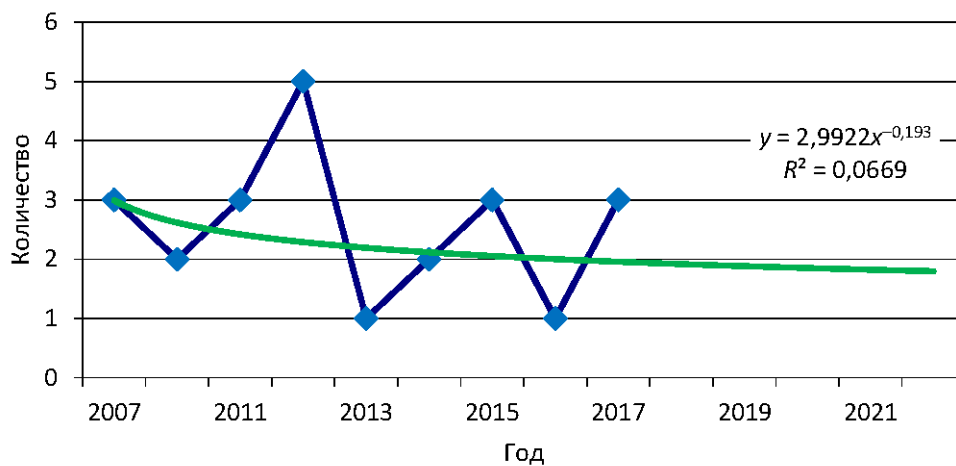


Рис. 14. Линейный тренд для телекоммуникационных КА КНР

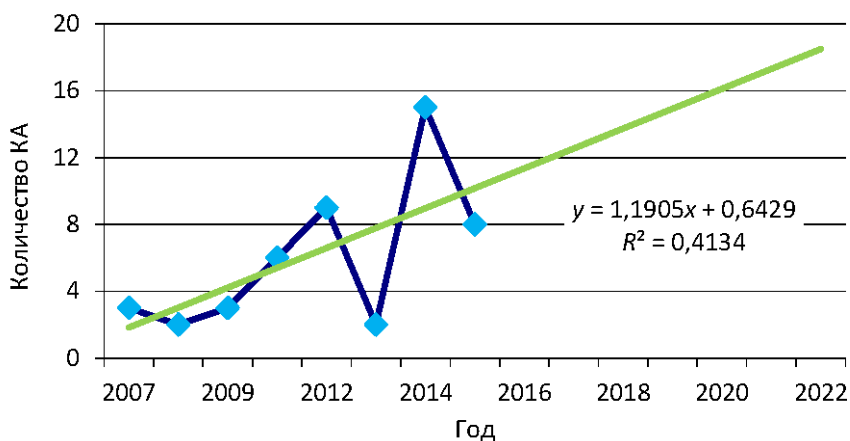


Рис. 15. Линейный тренд телекоммуникационных КА Франции

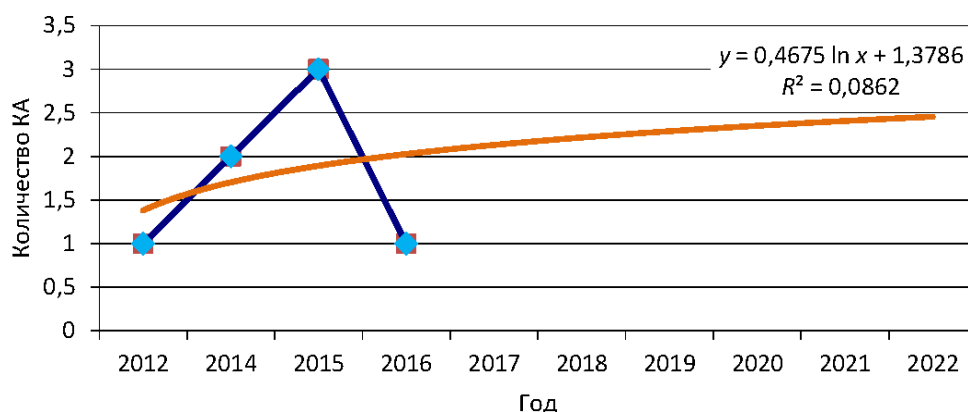


Рис. 16. Логарифмический тренд КА ДЗЗ Франции

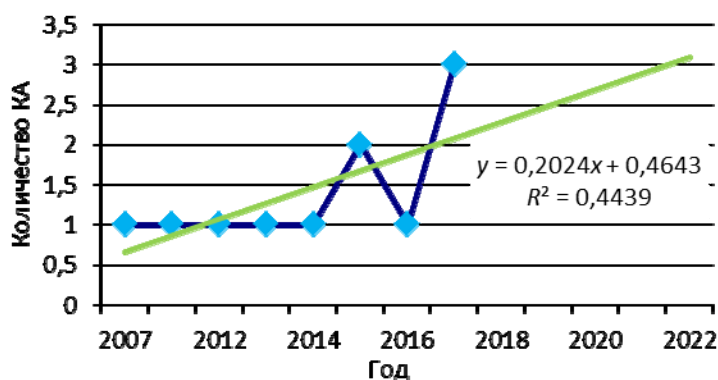


Рис. 17. Линейный тренд телекоммуникационных КА Индии

Выводы. 1. В результате исследований получены уравнения циклической составляющей и построены прогнозные графики для выбранных видов спутников. Анализ исследования ретроспективы запусков показал целесообразность применения аддитивной модели прогнозирования.

2. По изученным данным и составленному прогнозу можно сделать вывод, что КА имеют тенденцию к увеличению количества запусков.

3. Поскольку количество запусков не уменьшается, нужно думать о защите как нашей планеты и ее жителей, так и пилотируемых КА, спутников и космической станции.

4. Вопросы безопасности, обусловленные взаимодействием с окружающей средой, приобретают все большее значение.

Литература

- [1] Бакланов А.Г. Рынок и маркетинг авиакосмической продукции в условиях нестабильности. М., КДУ, 2007.

- [2] Крылов А.М. Анализ космической деятельности РФ в период с 2001 по 2013 годы. mosspaceclub.ru: веб-сайт. URL: http://mosspaceclub.ru/3part/krilov_1.pdf (дата обращения: 07.11.2018).
- [3] Крылов А.М. Сравнительный анализ космической деятельности России, Китая и Индии. mosspaceclub.ru: веб-сайт. URL: http://mosspaceclub.ru/3part/akd_rki.pdf (дата обращения: 07.11.2018).
- [4] Сафронова В.М. Прогнозирование и моделирование в социальной работе. М., Академия, 2002.
- [5] Луков В.А. Социальное проектирование. М., Флинта, 2003.
- [6] Добров Г.М. Рабочая книга по прогнозированию. М., Мысль, 1982.
- [7] Котляров И.В. Теоретические основы социального проектирования. Минск, Наука и техника, 1989.
- [8] UCS Satellite Database. URL: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.WdNL5rjkUdU> (дата обращения: 07.11.2018).

Пивоваров Валерий Алексеевич — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Соболева Татьяна Николаевна — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Цыганкова Евгения Андреевна — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

FORECASTING LAUNCHES OF CERTAIN TYPES OF SATELLITES FOR THE LONG TERM USING THE EXTRAPOLATION METHOD*

V.A. Pivovarov

pivovalera2012@gmail.com

SPIN-code: 3853-1038

T.N. Soboleva

tatyana_soboleva_96@mail.ru

SPIN-code: 7454-4745

E.A. Tsygankova

zhenay95@yandex.ru

SPIN-code: 1807-6650

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Today, the use of satellite systems is most popular. When installing terraneous lines, wires are used — fiber optic or copper, or with wireless technology — cellular networks, radio or the Internet. These fairly costly work always have significant drawbacks: limiting the coverage of the territory, the inability to dismantle equipment. The issues of network upgrading always concern the technical capabilities and the feasibility of the cost of financial resources. The most justified in the technical and financial sense to ensure reliable and high-quality communications is the use of satellite systems. The article describes the development of the space market. The analysis of launches of space vehicles was carried out, the trends of satellite launches and forecasting by extrapolation were considered.

Keywords

Satellite, forecasting, analysis, space market, launches, space junk, trend model, spacecraft

Received 06.02.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Baklanov A.G. Rynok i marketing aviakosmicheskoy produktsii v usloviyakh nestabil'nosti [Market and marketing of aerospace production in uncertainty conditions]. Moscow, KDU Publ., 2007 (in Russ.).
- [2] Krylov A.M. Analiz kosmicheskoy deyatel'nosti RF v period s 2001 po 2013 gody [Analysis of Russian aerospace activity in period from 2001 to 2013]. mospaceclub.ru: website. URL: http://mospaceclub.ru/3part/krylov_1.pdf (accessed: 07.11.2018) (in Russ.).
- [3] Krylov A.M. Sravnitel'nyy analiz kosmicheskoy deyatel'nosti Rossii, Kitaya i Indii [Comparative analysis of aerospace activity in Russia, China and India]. mospaceclub.ru: website. URL: http://http://mospaceclub.ru/3part/akd_rki.pdf (accessed: 07.11.2018) (in Russ.).
- [4] Safronova V.M. Prognozirovaniye i modelirovaniye v sotsial'noy rabote [Forecasting and modelling in social work]. Moscow, Akademiya Publ., 2002 (in Russ.).
- [5] Lukov V.A. Sotsial'noe proektirovaniye [Social engineering]. Moscow, Flinta Publ., 2003 (in Russ.).
- [6] Dobrov G.M. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu [Forecasting workbook]. Moscow, Mysl' Publ., 1982 (in Russ.).
- [7] Kotlyarov I.V. Teoreticheskie osnovy sotsial'nogo proektirovaniya [Theoretical foundations of social engineering]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1989 (in Russ.).

* The paper was presented at the conference "Student Spring 2018".

[8] UCS Satellite Database. URL: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.WdNL5rjkUdU> (accessed: 07.11.2018).

Pivovarov V.A. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Soboleva T.N. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Tsygankova E.A. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.