

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТОВ

Е. И. Балабан¹, П. Ю. Бунаков^{2*}, А. В. Гальченко³, В. А. Тегин¹

¹Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета
Российская Федерация, 140408, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, 408

²Государственный социально-гуманитарный университет
Российская Федерация, 140410, г. Коломна, ул. Зеленая, 30

³НПК «Конструкторское бюро машиностроения»
Российская Федерация, 140402, г. Коломна, просп. Окский, 42

*E-mail: pavel_jb@mail.ru

Предметом исследований выступает авиационная техника, применяемая к настоящему времени в нашей стране и за рубежом. Были приняты к рассмотрению технические характеристики 25 отечественных и 54 зарубежных самолетов гражданской и военно-транспортной авиации. Целью исследований являлось изучение возможностей развития подобной авиационной техники в зависимости от некоторых основных характеристик самолетов. В качестве математического аппарата для анализа рассматриваемых зависимостей был выбран корреляционно-регрессионный анализ. Изложены результаты статистического анализа взаимосвязи выбранного перечня основных параметров самолетов. Наибольшая корреляция наблюдалась между грузоподъемностью и массой пустого самолета, что послужило основой для дальнейшего анализа и построения зависимостей. Результаты анализа показали необходимость разделения самолетов по массе как минимум на две группы: менее 75 т и более 75 т, а также по странам-производителям: российские и зарубежные. Целесообразность группировки проверена с помощью теста Г. Чоу. Установлено, что рассмотрение нелинейных моделей нецелесообразно, поскольку линейная модель зависимости не уступает нелинейной модели по степени достоверности. Получены зависимости грузоподъемности от массы пустого самолета для каждой из выделенных групп самолетов. При этом использовались интегральные характеристики. Найдены доверительные интервалы для прогноза зависимости грузоподъемности от массы пустого самолета. При этом, как и следовало ожидать, вне 90%-го интервала оказались показатели лишь 7 самолетов. Выявлен больший разброс данных по грузоподъемности для отечественных самолетов и среднее отставание от зарубежных аналогов более чем на 2,5 т. Таким образом, с помощью выбранного математического аппарата могут быть получены статистические закономерности, позволяющие анализировать существующую практику проектирования, прогнозировать уровень развития конструкции самолетов гражданской и военно-транспортной авиации. Аналогичные методы исследования могут быть применены в различных областях разработки и производства перспективной высокотехнологичной продукции, включая ракетно-космическую область.

Ключевые слова: самолет, грузоподъемность, взлетная масса, конструктивное совершенство, коэффициент корреляции, уравнение регрессии.

Sibirskii Gosudarstvennyi Aerokosmicheskii Universitet
imeni Akademika M. F. Reshetneva. Vestnik
Vol. 18, No. 1, P. 112–117

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF CONSTRUCTIVE CHARACTERISTICS OF AIRCRAFTS

E. I. Balaban¹, P. Yu. Bunakov^{2*}, A. V. Gal'chenko³, V. A. Tegin¹

¹Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University
408, Oktyabr'skaya revolyutsiya Str., Kolomna, 140408, Russian Federation

²State Social-Humanitarian University
30, Zelenaya Str., Kolomna, 140410, Russian Federation

³Research and Production Corporation «Konstruktorskoye byuro mashynostroyeniya»,
42, Okskiy Av., Kolomna, 140402, Russian Federation

*E-mail: pavel_jb@mail.ru

The subject of this research is modern domestic and foreign aviation technology. Technical specifications of civilian and military transport aircrafts, 25 of which made in Russia and 54 abroad, were inspected. The main purpose of investigation is exploration of dependences between aviation technology development and certain major aircraft parameters. Correlation and regression analysis was used for research of dependences as mathematical apparatus. The article contains the results of statistical analysis of relationship between chosen aircraft parameters. The most correlation was found between payload capacity and unloaded plane weight. This was the reason for further analysis and development of dependences. As a result of this analysis all aircrafts were divided by the following parameters: dry weight (less than 75 tons and more than this value) and the place of origin (Russian and foreign). Chow's test was used to examine the applicability of such grouping. Linear model of dependences gives the same accuracy as nonlinear model so it was used in this research. Dependence of aircraft payload on dry weight was obtained for aircrafts of all groups. Integrated parameters were used for analysis. Confidential intervals for dependence of aircraft payload on dry weight prediction was found. Parameters of only 7 aircrafts were out of 90 % interval. Domestic aircrafts have more payload spread and on the average trail by 2.5 tons of foreign ones. Statistical principles obtained using chosen mathematical apparatus allow analyzing existing design technologies and prognosing the level of development aircraft construction. The similar method of research can be used in various areas of development and manufacturing prospective high tech production, including space-rocket hardware.

Keywords: aircraft, payload, take-off mass, constructional perfection, correlation coefficient, regression equation.

Введение. Комплексная оценка технического уровня объекта должна основываться на анализе нескольких его характеристик. При учете большого числа показателей конструктивного, производственно-технического и эксплуатационного совершенства задача является достаточно обширной и трудоемкой. Наиболее важными представляются лишь данные, позволяющие изучить конструктивное совершенство, прежде всего массовое и энергетическое. Понятие «конструктивное совершенство» включает совокупность свойств и характеристик, присущих самому летательному аппарату и мало зависящих от технологии производства и условий его эксплуатации. При этом конструктивное совершенство группы объектов одного и того же назначения не является «застывшим» показателем, а изменяется в лучшую сторону с появлением каждой новой удачной конструкции. По своей природе эти характеристики являются обобщающими, поэтому по их уровню может быть оценено техническое совершенство авиационных конструкций. Одной из самых представительных характеристик любого самолета является масса его конструкции, которая является важнейшим фактором, влияющим на стоимость летательных аппаратов [1–3], что неоднократно подтверждено и в работах исследователей, принадлежащих к коллективу авторов этой статьи [4–9].

В данной работе анализировались статистические показатели, отражающие конструктивное совершенство гражданских и военно-транспортных самолетов многих стран мира за период с 1960 по 2010 гг. [10–17]. В ходе исследования установлено, что этот массив целесообразно изучать не только в совокупности, но и по группам самолетов, имеющим те или иные устойчивые различия в основных показателях. Применяемый математический аппарат позволяет получать статистические закономерности для анализа практики проектирования и прогнозирования уровня конструктивного совершенства авиационной и ракетно-космической продукции.

Группировка объектов и построение моделей.

Для проведения анализа и получения необходимых зависимостей были рассмотрены технические характеристики двадцати пяти отечественных самолетов

и пятидесяти четырех самолетов зарубежного производства с массой пустого самолета от 6,7 до 276 т и соответствующей максимальной взлетной массой от 11,6 до 560 т.

В табл. 1 указано количество исследуемых объектов в соответствии с общепринятой классификацией по максимальной взлетной массе VM , равной сумме массы пустого самолета M и его грузоподъемности GM [18].

Для выявления наличия и формы связи (линейная, логарифмическая, степенная или экспоненциальная) между грузоподъемностью (GM) и массой (M) пустых самолетов использовался регрессионный анализ [19; 20]. С его помощью были найдены выборочные коэффициенты корреляции $\rho(X, Y)$ между M и GM , M и $\ln(GM)$, а также между $\ln(M)$ и GM , $\ln(M)$ и $\ln(GM)$ (табл. 2) как для всех рассматриваемых объектов, так и для отдельных их классов.

Незначительное количество объектов со взлетной массой менее 30 т не позволило установить достоверной зависимости, поэтому они были объединены в группу со взлетной массой менее 75 т. Кроме обеспечения значения выборочного коэффициента корреляции, превышающего величину 0,86, это позволило рассмотреть две выборки практически одинакового объема: 38 объектов массой более 75 т и 41 объект массой менее 75 т.

Из табл. 2 видно, что связь между массой пустого самолета и его грузоподъемностью как для всех объектов, так и для самолетов с взлетной массой более 75 т и менее 75 т может быть описана различными соотношениями:

- линейным: $GM = \alpha + \beta \cdot M$;
- экспоненциальным: $GM = e^{\alpha} \cdot e^{\beta M}$ ($\ln GM = \alpha + \beta \cdot M$);
- логарифмическим: $GM = \alpha + \beta \cdot \ln M$;
- степенным $GM = e^{\alpha} \cdot M^{\beta}$ ($\ln GM = \alpha + \beta \cdot \ln M$).

Наибольшие значения коэффициентов корреляции соответствуют линейной и степенной моделям.

Характеристиками, позволяющими выявить по результатам наблюдений взаимозависимость двух показателей, являются выборочный коэффициент корреляции и выборочный коэффициент детерминации: $R^2 = \rho^2(X, Y)$.

Таблица 1

Группировка объектов по максимальной взлетной массе

Класс объекта	Максимальная взлетная масса VM	Всего	Россия	Зарубежные страны
1	Более 75 т	38	9	29
2	От 30 до 75 т	19	9	10
3	От 10 до 30 т	22	7	15
Итого		79	25	54

Таблица 2

Значения выборочных коэффициентов корреляции M с GM и $\ln GM$

Максимальная взлетная масса VM	$\rho(M, GM)$			$\rho(M, \ln(GM))$			$\rho(\ln(M), GM)$			$\rho(\ln(M), \ln(GM))$		
	Все	Зарубежные	Российские	Все	Зарубежные	Российские	Все	Зарубежные	Российские	Все	Зарубежные	Российские
Для всех самолетов	0,99	0,98	0,99	0,87	0,87	0,89	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97
$VM > 75$ т	0,97	0,97	0,98	0,92	0,91	0,93	0,95	0,94	0,98	0,95	0,94	0,98
$30 \text{ т} < VM \leq 75$ т	0,77	0,96	0,49	0,79	0,96	0,52	0,79	0,96	0,52	0,79	0,96	0,53
$10 \text{ т} < VM \leq 30$ т	0,68	0,77	0,66	0,71	0,78	0,66	0,73	0,80	0,67	0,74	0,80	0,68
$VM \leq 75$ т	0,94	0,98	0,86	0,93	0,95	0,89	0,94	0,97	0,91	0,94	0,96	0,92

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, превышающие значение 0,86.

Были получены следующие линейные модели:

$$- GM = -4,768 + 1,105 \cdot M \quad (\text{все типы самолетов, } R^2 = 0,972); \quad (1)$$

$$- GM = 0,495 + 1,068 \cdot M \quad (\text{грузоподъемность более 75 т, } R^2 = 0,942); \quad (2)$$

$$- GM = -1,621 + 0,862 \cdot M \quad (\text{грузоподъемность менее 75 т, } R^2 = 0,875); \quad (3)$$

$$- GM = -7,658 + 1,124 \cdot M \quad (\text{российские самолеты, } R^2 = 0,980); \quad (4)$$

$$- GM = -3,234 + 1,093 \cdot M \quad (\text{зарубежные самолеты, } R^2 = 0,968). \quad (5)$$

Сравнение соотношений (2) и (3) позволяет сделать вывод о том, что увеличение массы пустого самолета на 1 т для более тяжелых самолетов первого класса приводит к увеличению их грузоподъемности на 1,068 т, а для более легких самолетов второго и третьего классов – всего на 0,862 т.

Из соотношений (4) и (5) следует, что российские самолеты по сравнению с зарубежными аналогами в среднем обладают грузоподъемностью на 4,424 т меньшей при той же массе пустого самолета. При этом прирост грузоподъемности при увеличении массы пустого самолета на 1 т у них больше на 0,031 т.

Анализ необходимости группировки по массе и по странам-изготовителям был проведен с помощью теста Г. Чоу [21]. Тест показал, что при рассмотрении линейных моделей группировка по странам-изготовителям значима с уровнем значимости 0,30 ($F = 1,22$).

Учет страны-изготовителя может быть произведен за счет введения фиктивной переменной f , которая равна единице, если рассматривается самолет российского производства. При этом получено соотношение

$$GM = -3,859 + 1,104 \cdot M - 2,659 \cdot f \quad (R^2 = 0,972). \quad (6)$$

Коэффициент при фиктивной переменной показывает, что в целом для всех рассматриваемых объектов грузоподъемность российских самолетов на 2,659 т меньше, чем у зарубежных аналогов ($t_f = -1,029$, уровень значимости 0,307).

Анализ результатов. Степени достоверности степенных моделей, аналогичных соотношениям (1)–(6), ненамного отличаются от линейных моделей, поэтому рассмотрение нелинейных моделей оказалось нецелесообразным.

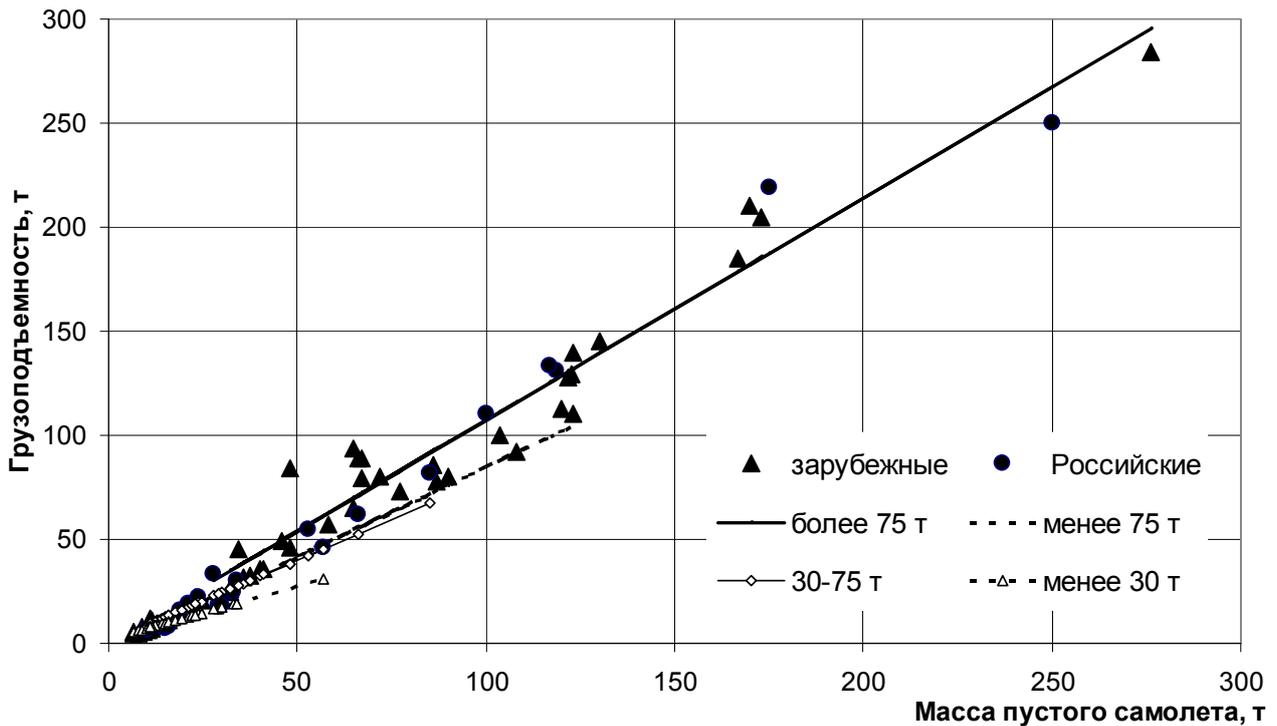
Согласно тесту Г. Чоу группировка по массе (до 75 т и более 75 т) значима для линейных моделей с уровнем значимости 0,096 ($f = 2,415$). В то же время, как это видно из рисунка, явно просматривается зависимость углового коэффициента линейного тренда от массы.

Использование модели (1) для прогноза грузоподъемности самолетов со взлетной массой менее 75 т приводит к завышенной оценке грузоподъемности: для самолетов МА60, Ил-114, Ан-148, Су-100 и Ту-134 она превышает 50 %.

Для самолетов со взлетной массой более 75 т соотношения (1) и (2) дают близкие по величине оценки, отличающиеся не более чем на 10 %, а для большинства самолетов со взлетной массой более 150 т они отличаются менее чем на 2 %.

Следует также отметить, что классификация по массе позволяет уменьшить доверительные интервалы для истинного значения грузоподъемности. Точность оценки соотношениями (1)–(5) грузоподъемности самолетов соответствующих классов для уровней надежности 70, 90, 95 и 99 % приведена в табл. 3.

Из рассмотренных для построения модели (1) самолетов фактическая грузоподъемность оказалась вне 90%-го интервала (больше оценки) для С-135, А400, С-5, Ан-124, что можно объяснить тем, что они только грузовые (т. е. транспортные), и для DC-10-10 (меньше оценки).



Линии тренда для различных групп исходных данных (классификация по максимальной взлетной массе)

Таблица 3

Точность оценки грузоподъемности самолетов, т

Номер формулы	Уровень надежности			
	70 %	90 %	95 %	99 %
1	±15,8	±21,6	±24,7	±31,3
2	±22,4	±30,9	±35,6	±45,5
3	±4,5	±6,3	±7,2	±9,2
4	±16,6	±22,8	±26,3	±33,4
5	±25,6	±35,5	±41,2	±53,3

Для самолетов со взлетной массой менее 75 т, данные по которым использовались при построении модели (3), фактическая грузоподъемность оказалась вне 90%-го интервала для Ан-12 (больше оценки), а также для Ту-134Б, Ту-334 (меньше оценки).

Согласно табл. 2 парные коэффициенты корреляции между массой пустого самолета и его грузоподъемностью для самолетов российского производства грузоподъемностью от 30 до 75 т и от 10 до 30 т равны соответственно 0,49 и 0,66 против 0,96 и 0,77 для зарубежных аналогов. Это свидетельствует о значительном разбросе их фактических показателей от среднего значения. Данный факт объясняется влиянием особенностей конструирования, присущих различным предприятиям-разработчикам.

В целом грузоподъемность российских самолетов ниже, чем зарубежных аналогов. Это, по мнению авторов, связано с использованием более совершенных в весовом отношении конструкционных материалов.

Заключение. Проведенные с помощью корреляционно-регрессионного анализа исследования выявили наличие существенно значимой взаимосвязи грузоподъемности от массы пустого самолета.

На основе обработки данных о технических характеристиках самолетов отечественного и зарубежного производства с массой пустого самолета от 6,7 до 276 т и максимальной взлетной массой от 11,6 до 560 т были получены зависимости между указанными показателями для различных групп самолетов. Более полное исследование показателей конструктивного совершенства самолетов, учитывающее другие характеристики, требует использования больших массивов фактических данных. Результаты проведенного исследования могут быть применены для оценки степени технического совершенства вновь создаваемых самолетов и другой высокотехнологичной продукции.

Библиографические ссылки

1. Саркисян С. А., Минаев Э. С., Нечаев П. А. Экономическая эффективность перевозок грузов воздушным транспортом. М. : Транспорт, 1984. 139 с.
2. Мышкин Л. В. Прогнозирование развития авиационной техники. М. : Физматлит, 2008. 123 с.

3. Проектирование самолетов / С. М. Егер [и др.] // М. : Машиностроение, 1983. 616 с.
4. Балабан Е. И., Гальченко А. В., Тегин В. А. Применение ценометрического метода определения стоимости серийных образцов боевой техники для выполнения долгосрочного исследовательского прогноза её закупок // Вооружение и экономика. 2015. № 1(30). С. 83–98.
5. Гальченко А. В., Тегин В. А. Долгосрочный прогноз стоимости боевых летательных аппаратов и численности ВВС стран мира // Вооружение и экономика. 2012. № 3(19). С. 73–84.
6. Гальченко А. В., Тегин В. А. К вопросу о парадигме формирования цен на высокотехнологичную продукцию // В мире научных открытий. 2011. № 6 (18). С. 79–85.
7. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. A. Long Term Forecast of Market Prices for Military Transport Aircraft // Studies on Russian Economic Development. 2010. Vol. 21, No. 4. P. 380–392.
8. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. Long-Term Forecasting of Investments in Civil and Military Transport Aviation. Studies on Russian Economic Development. 2007. Vol. 18, No. 5. P. 457–465.
9. Гальченко А. В., Тегин В. А. Долгосрочное прогнозирование инвестиций в гражданскую и военно-транспортную авиацию // Проблемы прогнозирования. 2007. № 5. С. 16–26.
10. Данилкович Д., Шварев В. Оценка мирового рынка авиационной техники в 2004–2008 гг. Анализ портфеля заказов на поставку авиатехники в 2009–2013 гг. // Рынки вооружений. 2008. Т. 8, № 10, С. 22–31.
11. Данилкович Д., Шварев В. Анализ мирового рынка военных самолетов в 2001–2015 гг. Многофункциональные истребители, самолеты-заправщики и самолеты БПА // Рынки вооружений. 2007. Т. 7, № 7. С. 24–28.
12. Военные самолеты мира. Справочник / под ред. Н. Н. Новичкова. М. : Информационное агентство «АРМС-ТАСС», 2009. 412 с.
13. Беляев В. В., Левин А. М., Ружинский Е. И. Справочник по зарубежным военным и гражданским самолетам и вертолетам (по материалам иностранной печати). М. : ЦАГИ им. профессора Жуковского Н. Е., 1985. 370 с.
14. Transfers of major conventional weapons: sorted by supplier. Deals with deliveries or orders made for year range 2011 to 2011 [Электронный ресурс] // SIPRI Arms Transfers Database. URL: <https://ru.scribd.com/document/126175568/Trade-Register-Arms-Transfer> (дата обращения: 16.02.2017).
15. Selected Acquisition Report (SAR). Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2013/sar> (дата обращения: 16.02.2017).
16. World Air Forces 2013. Flightglobal Insight. Quadrant House, The Quadrant, Sutton, Surrey, SM2 5AS. UK. 62 p.
17. Jackson P. Jane's. All the World's Aircraft. Ninety-fifth year of issue 2004–2005. P. 1 / Jane's Information Group. 2004. 860 p.
18. Классификация летательных аппаратов [Электронный ресурс]. URL: <http://crown-airforce.narod.ru/classif.html> (дата обращения: 09.12.2016).
19. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Диалектика-Вильямс, 2016. 912 с.
20. Айвазян С. А. Основы эконометрики. М. : Юнити-ДАНА, 2001. 432 с.
21. Chow G. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions // *Econometrica*. 1960. Vol. 28. P. 591–605.

References

1. Sarkisyan S. A., Minaev E. S., Nechaev P. A. *Ehkonomicheskaya ehffektivnost' perevozok gruzov vozdushnym transportom* [The economic efficiency of transport of goods by air transport]. Moscow, Transport Publ, 1984, 139 p.
2. Myshkin L. V. *Prognozirovanie razvitiya aviatcionnoy tekhniki* [Forecasting the development of aviation technology]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008, 123 p.
3. Eger S. M., Mishin V. F., Lisejcev N. K., Badyagin A. A., Rotin V. E., Skltskij F. I., Kondratov N. A., Kiselev V. A., Fomin N. A. *Proektirovanie samoletov* [Design of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 616 p.
4. Balaban E. I., Gal'chenko A. V., Tegin V. A. [Application animations logo method of determining the value of serial samples of military equipment for performing long-term research forecast it procurement]. *Vooruzhenie i ekonomika*. 2015, No. 1(30), P. 83–98 (In Russ.).
5. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. [Long-term forecast of the cost of fighting aircraft and number of air force countries in the world]. *Vooruzhenie i ekonomika*. 2012, No. 3(19), P. 73–84 (In Russ.).
6. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. [To the question about the paradigm of price formation for high-tech products]. *V mire nauchnykh otkrytij*. 2011, No. 6 (18), P. 79–85 (In Russ.).
7. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. A. Long Term Forecast of Market Prices for Military Transport Aircraft. *Studies on Russian Economic Development*. 2010, Vol. 21, No. 4, P. 380–392.
8. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. Long-Term Forecasting of Investments in Civil and Military Transport Aviation. *Studies on Russian Economic Development*. 2007, Vol. 18, No. 5, P. 457–465.
9. Gal'chenko A. V., Tegin V. A. [Long-term forecasting of investment in civil and military transport aircraft]. *Problemy prognozirovaniya*. 2007, No. 5, P. 16–26 (In Russ.).
10. Danilkovich D., Shvarev V. [Evaluation of the world market of aviation equipment in 2004–2008. Analysis of the portfolio of orders for the supply of aircraft in 2009–2013]. *Rynki vooruzheniy*. 2008, Vol. 8, No. 10, P. 22–31. (In Russ.).
11. Danilkovich D., Shvarev V. [Analysis of the world market of military aircraft in 2001–2015. Multi-function fighter jets, tanker aircraft and drones]. *Rynki vooruzheniy*. 2007, Vol. 7, No. 7, P. 24–28 (In Russ.).

12. *Voennye samolety mira. Spravochnik* [Military aircraft of the world. Reference]. Ed. N. N. Novichkova. Moscow, Informacionnoe agentstvo ARMS-TASS Publ., 2009, 412 p.
13. Belyaev V. V., Levin A. M., Ruzhinskij E. I. *Spravochnik po zarubezhnym voennym i grazhdanskim samoletam i vertoletam (po materialam inostrannoy pechati)*. [Handbook of foreign military and civil aircraft and helicopters (on materials of foreign seal)]. Moscow, CAGI im. professora N. E. Zhukovskogo Publ., 1985, 370 p.
14. Transfers of major conventional weapons: sorted by supplier. Deals with deliveries or orders made for year range 2011 to 2011 // SIPRI Arms Transfers Database. Available at <https://ru.scribd.com/document/126175568/Trade-Register-Arms-Transfer> (accessed 16.02.2017).
15. Selected Acquisition Report (SAR). Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR). Available at <http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2013/sar> (accessed 16.02.2017).
16. World Air Forces 2013. Flightglobal Insight. Quadrant House, The Quadrant, Sutton, Surrey, SM2 5AS, UK. 62 p.
17. P. Jackson Jane's. All the World's Aircraft. Ninety-fifth year of issue 2004–2005. Part 1 // Jane's Information Group. 2004. 860 p.
18. *Klassifikaciya letatel'nyh apparatov* [Classification of aircraft]. Available at: <http://crown-airforce.narod.ru/classif.html> (accessed 09.12.2016).
19. Drejper N., Smit G. *Prikladnoy regressionnyy analiz* [Applied regression analysis]. Moscow, Dialektika-Vil'yams Publ. 2016. 912 p.
20. Ajvazyan S. A. *Osnovy econometriki* [Basic econometrics]. Moscow, YUNITI-DANA Publ. 2001. 432 p.
21. Chow G. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*. 1960, Vol. 28, P. 591–605.

© Балабан Е. И., Бунаков П. Ю.,
Гальченко А. В., Тегин В. А., 2017