

УДК 697.92: 628.83

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ
В СОСТАВЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

Е.Г. Бороздин

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрено математическое описание работы приточных устройств, применяемых в системах вентиляции жилых многоквартирных зданий с децентрализованным механическим притоком и естественным удалением воздуха. Приведено обоснование выбора характера и вида математической функции на примере результатов испытания ряда приточных устройств и вентиляторов. Описаны возможные варианты нахождения коэффициентов входящих в состав уравнения, графически отображающего напорно-расходную характеристику приточного устройства с механическим побуждением движения воздуха.

Ключевые слова: вентиляторы, механические приточные устройства, вентиляция, жилые здания.

Введение

Одним из возможных вариантов организации воздухообмена в жилых многоэтажных зданиях является применение систем вентиляции с естественным удалением и децентрализованным притоком воздуха, посредством механических приточных устройств (ПУ), которые могут обеспечить нормируемый уровень воздухообмена квартир в течение года (в отличие от приточных устройств с естественным побуждением движения воздуха [1]). В общем случае применяемые приточные устройства состоят из корпуса, в котором расположен вентилятор, фильтры, нагревательные элементы, воздухозаборная решетка и воздухораспределитель, система автоматики и регулирования.

Целью данной статьи является математическое описание работы вентиляторов в составе приточных устройств для систем вентиляции с децентрализованным притоком воздуха.

Математическое описание

Математическое описание работы вентиляторов является функцией степенного многочлена $P_{\text{вент}} = f(G)$ и основывается на полученных или заявленных производителем величинах давлений и соответствующих им расходам воздуха.

В существующем подходе [2] напорно-расходная характеристика вентиляторов описывается уравнением вида

$$P_{\text{вент}} = a \cdot G^2 + b \cdot G + d, \quad (1)$$

где $P_{\text{вент}}$ – давление создаваемое вентилятором, Па; G – расход воздуха, кг/ч; a ,

b , d – коэффициенты, описывающие работу вентилятора. Слагаемому уравнения, которое не умножается на величину расхода (коэффициент d), соответствует значение максимально возможного создаваемого давления вентилятором.

Для того чтобы проверить степень точности описания уравнением (1) работы вентиляционного оборудования было проведено исследование ряда вентиляторов и приточных устройств с последующим математическим описанием их работы.

Исследование вентиляторов и приточных устройств выполнено на испытательном стенде, собранном на основании методики изложенной в [3]. Стенд состоит из воздуховода круглого сечения, на входе в который расположен воздухозаборный патрубок, далее размещается исследуемый вентилятор, за ним на определенном расстоянии установлен струевыпрямитель «Etoile» [4], состоящий из восьми радиальных лопастей толщиной 1 мм каждая и расположенных под равными углами, далее по ходу движения воздуха находится измерительный воздуховод, в котором фиксируется значение создаваемого давления, с помощью микроманометра ММН-240, и расход воздуха, посредством электронного анемометра марки Testo 417-2, за ним находится патрубок с дросселирующим устройством, в качестве которого выступает набор диафрагм с различными отверстиями круглого сечения (схема стенда приведена на рис. 1).

На данном стенде был получен ряд величин давлений и расходов воздуха, как

отдельно для вентиляторов, так и для их работы в составе притонного устройства (с фильтрами). Графическое отображение напорно-расходных характеристик

вентиляторов, составленных по экспериментальным данным и описанных квадратичной и кубической зависимостями, представлено на рисунке 2.

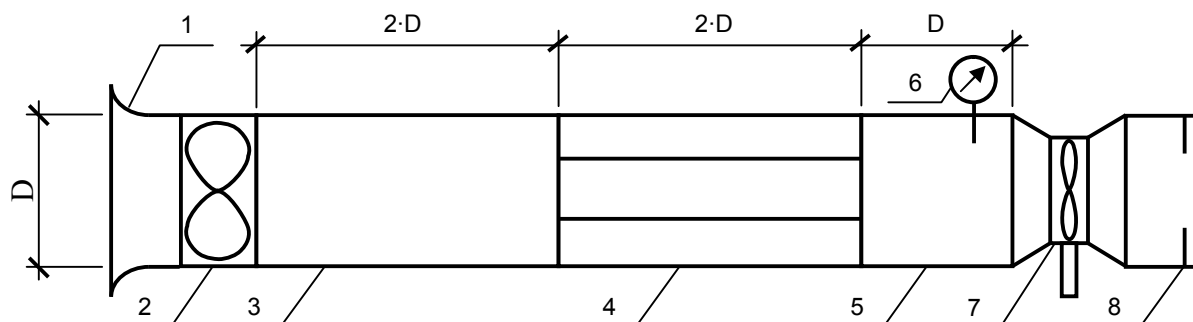


Рис. 1. Схема испытательного стенда: 1 – воздухозаборный патрубок; 2 – исследуемый вентилятор; 3 – воздуховод; 4 – струевыпрямитель «Etoile»; 5 – измерительный воздуховод; 6 – микроанометр; 7 – электронный анемометр; 8 – набор диафрагм

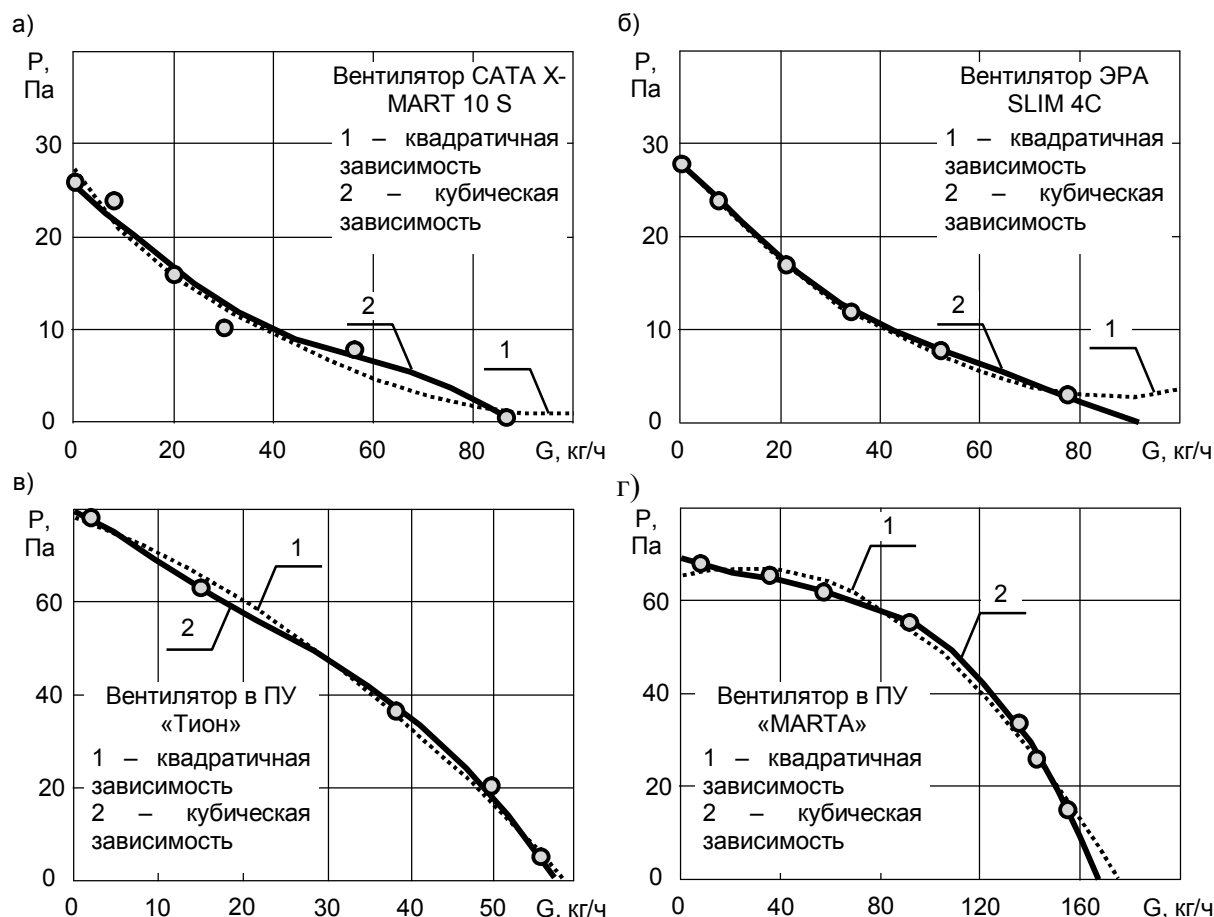


Рис. 2. Напорно-расходные характеристик составленные по экспериментальным данным и описанные квадратичной и кубической математическими зависимостями: а, б – вентиляторов; в, г – вентиляторов, находящихся в приточных устройствах

Коэффициенты, описывающие работу вентилятора или приточного устройства с механическим побуждением движения воздуха, определяются по результатам испытаний рассматриваемого устройства. Их

можно найти по полученным значениям расхода воздуха G_i и соответствующим им величинам давления P_i тремя способами: построение по полученным данным графика функции $P(G)$ в программе MS Office Excel и

добавление на него линии тренда, с выбором характера линии в достаточной степени точности, описывающего работу приточного устройства, и отображением уравнения на диаграмме [5]; решение интерполяционного многочлена Лагранжа [6]

$$L(G) = \sum_{i=0}^n P_i \frac{(G-G_0) \cdot \dots \cdot (G-G_{i-1}) \cdot (G-G_{i+1}) \cdot \dots \cdot (G-G_n)}{(G_i-G_0) \cdot \dots \cdot (G_i-G_{i-1}) \cdot (G_i-G_{i+1}) \cdot \dots \cdot (G_i-G_n)}, \quad (2)$$

- путем решения системы уравнений вида (3) (например, методом Гаусса), где $P_{s,1}, P_{s,2}, P_{s,3}, P_{s,4}$ – давление, создаваемое приточным устройством, при соответствующем расходе воздуха G_1, G_2, G_3, G_4 ; a, b, c, d – искомые коэффициенты, относительно которых решается система уравнений;

$$\begin{cases} a \cdot G_1^3 + b \cdot G_1^2 + c \cdot G_1 + d = P_{s,1} \\ a \cdot G_2^3 + b \cdot G_2^2 + c \cdot G_2 + d = P_{s,2} \\ a \cdot G_3^3 + b \cdot G_3^2 + c \cdot G_3 + d = P_{s,3} \\ a \cdot G_4^3 + b \cdot G_4^2 + c \cdot G_4 + d = P_{s,4} \end{cases} \quad (3)$$

Таблица 1 – Значение величины R^2 при математическом описании работы вентиляторов

Марка исследуемого вентилятора по рис. 2		а	б	в	г
Значение величины R^2 для уравнений типа	$P = a \cdot G^3 + b \cdot G^2 + c \cdot G + d$	0,9815	0,9989	0,9989	0,9978
	$P = a \cdot G^2 + b \cdot G + d$	0,9666	0,9970	0,9955	0,9905
Разность значений R^2		0,0149	0,0019	0,0034	0,0073

При работе вентиляторов в составе приточных устройств их характеристика изменится на величину аэродинамического сопротивления самого устройства ΔP_s , Па, и результирующее развиваемое давление приточным устройством P_s , Па, станет равным

$$P_s = P_{\text{вент}} - \Delta P_s \quad (5)$$

После проведения испытаний приточных устройств определяется напорно-расходная характеристика и математически описывается аналогично тому, как изложено выше. Характеристика аэродинамическое сопротивление приточного устройства ΔP_s , Па, находится из разности зависимостей отображающих работу вентилятора отдельно и в составе устройства (что и следует из уравнения (5)). Математически данная величина может описываться как квадратичной, так и кубической зависимостью. Графическое изображение функциональной зависимости $\Delta P_s(G)$ для используемых ранее вентиляторов, при добавлении к ним фильтров (имитация состава ПУ), и приточных устройств показано на рисунке 3. В большинстве случаев график

- в работе [7] предлагается решить подобную систему вида (3) через определение детерминантов уравнений, входящих в рассматриваемую систему уравнений.

Из рисунка 2 видно, что описание работы вентиляторов кубическим уравнением (4) является более точным и отображает более достоверный характер при малых значениях развиваемого давления ($P < 10$ Па) и малых значениях перемещаемого воздуха ($G < 10$ кг/ч). Однако сравнение коэффициентов детерминации R^2 [8] для кубического и квадратичного уравнений показывает незначительное повышение точности описания кубическим многочленом (в среднем на 0,7%), что показано в таблице 1.

$$P_{\text{вент}} = a \cdot G^3 + b \cdot G^2 + c \cdot G + d \quad (4)$$

функции отображающей аэродинамическое сопротивление приточного устройства имеет характер ветки кубической или квадратичной параболы с координатами вершины (0;0).

По итогам проведения испытаний приточного устройства «MARTA» было установлено, что при отсутствии и малых значениях расхода воздуха не создается давления близкого к максимальному (развиваемому вентилятором), что наблюдалось при испытаниях остальных устройств. Данный факт обусловлен конструктивными особенностями приточного устройства, а именно, наличием планки, позволяющей регулировать количество рециркуляционного воздуха, которая не обеспечивает полного исключения подсоса внутреннего воздуха.

При необходимости получения в расчетах более точных значений развиваемых давлений и расходов воздуха напорно-расходная характеристика приточного устройства может быть описана, как одним уравнением второй или третьей степени, так и совокупностью нескольких уравнений, в том числе и с использованием линейной зависимости (см. рис. 4).

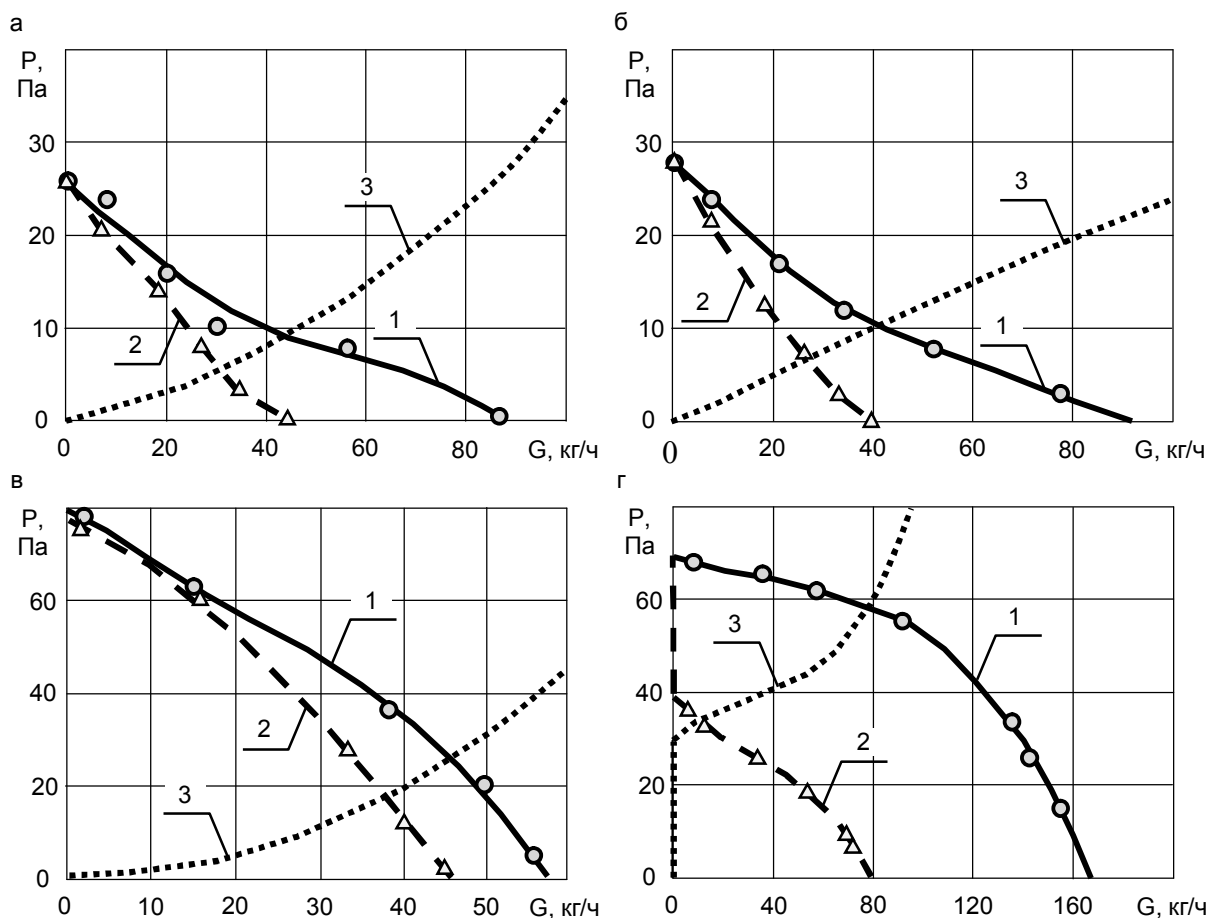


Рис. 3. Графическое изображение характеристик приточных устройств: 1 – напорно-расходная характеристика вентилятора; 2 – напорно-расходная характеристика приточного устройства; 3 – характеристика аэродинамического сопротивления приточного устройства; а – вентилятор CATA X-MART 10 S с фильтрами (выступает в качестве приточного устройства); б – вентилятор ЭРА SLIM 4С с фильтрами; в – приточное устройство «Тион»; г – приточное устройство «MARTA»

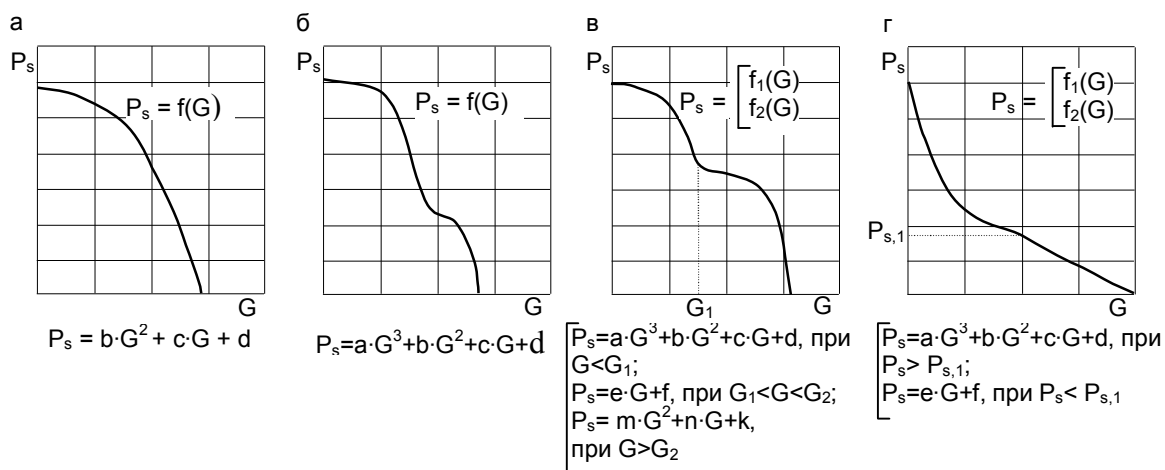


Рис. 4. Математическое описание рабочих характеристик приточных устройств с механическим побуждением движения воздуха: а – квадратичная зависимость; б – кубическая зависимость; в – совокупность линейной, квадратичной и кубической зависимости; г – совокупность линейной и кубической зависимости

Заключение

Выполнение аэродинамического расчета систем вентиляции жилых многоэтажных зданий с децентрализованным механическим притоком воздуха включает определение рабочих точек приточных устройств, при их работе на систему вытяжной вентиляции. Более точное значение развиваемого давления и перекачиваемого объема воздуха приточным устройством может быть получено при описании напорно-расходной характеристики математической функцией. По результатам проведенных исследований и расчетов было установлено, что в большинстве рассматриваемых случаев более корректное и приближенное к действительности математическое описание напорно-расходных характеристик устройств обеспечивается использованием уравнения полинома третьей степени (уравнение вида (4)) или сочетанием нескольких уравнений различного характера.

Библиографический список

1. Влияние температурных и ветровых воздействий на работу естественных систем вентиляции зданий с организованным притоком воздуха / Е. Г. Бороздин // Наука XXI века: опыт прошлого – взгляд в будущее : материалы Междунар. науч.-практ. конф. 12 апр. 2015 г. / СибАДИ. – Омск, 2015. – С. 68 -72.
2. Константинова, В.Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности / В. Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1969. – 136 с.
3. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. – Введ. 1992-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. – 34 с.
4. ГОСТ 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования. – Введ. 2007-01-01. М.: МГС, 2007. – 40 с.: ил.
5. Лялин, В. С. Статистика: теория и практика в Excel: учеб. пособие / В. С. Лялин, И. Г. Зверева, Н. Г. Никифорова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 448 с.: ил.
6. Турчак, Л. И. Основы численных методов: учеб. пособие / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 304 с.
7. Константинова, В.Е. Расчет воздухообмена в жилых и общественных зданиях / В.Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1964. – 155 с.
8. Васильев, А. Н. Научные вычисления в Microsoft Excel / А. Н. Васильев. – М.: Издательский дом «Вильяме», 2004. – 512 с.: ил.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF VENTILATORS' WORK IN THE STRUCTURE OF MECHANICAL DEVICES FOR AIR SUPPLY

E. G. Borozdin

Abstract. The article dwells on the mathematical work description of air-supply devices used in

ventilation systems of residential buildings with decentralized mechanical inflow and natural venting. There is substantiated the choice of the mathematical function's type on the example of test results of a number of air-supply devices and ventilators. There are described possible options for finding coefficients included in the equation, which graphically displays head and flow characteristics of air supply devices with mechanical draft of air movement.

Keywords: ventilators, mechanical devices for air supply, ventilation, residential buildings.

References

1. Borozdin E.G. *Vlijanie temperaturnykh i vetrovykh vozdeystvij na rabotu estestvennykh sistem ventiljacii zdaniy s organizovannym pritokom vozduha* [Influence of temperature and wind impact on the work of natural ventilation systems of buildings with organized air supply] *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Nauka XXI veka: opyt proshlogo – vzgljad v budushhee"* [Materials of the international scientific-practical conference "Science of the XXI century: the experience of the past - look into the future"], Omsk, 2015, pp. 68-72.
2. Konstantinova V.E. *Vozdushno-teplovoy rezhim v zhilyh zdaniyah povyshennoj jetazhnosti* [Air-thermal regime in residential high rise buildings]. Moscow, Strojizdat, 1969. 136 p.
3. *GOST 10921-90 Ventilatory radial'nye i osevyje. Metody ajerodinamicheskikh ispytanij*. [State standart Radial and axial ventilators. Methods for aerodynamic testing].
4. *GOST 8.586.1-2005 Izmerenie rashoda i kolichestva zhidkостей i gazov s pomoshh'ju standartnykh suzhajushhih ustrojstv. Chast' 1. Princip metoda izmerenij i obshhie trebovanija* [State standart 8.586.1-2005 Measuring gas and liquid flow and quantity using standard constriction devices. Part 1: The principle of the measurements and general requirements].
5. Lyalin V.S., Zvereva I.G., Nikiforova N.G. *Statistika: teorija i praktika v Excel* [Statistics: Theory and practice in Excel]. Moscow, Finansy i statistika, INFRA-M, 2010. 448 p.
6. Turchak L.I., Plotnikov P.V. *Osnovy chislennykh metodov* [Basics of numerical methods]. Moscow, FIZMATLIT, 2003. 304 p.
7. Konstantinova V.E. *Raschet vozduhoobmena v zhilyh i obshchestvennyh zdaniyah* [Calculation of air exchange in residential and public buildings]. Moscow, Strojizdat, 1964. 155 p.
8. Vasiliev A.N. *Nauchnye vychislenija v Microsoft Excel* [Scientific calculations in Microsoft Excel]. Moscow, Izdatel'skij dom «Vil'jame», 2004. 512 p.

Бороздин Евгений Геннадьевич (Россия, г. Омск) – аспирант ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: ciberomsk@rambler.ru).

Borozdin Evgeniy Gennadievich (Russian Federation, Omsk) – graduate student of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, 5 Mira st., Omsk, e-mail: ciberomsk@rambler.ru).