

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.3.08

УДК 66-97

**Г.И. Ефремов<sup>1</sup>, В.И. Мартыненко<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Московский финансово-юридический университет (МФЮА),  
Москва, Россия<sup>2</sup> ООО «Фармсистемы», Москва, Россия**УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ РЕКУПЕРАТИВНЫХ  
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

*Рассмотрен уточненный расчет при моделировании работы рекуперативных теплообменников с использованием сплайн-интерполяции. Рассмотрен как прямой (конструктивный), так и обратный (проверочный) расчеты теплообменников. В расчетах использовали усредненные по длине аппаратов значения температур и ряда параметров теплофизических свойств воды: среднюю теплоемкость, среднюю плотность, вязкость и др., в том числе и коэффициенты теплопередачи.*

*Выбрана противоточная, как наиболее эффективная, схема движения теплоносителей. Она предпочтительнее прямоточной, так как позволяет получить больший средний температурный напор и, тем самым, уменьшить требуемую площадь поверхности теплообмена. Циклы компьютерных расчетов повторяются до тех пор, пока не будет получена требуемая точность сходимости результатов.*

*Расчеты усложняются еще тем, что на каждой стадии цикла при изменении температуры надо вновь рассчитывать значения теплофизических свойств теплоносителей. При выполнении компьютерного расчета теплообменников предложено вносить на каждом цикле итерационных вычислений корректировку значений теплофизических свойств теплоносителей методом сплайн-интерполяции в среде Mathcad по табличным данным зависимости критерия Прандтля для обрабатываемой среды от температуры. В работе приведен конкретный пример расчета для водо-водяного рекуперативного теплообменника в среде Mathcad.*

**Ключевые слова:** моделирование теплообмена, рекуперативный теплообмен, уточненный итерационный расчет, сплайн-интерполяция в среде Mathcad.

**G.I. Efremov<sup>1</sup>, V.I. Martynenko<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Moscow University of Finance and law (MFUA), Moscow, Russian Federation<sup>2</sup> LLC "Pharmsystems", Moscow, Russian Federation**REFINED CALCULATION OF RECUPERATIVE HEAT  
EXCHANGERS**

*The refined calculation in the simulation of recuperative heat exchangers using spline interpolation is considered. Both direct (constructive) and reverse (verification) calculations of heat exchangers are considered. The calculations used averaged over the*

length of the apparatus temperature values and a number of parameters of the thermal properties of water - the average heat capacity, average density, viscosity, etc., including heat transfer coefficients.

The countercurrent, as the most effective, scheme of movement of heat fluids is chosen. It is preferable to direct flow, as it allows to obtain a larger average temperature head and thus reduce the required heat exchange surface area. Computer calculation cycles are repeated until the required precision of convergence of the results is obtained.

Calculations are complicated by the fact that at each stage of the cycle, when the temperature changes, the values of the thermophysical properties of the heat carriers must be calculated again. For performing the computer-aided analysis of heat exchangers is proposed to be paid on each cycle of the iterative calculation, the correction values of thermophysical properties of fluids by the method of spline interpolation in Mathcad using tabular data dependency of the Prandtl number for the treated medium temperature. The paper presents a specific example of calculation for water-water recuperative heat exchanger in Mathcad.

**Keywords:** modeling of heat exchange, recuperative heat exchange, refined iterative calculation, spline interpolation in Mathcad.

При проектировании теплообменных аппаратов выполняют как прямой (конструктивный), так и обратный (проверочный) расчеты. При конструктивном расчете, как правило, известны: расход нагреваемого теплоносителя  $G_2$ , а также начальная и конечная температуры обоих теплоносителей. В процессе расчета выбирают тип теплообменника и определяют его тепловую мощность  $Q$ , расход горячего теплоносителя  $G_1$  и площадь поверхности теплообмена  $F$ , по которой устанавливают габаритные размеры аппарата.

При проверочном расчете теплообменных аппаратов известны тип и размеры теплообменника, а следовательно, и поверхность теплообмена, расходы теплоносителей, их начальная температура, удельные теплоемкости и коэффициент теплопередачи. И нужно определить тепловую мощность аппарата и конечную температуру теплоносителей, т.е. проверить применимость имеющегося теплообменника для конкретных условий [1–8].

Для стационарного процесса нагрева (охлаждения) различных сред рекомендуется [3] использовать в расчетах усредненные по длине аппаратов значения температур и ряда параметров, в том числе и коэффициентов теплопередачи. Так, по средней температуре теплоносителей  $t_1$  и  $t_2$  по таблицам теплофизических свойств воды находят среднюю теплоемкость, среднюю плотность, вязкость и другие параметры теплоносителей.

Выбирают обычно противоточную, как наиболее эффективную, схему движения теплоносителей. Она предпочтительнее прямоточной, так как позволяет получить больший средний температурный напор и, тем самым, уменьшить требуемую площадь поверхности теплообмена.

На начальном этапе ни коэффициент теплопередачи  $K$  в теплообменнике, ни площадь поверхности теплообмена  $F$  не известны. Поэтому величиной коэффициента теплопередачи приходится задаваться. В дальнейшем расчете, когда уже известна геометрия проточной части теплообменника, выполняется уточненный расчет коэффициента теплопередачи  $K$ , в результате чего уточняется и величина площади поверхности теплообмена  $F$ . Для определения конструкции теплообменника задаются рекомендуемой скоростью воды в трубках. Так, для напорного движения жидкостей рекомендуются [3] скорости 0,5–2,5 м/с.

По каталогу размеров труб выбирают их размер  $d_n \times \delta$ , т.е. наружный диаметр и толщину стенки  $\delta$ , мм. Требуемое число трубок  $n$  можно определить из уравнения неразрывности. Приняв расчетное число трубок в пучке  $n$ , уточняют значение скорости нагреваемого теплоносителя в трубках, рассчитывают площадь поверхности теплообмена  $F$ .

При приближенном расчете находят среднюю температуру горячего и нагреваемого теплоносителя, по средней температуре теплоносителей по таблицам теплофизических свойств воды находят средние теплоемкости и передаваемый в теплообменнике тепловой поток. Вычисляют средний логарифмический температурный напор и по ориентировочному значению коэффициента теплопередачи  $K$  в конструируемом рекуператоре и находят оценочное значение площади поверхности теплообмена  $F$ . Массовый расход греющего теплоносителя определяют, исходя из уравнения теплового баланса (предварительно задают скорость воды в трубках) и рассчитывают геометрию трубного пучка теплообменника.

Уточненный расчет рекуперативного теплообменника включает расчет коэффициента теплопередачи по рекомендациям [3] как и для плоской стенки. Для расчета коэффициента теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке и коэффициента теплоотдачи от стенки к нагреваемому теплоносителю обычно применяют [3] формулу М.А. Михеева для турбулентного режима потока:

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Поскольку температуры поверхности теплообмена  $\theta_1$  и  $\theta_2$  заранее неизвестны, коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  приходится рассчитывать методом последовательных приближений. Задавая температуру поверхности теплообмена, определяем численные значения коэффициентов теплоотдачи, зная которые можно уточнить температуру поверхности теплообмена  $F$  по общему уравнению теплообмена

$$Q = KF(t_1 - t_2) = \alpha_1 F(t_1 - \theta_1) = \alpha_2 F(\theta_2 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta} F(\theta_1 - \theta_2). \quad (2)$$

Потом вновь повторяют расчет коэффициентов теплоотдачи. Цикл расчетов повторяют до тех пор, пока не будет получена требуемая точность сходимости результатов. Расчеты усложняются еще тем, что на каждой стадии цикла при изменении температуры надо вновь рассчитывать значения теплофизических свойств теплоносителей. Они выражаются значением критерия Pr от температуры. Для ускорения вычислений и повышения точности лучше выполнять расчеты на ПК [7, 9].

Нами рекомендовано вносить на каждом цикле вычислений корректировку значений теплофизических свойств теплоносителей методом сплайн-интерполяции на основе введенных табличных данных зависимости критерия Прандтля для воды от температуры. Ниже приведен такой пример расчета для водо-водяного рекуперативного теплообменника в среде Mathcad [10–15].

На рис. 1 показан выполненный в среде Mathcad листинг ввода табличных теплофизических свойств теплоносителей (горячая и холодная вода) по средней температуре и расчет средней логарифмической разности температур для конкретного примера. Индекс 1 относится к горячему теплоносителю, а 2 – к холодному. Параметры теплоносителей можно определить по таблице методом интерполяции [7].

На рис. 2 показано продолжение листинга, согласно изложенной выше методике – расчет теплового потока, ориентировочной поверхности теплообмена и числа трубок теплообменника.

На рис. 3 показан дальнейший расчет размеров сечения кожухотрубного теплообменника и критериев Re для теплоносителей в среде Mathcad. Минимальный зазор между крайними трубками и корпусом теплообменника обычно принимается равным  $k \geq 5$  мм. Принимаем  $k = 5$  мм.

Уточненный расчет теплообменника

Заданы начальная и конечная температуры горячего теплоносителя - 90 и 78 оС  
 Средняя температура горячего теплоносителя:  $t_1 := 0.5 \cdot (90 + 78)$   $t_1 = 84$  оС

Параметры горячего теплоносителя:  
 теплоемкость    разность тем-р    плотность    теплопроводность    вязкость    число Pr

$c_1 := 4190$      $\Delta t_1 := 90 - 78$      $\rho_1 := 969.2$      $\lambda_1 := 0.676$      $\nu_1 := 0.349 \cdot 10^{-6}$      $Pr_1 := 2.1$

Пример линейной интерполяции по табл. 1 для плотности при 84 оС

$t := \begin{pmatrix} 80 \\ 90 \end{pmatrix}$      $\rho := \begin{pmatrix} 971.8 \\ 965.3 \end{pmatrix}$      $\text{linterp}(t, \rho, t_1) = 969.2$

Заданы начальная и конечная температуры нагреваемого теплоносителя - 20 и 37 оС  
 Средняя температура нагреваемого теплоносителя:  $t_2 := 0.5 \cdot (37 + 20)$   $t_2 = 28.5$  оС

Параметры нагреваемого теплоносителя аналогично:

$c_2 := 4175$      $\Delta t_2 := 37 - 20$      $\rho_2 := 996.08$      $\lambda_2 := 0.615$      $\nu_2 := 0.835 \cdot 10^{-6}$      $Pr_2 := 5.66$

Большая и меньшая разность температур:     $\Delta t_6 := 78 - 20$      $\Delta t_m := 90 - 37$  оС

Средняя логарифмическая разность температур:

$$\Delta t := \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} \quad \Delta t = 55.462 \quad \text{oC}$$

Рис. 1. Расчет теплофизических свойств теплоносителей и средней логарифмической разности температур

### Теплофизические свойства воды

| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | $P \cdot 10^{-5}, \text{ Па}$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | $h, \text{ кДж/кг}$ | $c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$ | $\lambda \cdot 10^{-2}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$ | $a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$ | $\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$ | Pr    |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|---|---|--------------------------------------|---|-------|
| 0                           | 1,013                         | 999,9                  | 0,00                | 4,212                                   | 55,1  | 13,1                                 | 1,789                                     | 13,67 |
| 10                          | 1,013                         | 999,7                  | 42,04               | 4,191                                   | 57,4  | 13,7                                 | 1,306                                     | 9,52  |
| 20                          | 1,013                         | 998,2                  | 83,91               | 4,183                                   | 59,9  | 14,3                                 | 1,006                                     | 7,02  |
| 30                          | 1,013                         | 995,7                  | 125,7               | 4,174                                   | 61,8  | 14,9                                 | 0,805                                     | 5,42  |
| 40                          | 1,013                         | 992,2                  | 167,5               | 4,174                                   | 63,5  | 15,3                                 | 0,659                                     | 4,31  |
| 50                          | 1,013                         | 988,1                  | 209,3               | 4,174                                   | 64,8  | 15,7                                 | 0,556                                     | 3,54  |
| 60                          | 1,013                         | 983,2                  | 251,1               | 4,179                                   | 65,9  | 16,0                                 | 0,478                                     | 2,98  |
| 70                          | 1,013                         | 977,8                  | 293,0               | 4,187                                   | 66,8  | 16,3                                 | 0,415                                     | 2,55  |
| 80                          | 1,013                         | 971,8                  | 335,0               | 4,195                                   | 67,4  | 16,6                                 | 0,365                                     | 2,21  |
| 90                          | 1,013                         | 965,3                  | 377,0               | 4,208                                   | 68,0  | 16,8                                 | 0,326                                     | 1,95  |
| 100                         | 1,013                         | 958,4                  | 419,1               | 4,220                                   | 68,3  | 16,9                                 | 0,295                                     | 1,75  |

Задан массовый расход нагреваемого теплоносителя:  $G2 := 1.3 \text{ кг/с}$

Тепловой поток нагреваемого теплоносителя:

$$Q := G2 \cdot c2 \cdot \Delta t2 \quad Q = 9.227 \times 10^4 \quad \text{Приближенное значение коэф. теплообмена:}$$

$$K := 1700 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхность теплообмена в первом приближении:

$$F := \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad F = 0.979 \quad \text{Принимаем скорость холодного потока: } w2 := 1.5 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Расход горячего потока:  $G1 := \frac{Q}{c1 \cdot \Delta t1} \quad G1 = 1.835 \text{ кг/с}$

Размеры трубок, мм:  $d_n := 16 \quad \delta := 1 \quad d := d_n - 2 \cdot \delta \quad d = 14 \quad d_c := 0.5 \cdot (d_n + d) \quad d_c = 15$

Число трубок:

$$n := \frac{4 \cdot G2}{\pi \cdot \rho2 \cdot w2 \cdot d^2 \cdot 10^{-6}} \quad n = 5.652 \quad \text{Примем } n := 6$$

Уточненная скорость холодного потока:  $w2 := \frac{4 \cdot G2}{\pi \cdot \rho2 \cdot n \cdot d^2 \cdot 10^{-6}} \quad w2 = 1.413 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Рис. 2. Расчет теплового потока поверхности теплообмена и числа трубок

Длина трубок теплообменника:

$$L := \frac{F}{\pi \cdot n \cdot d_c \cdot 10^{-3}} \quad L = 3.461 \text{ м} \quad \text{Примем } L := 3 \text{ м} \quad \text{Термосопротивление стенки:}$$

$$\Sigma r := \frac{0.001}{107} \quad \Sigma r = 9.346 \times 10^{-6}$$

Размеры сечения теплообменника:

Шаг:  $s := 1.25 \cdot d_n \quad s = 20 \quad k := 5 \quad D_{в} := 2 \cdot s + d_n + 2 \cdot k \quad D_{в} = 66 \text{ мм}$

Сечение горячего потока:  $f := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{в}^2 - n \cdot d_n^2) \cdot 10^{-6} \quad f = 2.215 \times 10^{-3} \text{ м}^2$

Скорость горячего потока:  $w1 := \frac{G1}{\rho1 \cdot f} \quad w1 = 0.855 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{Эквивалентный диаметр:}$

$$Re2 := \frac{w2 \cdot d \cdot 10^{-3}}{\nu2} \quad Re2 = 2.3692 \times 10^4 \quad \text{Режим турбулентный} \quad de := 0.0174 \text{ м}$$

$$Re1 := \frac{w1 \cdot de}{\nu1} \quad Re1 = 4.262 \times 10^4 \quad \text{Режим турбулентный}$$

Рис. 3. Расчет размеров сечения теплообменника и критериев Re теплоносителей

На рис. 4 показаны введенные табличные значения критерия Pr при различных температурах [6], график, построенный по этим значениям, и расчет по ним сплайн-интерполяция в среде Mathcad.

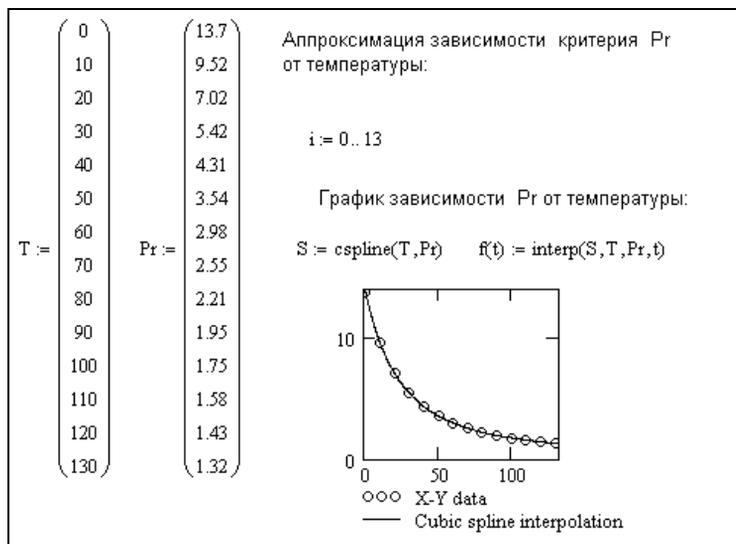


Рис. 4. Сплайн-интерполяция в среде Mathcad для зависимости Pr от температуры

На рис. 5 показано решение системы нелинейных уравнений (1) и (2) для обоих теплоносителей методом итераций в среде Mathcad. Заданы для начала итераций ориентировочные значения температур на стенке трубы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  и коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Запуск итераций производится по кодовому слову Given (дано).



Рис. 5. Решение в Mathcad системы нелинейных уравнений методом итераций

В результате расчета на ПК для заданных параметров потоков получены значения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_1 = 5025 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  и  $\alpha_2 = 6944 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ , значения температур стенки труб  $\theta_1 = 52,039 \text{ }^\circ\text{С}$  и  $\theta_2 = 51,183 \text{ }^\circ\text{С}$ , поверхность теплообмена  $F = 1,007 \text{ м}^2$  и коэффициент теплопередачи  $K = 2838 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

### Список литературы

1. Боровко В.М., Калютник А.А., Сергеев В.В. Теплотехническое оборудование: учеб. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2013. – 192 с.
2. Васильченко Ю.В. Теплогенерирующие установки. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова, 2008. – 162 с.
3. Вафин Д.Б. Источники производства теплоты / Нижнекам. хим.-технол. ин-т (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ». – Нижнекамск, 2014. – 242 с.
4. Дегтяренко А.В. Теплоснабжение. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 185 с.
5. Евсеева Т.А., Ластовец Н.В. Отопление: конспект лекций / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Харьков, 2012. – 84 с.
6. Касаткин А.Г. Основные процесс и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
7. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1976. – 550 с.
8. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
9. Ефремов Г.И. Моделирование химико-технологических процессов: учеб. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 254 с.
10. Амосова О.А., Вестфальский А.Е. Применение пакета Mathcad к решению вычислительных задач: метод. пособие. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 30 с.
11. Бундаев В.В. Решение задач линейной оптимизации с использованием Mathcad и Excel: метод. пособие и контр. задания. – Улан-Удэ, 2006. – 31 с.
12. Гурьяшова Р.Н., Шеянов А.В. Информатика. Пакет Mathcad: учеб. пособие. – Н. Новгород, 2005. – 140 с.
13. Mathcad 6.0 Plus. Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows 95. – М.: Филинь, 1996. – 712 с.
14. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
15. Дьяконов В.П. Справочник по Mathcad PLUS 6.0 PRO. – М.: СК Пресс, 1997. – 336 с.

## References

1. Borovko V.M., Kaliutik A.A., Sergeev V.V. Teplotekhnicheskoe oborudovanie [Heat engineering equipment]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademii», 2013, 192 p.
2. Vasil'chenko Iu.V. Teplogeneriruiushchie ustanovki [Heat Generating plants]. Belgorod, Izd-vo BGTU im. Shukhova, 2008, 162 p.
3. Vafin D.B. Istochniki proizvodstva teploty [Sources of heat production]. Nizhnekamsk, Nizhnekamskii khimiko-tehnologicheskii institut, 2014, 242 p.
4. Degtiarenko A.V. Teplosnabzhenie [Heat]. Tomsk, Izd-vo Tom. gos. arkhitekt.-stroit. un-ta, 2010, 185 p.
5. Evseeva T. A., Lastovets N. V. Konspekt lektsii po kursu «Otoplenie» [Lecture Notes on the course "heating"]. Kharkov, KhNAGKh, 2012, 84 p.
6. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii [Basic process and apparatus of chemical technology]. Moscow, Khimiia, 1971, 784 p.
7. Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A. Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoi tekhnologii [Examples and tasks on the course of processes and apparatus of chemical technology]. Leningrad, Khimiia, 1976, 550 p.
8. Dytnerskii Iu.I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii [Basic processes and apparatus of chemical technology]. Moscow, Khimiia, 1983, 272 p.
9. Efremov G.I. Modelirovanie khimiko-tehnologicheskikh protsessov [Modeling of chemical and technological processes]. Moscow, NITs INFRA-M, 2016, 254 p.
10. Amosova O.A., Vestfal'skii A.E. Primenenie paketa Mathcad k resheniiu vychislitel'nykh zadach [The Use of Mathcad to the solution of computational problems]. Moscow, Izdatel'skii dom MEI, 2007, 30 p.
11. Bundaev V.V. Reshenie zadach lineinoi optimizatsii s ispol'zovaniem MATHCAD i EXCEL [the Solution of problems of linear optimization ispolzuyet MATHCAD and EXCEL]. Ulan-Ude, 2006, 31 p.
12. Gur'iashova R.N., Sheianov A.V. Informatika. Paket Mathcad [Computer Science. Mathcad]. Nizhny Novgorod, Izd-vo FGOU VPO VGAVT, 2005, 140 p.
13. Mathcad 6.0 Plus. Finansovye, inzhenernye i nauchnye raschety v srede Windows 95 [Mathcad 6.0 Plus. Financial, engineering and scientific calculations in Windows 95]. Moscow, Inform.-izdat. dom «Filin'», 1996, 712 p.
14. Ochkov V.F. Mathcad 14 dlia studentov, inzhenerov i konstruktorov BKhV [Mathcad 14 for students, engineers and designers BHV]. Saint Petersburg, 2007, 368 p.
15. D'iakonov V. P. Spravochnik po Mathcad PLUS 6.0 PRO [Handbook of Mathcad PLUS 6.0 PRO]. Moscow, «SK Press», 1997, 336 p.

Получено 31.07.2019

## Об авторах

**Ефремов Герман Иванович** (Москва, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительства Московского финансово-юридического университета (МФЮА) (117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 1А; e-mail: efremov\_german@mail.ru).

**Мартыненко Валерий Иванович** (Москва, Россия) – директор по производству ООО «Фармсистемы» (142715, Московская обл., Ленинский р-н, с. Беседы, Промышленный проезд, д. 1, стр. 1, e-mail: valeriy.martynenko@pharmsystems.ru).

#### **About the authors**

**German I. Efremov** (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of construction of the Moscow University of Finance and Law (MFUA) (1A, Vvedensky st., Moscow, 117342, e-mail: efremov\_german@mail.ru).

**Valery I. Martynenko** (Moscow, Russian Federation) – Director of production of LLC "Pharmsystems" (1, b. 1, Promyshlennyy proezd, s. Besedi, Leninskiy r-n, Moscow region, 142715, e-mail: valeriy.martynenko@pharmsystems.ru).