

СТАТЬИ

УДК 37.01:004.02

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В РЕШЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**¹Акимова И.В., ²Титова Е.И.¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: ulrih@list.ru;²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, e-mail: ermelenka@rambler.ru

В своем исследовании авторы рассматривают актуальную на данный момент развития высшего образования тему – использование современных цифровых технологий при обучении математике будущих строителей. Авторы предлагают следующие направления современных цифровых технологий в строительстве: поддержка графики; поддержка сметных работ; поддержка информационного моделирования; поддержка математического моделирования. Более подробно рассматривается последнее направление, связанное с решением математических задач в строительной сфере с помощью современных цифровых технологий. В качестве цифрового инструментария в исследовании предлагается использовать программный пакет R-Studio. Удобным средством вычислений в языке R является RStudio. RStudio представляет собой бесплатную интегрированную среду разработки (IDE) для языка R. Благодаря ряду своих особенностей, этот активно развивающийся программный продукт делает работу с языком R очень удобной с точки зрения решаемых в исследовании задач, важной возможностью системы организации расчета основных параметров описательной статистики, а также расчета различных коэффициентов корреляции, критерия Стьюдента и т.д. В качестве примеров авторами рассматриваются задачи на определение коэффициента теплопроводности, стоимости квадратного метра жилья в России. По результатам проведенной работы проводился опрос студентов, который показал перспективность использования предложенных вариантов использования современных цифровых технологий.

Ключевые слова: современные цифровые технологии, математическое моделирование, R Studio

**THE USE OF MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES
IN SOLVING MATHEMATICAL PROBLEMS
OF THE CONSTRUCTION PROFILE**¹Akimova I.V., ²Titova E.I.¹Penza State University, Penza, e-mail: ulrih@list.ru;²Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: ermelenka@rambler.ru

In their study, the authors consider a topic that is currently relevant for the development of higher education – the use of modern digital technologies in teaching mathematics to future builders. The authors propose the following directions of modern digital technologies in construction: support of graphics; support of estimate works; support of information modeling; support of mathematical modeling. The last direction related to the solution of mathematical problems in the construction sector with the help of modern digital technologies is considered in more detail. As a digital tool in the study, it is proposed to use the R-Studio software package. A convenient means of computing in R is RStudio. RStudio is a free integrated development Environment (IDE) for R. Due to a number of its features, this actively developing software product makes working with R very convenient. From the point of view of the tasks solved in the study, it is important to have the capabilities of the system for organizing the calculation of the main parameters of descriptive statistics, as well as the calculation of all three correlation coefficients, the Student's criterion, etc. As examples, the authors consider the tasks of determining the coefficient of thermal conductivity, the cost per square meter of housing in Russia. Based on the results of the work carried out, a survey of students was conducted, which showed the prospects of using the proposed options for using modern digital technologies.

Keywords: modern digital technologies, mathematical modeling, R studio

Использование современных цифровых технологий (СЦТ) находит свое применение во всех сферах образования. Одной из них является строительная отрасль, где при изучении дисциплин естественнонаучного цикла применение СЦТ наиболее актуально. В том числе при решении различных математических задач в подготовке будущих строителей [1–3]. Направлений использования СЦТ можно отметить несколько:

- поддержка графики;
- поддержка сметных работ;

– поддержка информационного моделирования;

– поддержка математического моделирования.

Для поддержки графики цифровые технологии стали использоваться достаточно давно. Еще в 1960-х гг. разрабатываются первые графические устройства (например, SketchPad), создаются первые электронные чертежные машины. А в конце 1970-х гг. была представлена первая система описания здания (Building Description System). В настоящее же время представлено мно-

жество программных продуктов, которые позволяют создавать строительные инженерные чертежи, документацию, реализовывать трехмерную графику и т.д.

Программы, поддерживающие работу со сметами, выполняют автоматизированную сметную оценку проектам, расчет в потребностях в ресурсах и т.д. Примерами таких программ могут выступать Дизайн Интерьера, ГРАНД-Смета, АванСмета, Смета+, WinСмета и т.д.

Следующее направление – информационное моделирование – представлено технологией Building Information Modeling (BIM), которая стала внедряться в США с 2003 г. С помощью BIM технологий могут быть получены виртуальная модель здания, индивидуальные параметры объекта; качественная проектная документация и т.д.

Последнее направление, связанное с решением математических задач в строительной сфере с помощью СЦТ, более подробно освещено в нашем исследовании.

Таким образом, цель исследования – рассмотреть возможности использования СЦТ при решении математических задач для студентов строительных специальностей.

Материалы и методы исследования

В качестве цифрового инструментария в исследовании предлагается использовать программный пакет R-Studio.

R – статистическая система анализа, созданная Россом Ихакой и Робертом Гентлеманом (1996, J. Comput. Граф. Stat., 5: 299–314). R является и языком, и программным обеспечением [4, 5].

Система статистического анализа и визуализации данных R состоит из следующих основных частей:

- языка программирования высокого уровня R, позволяющего одной строкой реализовать различные операции с объектами, векторами, матрицами, списками и т.д.;
- большого набора функций обработки данных, собранных в отдельные так называемые «пакеты»;
- развитой системы поддержки, включающей обновление компонентов среды, интерактивную помощь и различные образовательные ресурсы, предназначенные как для начального изучения R, так и для последующих консультаций по возникающим затруднениям.

Язык R может быть установлен на различных операционных системах, включая Windows, Unix, Linux и Mac OS. Удобным средством вычислений в R является RStudio. RStudio представляет собой бесплатную интегрированную среду разработки (IDE) для R. Благодаря ряду своих особенностей,

этот активно развивающийся программный продукт делает работу с R очень удобной. В сложившейся ситуации использование свободного программного обеспечения особенно актуально и в перспективе использование RStudio может стать альтернативой другим математическим пакетам, в том числе и MS Excel.

С точки зрения решаемых в исследовании задач важной возможностью системы организации расчета основных параметров описательной статистики, а также расчет всех трех коэффициентов корреляции, критерия Стьюдента и т.д.

Математическая обработка данных является главной задачей любого вида деятельности. Она лежит в основе любой технической задачи. Современные цифровые технологии помогают получить быстрый результат любых длительных математических расчетов, получить необходимую точность вычисления [6]. В качестве примера мы взяли одну из математических задач строительной отрасли и применили к ней данную методику использования программного пакета R-Studio.

Пример 1. Определить прямую регрессию, определяющую зависимость коэффициента теплопроводности λ , Вт / (м² · °С) жаростойкого бетона с заполнителем из магнезита от средней температуры нагрева t °С по данным эксперимента, приводимым в табл. 1.

Таблица 1

Данные для выполнения задания

| t °С | 100 | 300 | 600 | 700 | 900 | 110 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| λ | 5,90 | 5,35 | 4,78 | 4,20 | 3,60 | 3,00 |
| m | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 |

Рассмотрим решение примера в программе RStudio.

Данную таблицу представим в виде csv-файла в ЭТ Excel (рис. 1).

| | A | B | C | D | E |
|---|-----|------|---|---|---|
| 1 | t | l | m | | |
| 2 | 100 | 5,9 | 2 | | |
| 3 | 300 | 5,35 | 3 | | |
| 4 | 600 | 4,78 | 3 | | |
| 5 | 700 | 4,2 | 4 | | |
| 6 | 900 | 3,6 | 4 | | |
| 7 | 110 | 3 | 2 | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |

Рис. 1. Вид файла в ЭТ Excel

Затем считаем в программу

```
T<-read.csv2("11.csv", header=TRUE, sep=";", dec = ",");
```

Вид таблицы представлен на рис. 2.

| | t | l | m |
|---|-----|------|---|
| 1 | 100 | 5.90 | 2 |
| 2 | 300 | 5.35 | 3 |
| 3 | 600 | 4.78 | 3 |
| 4 | 700 | 4.20 | 4 |
| 5 | 900 | 3.60 | 4 |
| 6 | 110 | 3.00 | 2 |

Рис. 2. Вид данных в R Studio

Вычислим коэффициент корреляции для переменных t и l.

Для вычисления корреляции в RStudio используется команда cor. В нашем случае имеем

```
cor(T$t, T$l)
```

Рассчитанное значение представлено на рис. 3.

```
> T<-read.csv2("11.csv", header=TRUE, sep=";", dec = ",");
> cor(T$t, T$l)
[1] -0.9930041
```

Рис. 3. Результаты вычислений в R Studio

Значение коэффициента корреляции -0.9930041 указывает на сильную связь между переменными.

Далее перейдем к вычислению парной линейной регрессии, для вычисления которой используется функция lm.

```
regF2F1<-lm(formula=T$l ~T$t)
```

Выведем информацию о регрессии (рис. 4).

```
> regF2F1<-lm(formula=T$l ~T$t)
> summary(regF2F1)

call:
lm(formula = T$l ~ T$t)

Residuals:
    1     2     3     4     5     6 
-0.07450 -0.04276  0.25985 -0.02927 -0.04753 -0.06579 

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.2653753  0.1216743   51.49 8.51e-07 ***
T$t         -0.0029087  0.0001729  -16.82 7.32e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1435 on 4 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9861,    Adjusted R-squared:  0.9826 
F-statistic: 282.9 on 1 and 4 DF,  p-value: 7.324e-05
```

Рис. 4. Результаты вычислений в R Studio

Multiple R-squared: 0,9861, то есть коэффициент детерминации равен 0,97 – близок к 1. Проверим значимость регрессии $p\text{-value} = 7.324e-05 < 0,1$, следовательно, регрессия значима.

Далее перейдем к описанию полученных коэффициентов регрессии.

$p\text{-value}$ для свободного члена (Intercept) = $8,51e-07 < 0,1$, следовательно, свободный член значим. $p\text{-value}$ для коэффициента при переменной (T\$t) = $7,32e-05 < 0,1$, следовательно, коэффициент при переменной значим. Таким образом, делаем вывод о значимости обоих коэффициентов регрессии.

Уравнение примет вид

$$l = 6.2653753 - 0.0029087t.$$

Для построения графика регрессии воспользуемся командой `abline`.

`abline(regF2F1, col=>red)`

Вид графика представлен на рис. 5.

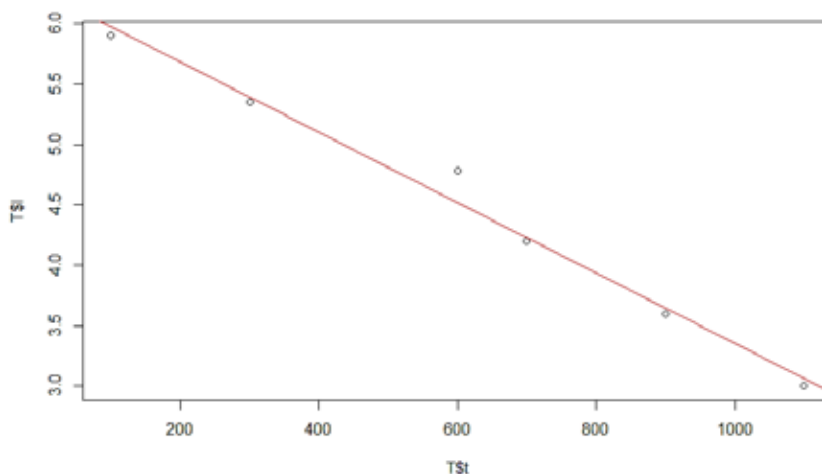


Рис. 5. Вид графика

Также можно найти относительную ошибку аппроксимации MAPE (рис. 6).

```
> accuracy(regF2F1)
      ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set 1.480331e-16 0.1171521 0.08661824 -0.1393189 1.951416 0.09937083
```

Рис. 6. Вид вычислений

Относительная ошибка аппроксимации равна 1,951416%. Следовательно, полученную регрессию можно использовать для прогнозирования.

Рассмотрим следующий пример.

Пример 2. Проанализируем среднюю стоимость квадратного метра жилья в России за 2017, 2018, 2019 гг.

Вид данных представлен на рис. 7.

Определить вид нелинейной регрессии.

Построим несколько нелинейных регрессий для переменных.

Для начала построим график линейной регрессии, аналогично примеру 1.

Вид полученного графика представлен на рис. 8.

Уравнение примет вид

$$y = 52740,80 + 201,07x.$$

| | A | B | C |
|----|------------|----------|---|
| 1 | Year | Price | |
| 2 | 01.01.2017 | 53166,31 | |
| 3 | 01.02.2017 | 53164,31 | |
| 4 | 01.03.2017 | 53170,31 | |
| 5 | 01.04.2017 | 53155,31 | |
| 6 | 01.05.2017 | 53576,02 | |
| 7 | 01.06.2017 | 53574,02 | |
| 8 | 01.07.2017 | 53575,02 | |
| 9 | 01.08.2017 | 53580,02 | |
| 10 | 01.09.2017 | 53148,7 | |
| 11 | 01.10.2017 | 53149,7 | |
| 12 | 01.11.2017 | 53147,7 | |
| 13 | 01.12.2017 | 53148,7 | |
| 14 | 01.01.2018 | 57006,73 | |
| 15 | 01.02.2018 | 57000,8 | |
| 16 | 01.03.2018 | 56990 | |
| 17 | 01.04.2018 | 57000 | |
| 18 | 01.05.2018 | 57216,7 | |
| 19 | 01.06.2018 | 57231,6 | |
| 20 | 01.07.2018 | 58270,3 | |
| 21 | 01.08.2018 | 57375,1 | |
| 22 | 01.09.2018 | 57315,44 | |
| 23 | 01.10.2018 | 57310,5 | |
| 24 | 01.11.2018 | 57315,6 | |
| 25 | 01.12.2018 | 57320 | |
| 26 | 01.01.2019 | 57527,52 | |

Рис. 7. Вид данных в ЭТ Excel

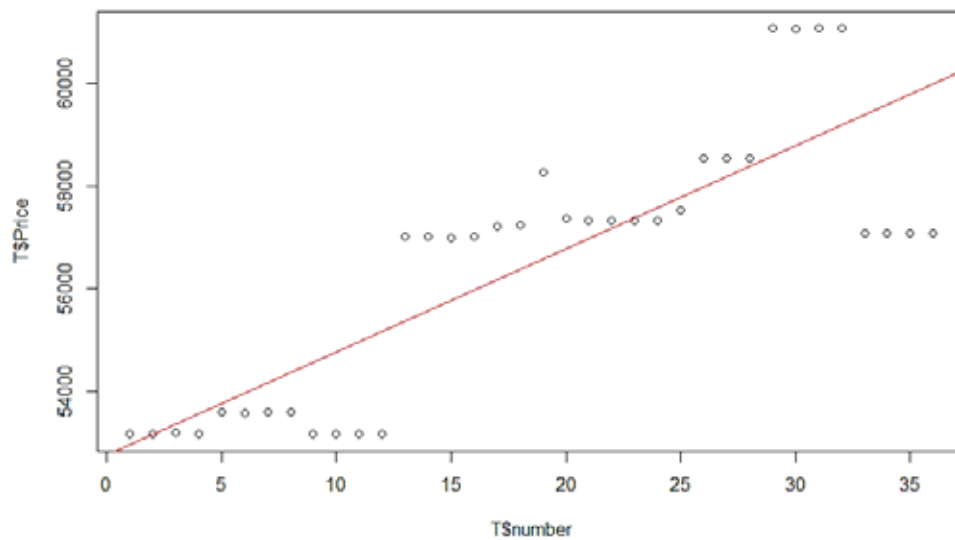


Рис. 8. Вид графика

Вычисления в RStudio выглядят следующим образом (рис. 9).

```
> reg1<-lm(formula=T$Price ~T$number)
> summary(reg1)

Call:
lm(formula = T$Price ~ T$number)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2907.77  -622.28   83.78  1046.01  2496.30

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  52740.80    499.69  105.547 < 2e-16 ***
T$number      201.07     23.55   8.538 5.67e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1468 on 34 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6819,    Adjusted R-squared:  0.6726
F-statistic: 72.89 on 1 and 34 DF,  p-value: 5.675e-10
```

Рис. 9. Вид вычислений

Найдем относительную ошибку аппроксимации MAPE (рис.10).

```
> accuracy(reg1)
           ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set 2.021593e-13 1426.583 1123.288 -0.06258209 1.970265 0.5324948
```

Рис. 10. Вид вычислений

Вычислим нелинейные регрессии (рис. 11, 12).

$$y = p_1 + p_2 \ln(x) + \varepsilon.$$

```
reg2<-lm(formula=T$Price ~log(T$number))
```

Рис. 11. Вид вычислений

```
> summary(reg2)

Call:
lm(formula = T$Price ~ log(T$number))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2904.5 -1248.4   38.8   606.7  2948.7

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  50234.5    870.6   57.70 < 2e-16 ***
log(T$number)  2341.6    311.8   7.51 1.02e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1596 on 34 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6239,    Adjusted R-squared:  0.6129
F-statistic: 56.4 on 1 and 34 DF,  p-value: 1.019e-08
```

```
curve(coef(reg2)[1] + coef(reg2)[2]*log(x), add=TRUE, col="green
«)
```

Рис. 12. Вид вычислений

Он примет вид, представленный на рис. 13.

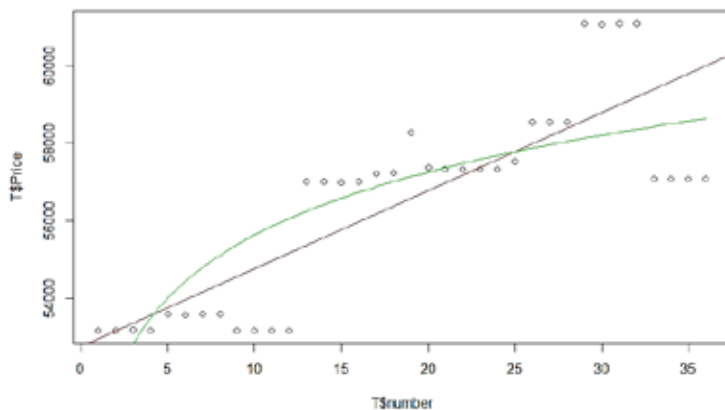


Рис. 13. Вид графика

Найдем относительную ошибку аппроксимации MAPE (рис. 14).

```
> accuracy(reg2)
              ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set 2.021223e-13 1551.204 1196.822 -0.07355635 2.124936 0.5673534
> |
```

Рис. 14. Вид вычислений

Исследуем регрессию вида $y = p_1 + p_2x + p_3x^2 + p_4x^3$ (рис. 15).

```
> reg3<-nls(T$Price~p1+p2*T$number+p3*T$number^2+p4*T$number^3,data=T,start=list(p1=1000,p2=1000, p3=10, p4=10))
> summary(reg3)

Formula: T$Price ~ p1 + p2 * T$number + p3 * T$number^2 + p4 * T$number^3

Parameters:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
p1 53499.6996   865.7868   61.793 < 2e-16 ***
p2 -236.4728   199.8811   -1.183  0.24550
p3  38.0457    12.4614    3.053  0.00453 **
p4  -0.7947     0.2216   -3.587  0.00110 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1166 on 32 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 1
Achieved convergence tolerance: 1.795e-07
```

Рис. 15. Вид вычислений

Построим график (рис. 16).

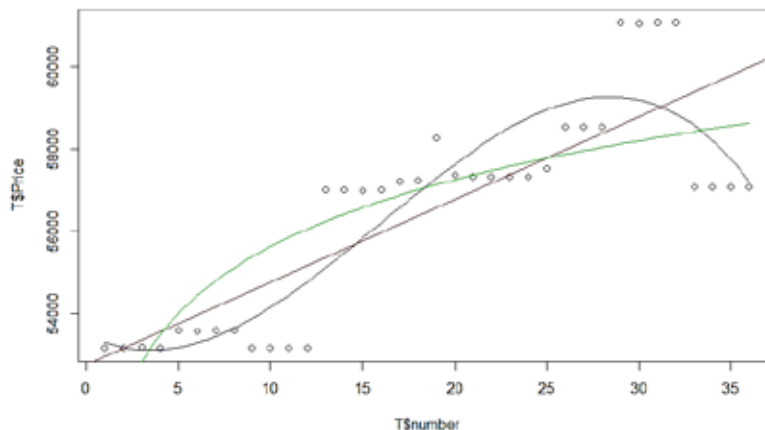


Рис. 16. Вид графика

Таблица 2

Результаты опроса

| Варианты | 1 курс | | 2 курс | |
|--|--------|-------|--------|-------|
| | Кол-во | % | Кол-во | % |
| Использование стандартного математического аппарата | 10 | 50,0% | 5 | 17,9% |
| Использование стандартного математического аппарата с организацией вычисления с использованием СЦТ | 4 | 20,0% | 8 | 28,6% |
| Решение полностью с использованием СЦТ | 6 | 30,0% | 15 | 53,6% |

Нами был разработан элективный курс «Использование современных цифровых технологий в решении математических задач» для специальностей 07.03.01 Архитектура, 07.03.04 Градостроительство, 08.03.01 Строительство, который в данный момент разрабатывается в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства. Дальнейшие исследования связаны с апробацией данного элективного курса.

Результаты исследования и их обсуждение

В течение 2020–2022 учебного года данная методика была апробирована на занятиях по высшей математике на специальностях 07.03.01 Архитектура, 07.03.04 Градостроительство, 08.03.01 Строительство. Студентам предлагались различные математические задачи строительного профиля. Были предложены следующие варианты решения:

- использование стандартного математического аппарата;
- использование стандартного математического аппарата с организацией вычисления с использованием СЦТ;
- решение полностью с использованием СЦТ.

В результате в конце курса был проведен опрос среди 58 студентов 1 и 2 курса обучения. Результаты опроса представлены ниже (табл. 2).

Как видно из табл. 2, отмечается увеличение процента студентов с 30,0% до 53,6%, которые предпочитают решение задач полностью с использованием СЦТ. В то же время отметим резкое уменьшение процента студентов до 17,9%, которые предпочитают решение задач с использованием стандартного математического аппарата. Таким образом, можно сделать вывод,

что использование СЦТ при решении математических задач обретает популярность, что объясняется теми преимуществами, которые они обеспечивают. Так же очевидно, что дальнейшее использование СЦТ будет более широким. Поэтому требуется методическая работа по разработке адекватного задачного материала.

Заключение

В результате проведенного исследования были отмечены несколько направлений использования СЦТ при решении математических задач при подготовке будущих строителей. Больше внимание в результате было уделено направлению, связанному с решением математических задач в строительной сфере с помощью СЦТ. В качестве информационного инструментария была выбрана программная среда R-Studio.

Список литературы

1. Асташов А.М., Ошкина Л.М. Роль информационных технологий проектирования в реформировании инженерно-строительного образования // Интеграция образования. 2014. № 4 (77). С. 116–123.
2. Перцева А.Е., Волкова А.А., Хижняк Н.С., Астафьева Н.С. Особенности внедрения BIM-технологии в отечественные организации // Наукоедение. 2017. Т. 9. № 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/58EVN617.pdf> (дата обращения: 11.05.2022).
3. Шевко Н.Р. Применение IT-технологий в строительстве: сегодня и завтра // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 11. С. 319–321.
4. Загвязинский В.И., Атаханов Р. Методология и методы психолого-педагогического исследования: учебное пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 208 с.
5. Мاستицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.
6. Шевко Н.Р. Применение IT-технологий в строительстве: сегодня и завтра // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 11. С. 319–321.