

М.А. Нифедов¹, М.П. Базилевский¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В РЯД ФУРЬЕ В ПАКЕТАХ MATHCAD И MATLAB

Аннотация. Целью данной работы является проведение сравнительного анализа времени разложения в ряд Фурье заданной периодической функции в пакетах Mathcad и MATLAB. Кратко рассмотрены основные теоретические сведения о разложении периодических функций в ряд Фурье. Для исследования пакетов Mathcad и MATLAB была поставлена задача разложения конкретной кусочно-заданной функции. Для этой функции была организована проверка условий теоремы Дирихле, которая позволила сделать вывод о допустимости её разложения в ряд Фурье. В пакетах Mathcad и MATLAB разработаны программы для разложения заданной функции в ряд Фурье. Первичное разложение заданной функции в пакетах Mathcad и MATLAB продемонстрировало на её концах явление Гиббса. На примере Mathcad показано, как влияет заданное число гармоник на качество разложения. Исследовано, как в пакетах Mathcad и MATLAB заданное число гармоник влияет на время разложения функции в ряд Фурье.

Ключевые слова: ряд Фурье, разложение в ряд Фурье, теорема Дирихле, явление Гиббса, Mathcad, MATLAB.

М.А. Nifedov¹, М.Р. Bazilevskiy¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

A COMPARISON OF THE TIME NEEDED FOR FOURIER EXPANSION OF A PERIODIC FUNCTION IN THE MATHCAD AND MATLAB PACKAGES

Abstract. The purpose of this paper is to conduct a comparative analysis of the time taken for Fourier expansion of a given periodic function in the Mathcad and MATLAB packages. The basic theoretical information on Fourier expansion of periodic functions is briefly considered. To study the Mathcad and MATLAB packages, the task of expanding an actual piecewise-defined function has been set. A check of the Dirichlet theorem conditions has been organized for this function, which allows us to conclude its Fourier expansion admissibility. In the Mathcad and MATLAB packages, there are programs developed for Fourier expansion of a given function. The primary expansion of the given function in the Mathcad and MATLAB packages demonstrates the Gibbs phenomenon at its ends. Using Mathcad as an example, we show how a given number of harmonics affects the expansion quality. It is investigated how the given number of harmonics affects the time taken for Fourier expansion of the given periodic function in the Mathcad and MATLAB packages.

Keywords: Fourier series, Fourier expansion, the Dirichlet theorem, the Gibbs phenomenon, Mathcad, MATLAB.

Введение

При изучении разнообразных периодических процессов, встречающихся в радиотехнике, электронике, теории упругости, теории и практике автоматического регулирования и т.д., целесообразно разлагать их в так называемый тригонометрический ряд Фурье [1–4]. В настоящее время известны многочисленные приложения рядов Фурье. Так, в книге [1] можно найти описание технологии их применения при решении следующих задач: о поперечных колебаниях мембраны, о решении уравнения теплопроводности, о расчете гибких нитей, об изгибе пластинки, о поперечных колебаниях стержня. Помимо этого, разложению функций в ряд Фурье посвящается множество научных работ [5–9]. Например, в [6] ряды Фурье применены для расчета режимов работы полупроводникового

преобразователя, в [7] – для выявления биологических ритмов гидробионтных сообществ, в [8] – для экспресс-анализа моторных масел на основе инфракрасной спектроскопии, в [9] – для прогнозирования механических характеристик углеродистой проволоки.

К сожалению, операция разложения в ряд Фурье даже для простых периодических функций является весьма трудоемкой, поэтому на практике такая задача решается с помощью соответствующего программного обеспечения. Вопросы решения сложных вычислительных задач рассмотрены, например, в работах [10–18].

При обучении студентов Иркутского государственного университета путей сообщения разложению в ряд Фурье на кафедре математики применяются в основном два математических пакета: Mathcad и MATLAB.

Mathcad [19] – система алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается лёгкостью использования и применения для коллективной работы.

MATLAB [20] – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа времени разложения в ряд Фурье заданной периодической функции в пакетах Mathcad и MATLAB.

1. Ряды Фурье и постановка задачи

Пусть $f(x)$ – произвольная периодическая функция с периодом 2π . Тогда рядом Фурье функции $f(x)$ называется тригонометрический ряд:

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx, \quad (1)$$

где коэффициенты Фурье находятся по формулам:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx, \quad (2)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nxdx, \quad (3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nxdx. \quad (4)$$

Достаточным условием разложимости функции в ряд Фурье является теорема Дирихле. Она формулируется следующим образом.

Теорема Дирихле. Пусть 2π -периодическая функция $f(x)$ на отрезке $[-\pi; \pi]$ удовлетворяет следующим условиям:

1. $f(x)$ кусочно-непрерывна, т.е. непрерывна или имеет конечное число точек разрыва первого рода;

2. $f(x)$ кусочно-монотонна, т.е. монотонна на всем отрезке, либо этот отрезок можно разбить на конечное число интервалов так, что на каждом из них функция монотонна.

Тогда соответствующий функции $f(x)$ ряд Фурье сходится на этом отрезке и при этом:

- в точках непрерывности функции сумма ряда совпадает с самой функцией;
- в каждой точке разрыва функции сумма ряда равна среднему арифметическому пределов функции $f(x)$ справа и слева;
- в точках $x = -\pi$ и $x = \pi$ сумма ряда равна $\frac{1}{2}(f(-\pi+0) + f(\pi-0))$.

Если функция $f(x)$ удовлетворяет условиям теоремы Дирихле, то на отрезке $[-\pi; \pi]$ имеет место разложение:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx. \quad (5)$$

Для исследования пакетов Mathcad и MATLAB была поставлена следующая задача. Нужно разложить в ряд Фурье кусочно-заданную функцию:

$$f(x) = \begin{cases} -1, & -\pi \leq x \leq -1, \\ x, & -1 < x < 1, \\ 1, & 1 \leq x \leq \pi. \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 1 представлен график функции (6).

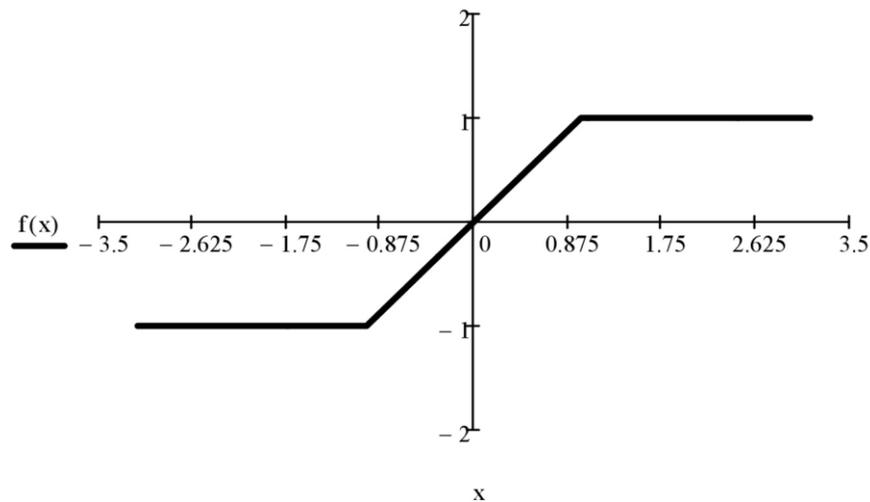


Рис. 1. График исходной функции (6)

Как видно по графику, функция $f(x)$ на отрезке $[-\pi; \pi]$ является кусочно-непрерывной и кусочно-монотонной, следовательно, она разложима в ряд Фурье.

Стоит отметить, что все представленные в данной работе эксперименты проводились на персональном компьютере, имеющем следующие характеристики:

- процессор: Intel(R) Pentium(R) CPU 4417U @ 2.30GHz;
- установленная память (ОЗУ): 4.00 ГБ;
- тип системы: 64 разрядная операционная система, процессор x64.

2. Разложение функции в пакете Mathcad

Используя формулы (1)–(5), для разложения функции в ряд Фурье в пакете Mathcad была разработана программа, листинг которой представлен на рис. 2.

```

n := 500
k := 0..n
start := time(0)
a_k := 1/pi * ∫-ππ f(x) · cos(k · x) dx   b_k := 1/pi * ∫-ππ f(x) · sin(k · x) dx
Fourier(x) := a_0/2 + ∑k=1n (a_k · cos(x · k) + b_k · sin(x · k))
finish := time(0)
cal_time := finish - start
cal_time = 2.722
x := -π, -π + π/360 .. π

```

Рис. 2. Листинг программы в Mathcad

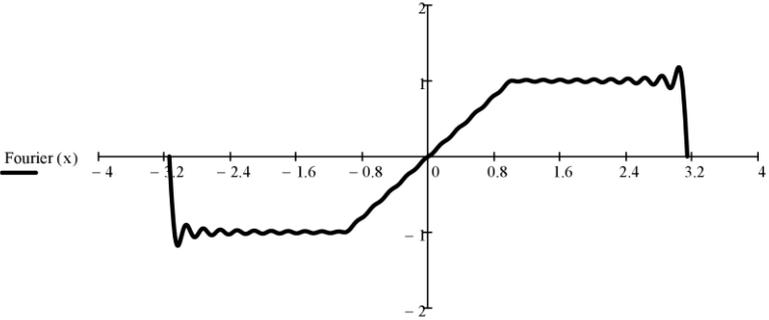
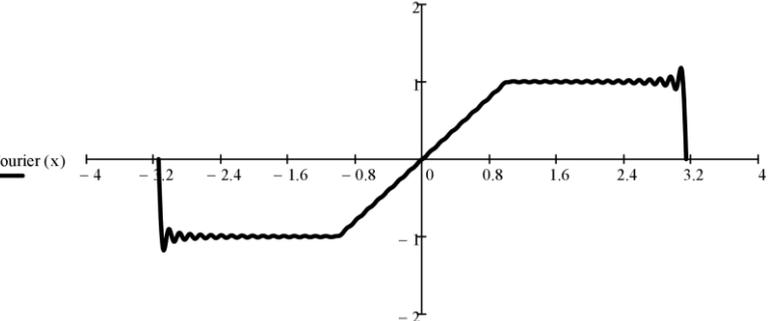
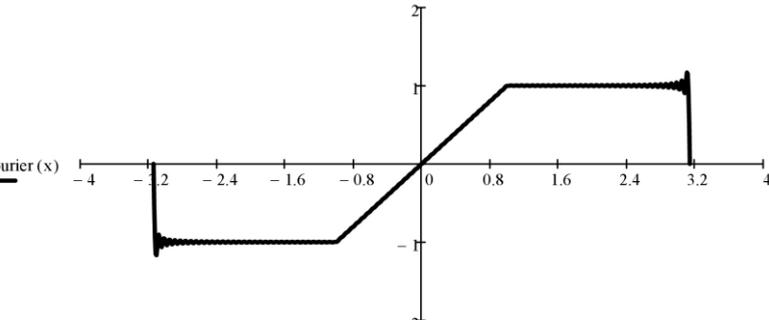
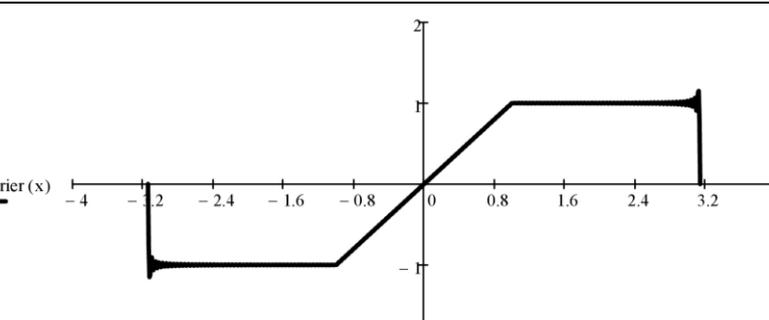
На рис. 2 переменная n – заданное число гармоник; k – номер коэффициента Фурье; $start$ – время начала разложения, которое определяется с помощью функции $time(0)$; a_k, b_k – коэффициенты ряда Фурье, вычисляемые по формулам (3) – (4); $Fourier(x)$ – разложение функции в ряд Фурье по формуле (5); $finish$ – время завершения разложения; cal_time – переменная для вычисления времени разложения; x – координаты точек для построения графика разложения.

С помощью разработанной в Mathcad программы исследовалось влияние заданного числа гармоник n на время и качество разложения исходной функции. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость времени и качества разложения от числа гармоник в Mathcad

Число гармоник	Время, в секундах	График функции, полученный с помощью разложения в ряд Фурье
n=10	0.042	

Число гармоник	Время, в секундах	График функции, полученный с помощью разложения в ряд Фурье
n=30	0.061	
n=50	0.083	
n=100	0.188	
n=150	0.319	

По графикам видно, что, начиная с $n=100$, разложенная в ряд Фурье функция практически не отличается от заданной. При этом с ростом числа гармоник наблюдается рост времени разложения.

Отметим также, что, например, при $n=100$ на концах функции наблюдается явление Гиббса. Явлением Гиббса называют особенность поведения усеченного ряда Фурье в окрестности точки разрыва функции, проявляющаяся в виде выбросов. Это явление было обнаружено Дж. Гиббсом в 1898 году.

График зависимости времени разложения функции в ряд Фурье от числа гармоник n представлен на рис. 3.

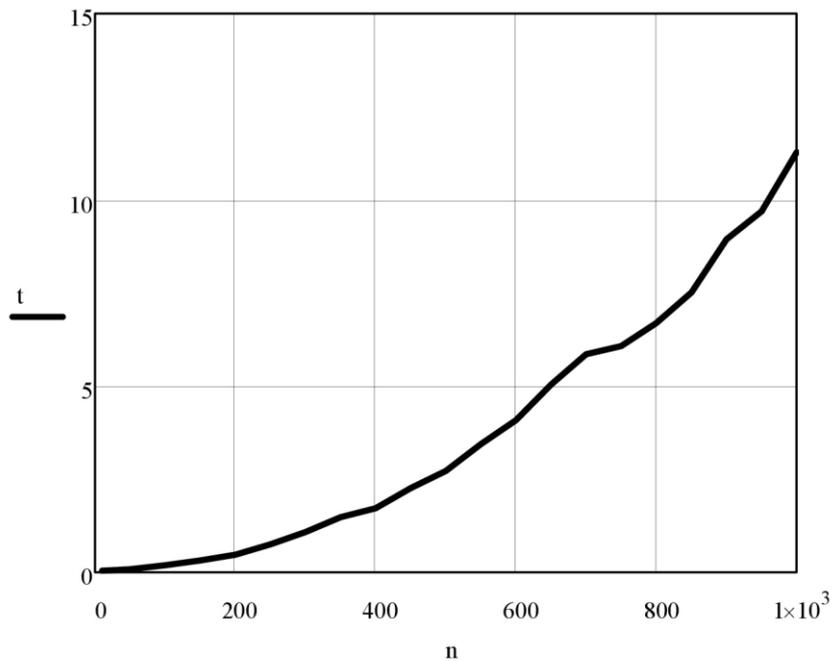


Рис.3. График зависимости времени разложения функции от числа гармоник в Mathcad

По данному графику можно сделать вывод, что время разложения функции в ряд Фурье в Mathcad экспоненциально зависит от числа гармоник.

3. Разложения функции в пакете MATLAB

Для разложения функции в ряд Фурье в пакете MATLAB была разработана программа, листинг которой представлен на рис. 4.

```

Fourier.m x +
1 - syms x k;
2 - pw = piecewise( x>=-pi & x<=-1,-1,x>-1 & x<1,x,x>=1 & x<=pi,1) ;
3 - tic
4 - a_0=1/pi*int(pw,x,-pi,pi);
5 - a_k=1/pi*int(pw*cos(k*x),x,-pi,pi);
6 - b_k=1/pi*int(pw*sin(k*x),x,-pi,pi);
7 - Sum_n= a_0/2 + symsum(a_k*cos(k*x)+b_k*sin(k*x),k,1,500);
8 - toc
9 - fplot(Sum_n,[-pi pi],'k','LineWidth',2)
10 - grid on

```

Рис. 4. Листинг программы в MATLAB

На рис. 4 x, k – символьные переменные; pw – исходная кусочно-заданная функция; функция tic определяет время начала разложения; a_0, a_k, b_k – коэффициенты Фурье, вычисляемые по формулам (2) – (4); Sum_n – разложение функции в ряд Фурье по формуле (5); функция toc выводит в диалоговом окне время, потраченное на разложение; функция $fplot$ строит график разложенной функции на отрезке $[-\pi; \pi]$.

На рис. 5 изображен график зависимости времени от заданного числа гармоник n в пакете MATLAB.

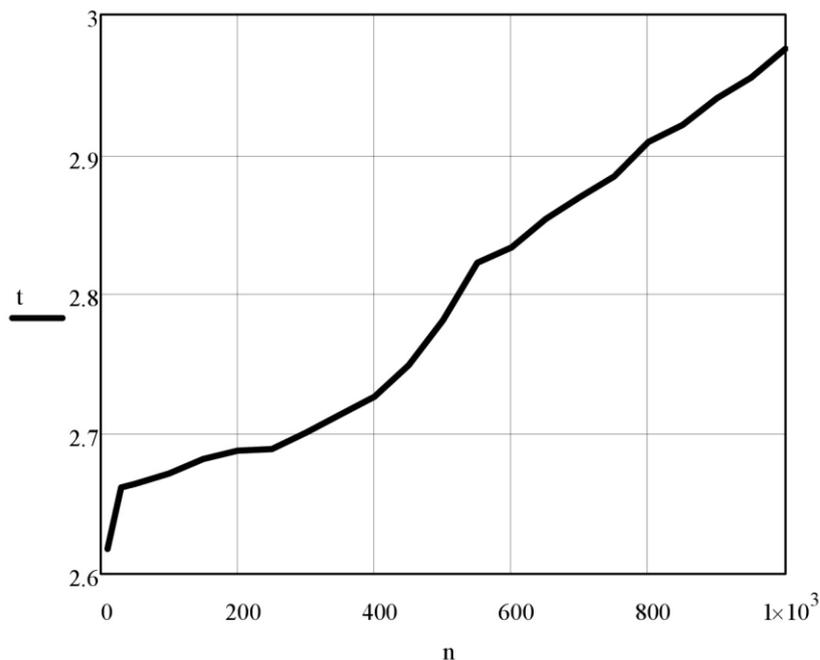


Рис. 5. График зависимости времени от числа гармоник в пакет MATLAB

Как видно по рис. 3 и рис. 5, при $n \leq 500$ Mathcad справляется с разложением функции в ряд Фурье быстрее, чем MATLAB. Но при $n > 500$ время разложения увеличивается экспоненциально, поэтому Mathcad начинает серьезно проигрывать пакету MATLAB. Так, например, при $n=1000$ гармоник Mathcad потребовалось 11,278 секунды, а MATLAB - всего 2.98 секунды.

На рис. 5 можно заметить, что при $n = 10$ MATLAB разлагает функцию за 2,61 сек. Мы считаем, что это связано с тем, что компилятор MATLAB сначала проверяет код на наличие синтаксических ошибок, а потом создаёт переменные и производит с ними расчёты. Но это не мешает ему работать быстрее с большим числом гармоник, по сравнению с Mathcad.

Заключение. Подчеркнем основные результаты проведенного исследования.

1. Разработана программа для разложения функции в ряд Фурье в пакете Mathcad.
2. С помощью неё продемонстрировано, как меняется время и качество разложения заданной функции в ряд Фурье в зависимости от числа гармоник.
3. Разработана программа для разложения функции в ряд Фурье в пакете MATLAB.
4. С помощью программ построены графики зависимостей времени разложения заданной функции от числа гармоник.
5. Установлено, что при $n \leq 500$ Mathcad справляется с разложением функции в ряд Фурье быстрее, чем MATLAB, а при $n > 500$ – наоборот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Привалов И.И. Ряды Фурье: учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 164 с.
2. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс. – М.: Айрис-пресс, 2006. – 608 с.

3. Медведева И.П., Багдужева Х.Н. Ряды: учебное пособие. – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 114 с.
4. Изосова Л.А., Изосов А.В., Грачёва Л.А. Элементы теории рядов: учебное пособие. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. – 111 с.
5. Пчельников О.О., Новоселов И.М. Разложение функции в ряд Фурье при помощи персонального компьютера // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. – № 1 (30). – С. 58-60.
6. Гусенков А.В., Лебедев В.Д., Соколов А.М., Шадриков Т.Е. Применение разложения в ряд Фурье при расчете режимов работы полупроводникового преобразователя // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XVIII Бенардосовские чтения): материалы Международной научно-технической конференции. 2015. – С. 120-123.
7. Мельникова Е.Б., Лямина Н.В. Выявление методом разложения в ряд Фурье биологических ритмов гидробионтных сообществ // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2013. – Т. 26 (65). – № 2. – С. 133-140.
8. Хазиев А.А., Лаушкин А.В., Постолиит А.В., Васильева Л.С., Борисов Б.С. Экспресс-анализ моторных масел на основе инфракрасной спектроскопии с разложением в ряд Фурье // Транспорт. Транспортное сооружение. Экология. 2017. – № 2. – С. 116-125.
9. Рыбалко Е.В., Хрипунова С.С., Полякова М.А., Извеков Ю.А. Прогнозирование механических характеристик углеродистой проволоки с использованием разложения в ряд Фурье // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. – Т. 1. – С. 159-162.
10. Носков С.И., Базилевский М.П. Построение регрессионных моделей с использованием аппарата линейно-булевого программирования. – Иркутск, 2018. – 176 с.
11. Базилевский М.П., Носков С.И. Программный комплекс построения линейной регрессионной модели с учётом критерия согласованности поведения фактической и расчетной траекторий изменения значений объясняемой переменной // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. – Т. 21, № 9 (128). – С. 37-44.
12. Базилевский М.П., Носков С.И. Формализация задачи построения линейно-мультипликативной регрессии в виде задачи частично-булевого линейного программирования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. – № 3 (55). – С. 101-105.
13. Баенхаева А.В., Базилевский М.П., Носков С.И. Моделирование валового регионального продукта Иркутской области на основе применения методики множественного оценивания регрессионных параметров // Фундаментальные исследования. 2016. – № 10-1. – С. 9-14.
14. Базилевский М.П., Врублевский И.П., Носков С.И., Яковчук И.С. Среднесрочное прогнозирование эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги // Фундаментальные исследования. 2016. – № 10-3. – С. 471-476.
15. Базилевский М.П. Сведение задачи отбора информативных регрессоров при оценивании линейной регрессионной модели по методу наименьших квадратов к задаче частично-булевого линейного программирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. – Т. 6, № 1 (20). – С. 108-117.
16. Базилевский М.П. Отбор информативных регрессоров с учётом мультиколлинеарности между ними в регрессионных моделях как задача частично-булевого линейного программирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. – Т. 6, № 2 (21). – С. 104-118.

17. Базилевский М.П. Синтез модели парной линейной регрессии и простейшей EIV-модели // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. – Т. 7, № 1 (24). – С. 170-182.

18. Базилевский М.П. Исследование двухфакторной модели полносвязной линейной регрессии // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. – Т. 7, № 2 (25). – С. 80-96.

19. Mathcad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathcad> (дата обращения 11.05.2020)

20. MATLAB[Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (дата обращения 11.05.2020)

REFERENCES

1. Privalov I.I. Rjady Fur'e: uchebnik dlja vuzov. – M.: Izdatel'stvo Jurajt. [Fourier series: textbook for universities], 2016, p. 164.

2. Pis'mennyj D.T. Konspekt lekcij po vysshej matematike: polnyj kurs. – M.: Ajris-press [Written D. T. Summary of lectures on higher mathematics: a complete course.], 2006, p. 608.

3. Medvedeva I.P., Bagdueva H.N. Rjady: uchebnoe posobie. – Irkutsk: IrGUPS [Series: training manuals], 2006, p. 114.

4. Izosova L.A., Izosov A.V., Grachjova L.A. Jelementy teorii rjadov: uchebnoe posobie. – Magnitogorsk: MGTU [Elements of string theory: textbook], 2009, p. 111.

5. Pchel'nikov O.O., Novoselov I.M. Razlozhenie funkicii v rjad Fur'e pri pomoshhi personal'nogo komp'jutera [Decomposition of a function into a Fourier series using a personal computer]. *Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohoz'jajstvennoj [Bulletin of the Izhevsk state agricultural Academy]*, 2012, No. 1 (30), pp. 58-60.

6. Gusenkov A.V., Lebedev V.D., Sokolov A.M., Shadrikov T.E. Primenenie razlozhenija v rjad Fur'e pri raschete rezhimov raboty poluprovodnikovogo preobrazovatelja [Application of Fourier series expansion in the calculation of operating modes of a semiconductor Converter]. *Sostojanie i perspektivy razvitija jelektro- i teplotehnologii (XVIII Benardosovskie chtenija): materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [State and prospects of electric and heat technology development (XVIII Benardos readings): materials of the International scientific and technical conference.]*, 2015, pp. 120-123.

7. Mel'nikova E.B., Ljamina N.V. Vyjavlenie metodom razlozhenija v rjad Fur'e biologicheskikh ritmov gidrobiontnyh soobshhestv [Detection of biological rhythms of hydrobiont communities by Fourier series decomposition.], *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Serija: Biologija, himija [Scientific notes of the Tauride national University named after V. I. Vernadsky. Series: Biology, chemistry.]*, 2013, T. 26 (65), No. 2, pp. 133-140.

8. Haziev A.A., Laushkin A.V., Postolit A.V., Vasil'eva L.S., Borisov B.S. Jekspress-analiz motornyh masel na osnove infrakrasnoj spektroskopii s razlozheniem v rjad Fur'e [Express analysis of motor oils based on infrared spectroscopy with Fourier series decomposition], *Transport. Transportnoe sooruzhenie. Jekologija, [Transport. Transport construction. Ecology.]*, 2017, No. 2, pp. 116-125.

9. Rybalko E.V., Hripunova S.S., Poljakova M.A., Izvekov Ju.A. Prognozirovanie mehanicheskikh harakteristik uglerodistoj provoloki s ispol'zovaniem razlozhenija v rjad Fur'e [Prediction of the mechanical characteristics of a carbon wire using the decomposition in Fourier series], *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovanija [Actual problems of modern science, technology and education.]*, 2017, T. 1, pp. 159-162.

10. Noskov S.I., Bazilevskij M.P. Postroenie regressionnyh modelej s ispol'zovaniem apparata linejno-bulevogo programmirovaniya. – Irkutsk [Construction of regression models using the technique of linear Boolean programming], 2018, p. 176.

11. Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Programmnyj kompleks postroenija linejnoy regressionnoj modeli s uchjotom kriterija soglasovannosti povedenija fakticheskoj i raschetnoj traektorij izmenenija znachenij ob#jasnjaemoj peremennoj [Software package for building a linear regression model based on the criterion of consistency of behavior of the actual and calculated trajectories of changes in the values of the variable being explained], *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk state technical University], 2017, T. 21, No. 9 (128), pp. 37–44.

12. Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Formalizacija zadachi postroenija linejno-mul'tiplikativnoj regressii v vide zadachi chastichno-bulevogo linejnogo programmirovaniya [Formalization of the problem of constructing linear multiplicative regression in the form of a partially Boolean linear programming problem], *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern technology. System analysis. Modeling], 2017, No. 3 (55), pp. 101-105.

13. Baenhaeva A.V., Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Modelirovanie valovogo regional'nogo produkta Irkutskoj oblasti na osnove primenenija metodiki mnozhestvennogo ocenivaniya regressionnyh parametrov [Modeling of the gross regional product of the Irkutsk region based on the use of multiple estimation methods for regression parameters], *Fundamental'nye issledovanija* [Fundamental study], 2016, No. 10-1, pp. 9-14.

14. Bazilevskij M.P., Vrubevskij I.P., Noskov S.I., Jakovchuk I.S. Srednesrochnoe prognozirovanie jekspluatacionnyh pokazatelej funkcionirovanija Krasnojarskoj zheleznoj dorogi [Medium-term forecasting of operational parameters for the functioning of the Krasnoyarsk railway], *Fundamental'nye issledovanija* [Fundamental study], 2016, No. 10-3, pp. 471-476.

15. Bazilevskij M.P. Svedenie zadachi otbora informativnyh regressorov pri ocenivanii linejnoy regressionnoj modeli po metodu naimen'shih kvadratov k zadache chastichno-bulevogo linejnogo programmirovaniya [Reducing the problem of selecting informative regressors when evaluating a linear regression model using the least squares method to the problem of partially Boolean linear programming], *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization, and information technology.], 2018, T. 6, No. 1 (20), pp. 108-117.

16. Bazilevskij M.P. Otbor informativnyh regressorov s uchjotom mul'tikollinearosti mezhdu nimi v regressionnyh modeljah kak zadacha chastichno-bulevogo linejnogo programmirovaniya [Selection of informative regressors taking into account multicollinearity between them in regression models as a problem of partially Boolean linear programming], *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization, and information technology.], 2018, T. 6, No. 2 (21), pp. 104-118.

17. Bazilevskij M.P. Sintez modeli parnoj linejnoy regressii i prostejshej EIV-modeli [Synthesis of the paired linear regression model and the simplest EIV model], *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization, and information technology.], 2019, T.7, No. 1 (24), pp. 170-182.

18. Bazilevskij M.P. Issledovanie dvuhfaktornoj modeli polnosvjaznoj linejnoy regressii [Investigation of a two-factor model of fully connected linear regression], *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization and information technology], 2019, T. 7, No. 2 (25), pp. 80-96.

19. Mathcad [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathcad> (accessed 11.05.2020)

20. MATLAB [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (accessed 11.05.2020)

Информация об авторах

Нифедов Максим Александрович - студент гр. ПИ.1-19-2, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ziggy.zen@yandex.ru

Базилевский Михаил Павлович - к. т. н., доцент кафедры «Математика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mik2178@yandex.ru

Authors

Maksim Aleksandrovich Nifedov – student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ziggy.zen@yandex.ru

Mikhail Pavlovich Bazilevskiy – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mik2178@yandex.ru

Для цитирования

Нифедов М.А., Базилевский М.П. Сравнение времени разложения периодической функции в ряд Фурье в пакетах Mathcad и MATLAB [Электронный ресурс] / М.А. Нифедов, М.П. Базилевский // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №3(9). — Режим доступа: <http://mnv.ircgups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 22.06.2020)

For citation

Nifedov M.A., Bazilevskiy M.P. *Sravnenie vremeni razlozhenija periodicheskoj funkcii v rjad Fur'e v paketah Mathcad i MATLAB* [A comparison of the time needed for Fourier expansion of a periodic function in the Mathcad and MATLAB packages]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 3(9). [Accessed 22/06/20]