

Д.В. Карбушева¹, М.П. Базилевский¹

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММ MICROSOFT EXCEL И LPSOLVE IDE НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Аннотация. Целью данной работы является проведение сравнительного анализа программ Microsoft Excel и LPSolve IDE на примере решения транспортных задач большой размерности. Рассмотрена технология решения транспортных задач в программах Microsoft Excel и LPSolve IDE. Установлено, что Excel позволяет решать транспортные задачи с общим количеством переменных, не превосходящим 200. Следовательно, Excel не может считаться программным обеспечением, предназначенным для решения транспортных задач большой размерности. В Excel и LPSolve были проведены вычислительные эксперименты. Оказалось, что даже при решении задач малой размерности, программа Excel уступает по производительности пакету LPSolve. Для автоматизации процесса формирования математической модели в LPSolve была разработана специальная программа-преобразователь. С помощью неё было уменьшено время на ввод транспортных задач большой размерности в LPSolve. Пакет LPSolve справился с решением задачи размерности $330 * 330$, в которой 108900 переменных и 660 ограничений, всего за 245,75 секунд, поэтому он может считаться эффективным программным обеспечением, предназначенным для решения транспортных задач большой размерности.

Ключевые слова: линейное программирование, транспортная задача большой размерности, Microsoft Excel, LPSolve IDE.

D.V. Karbusheva¹, M.P. Bazilevskiy¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROSOFT EXCEL AND LPSOLVE IDE PROGRAMS ON THE EXAMPLE OF SOLVING TRANSPORT PROBLEMS OF LARGE DIMENSIONS

Abstract. The purpose of this work is to conduct a comparative analysis of Microsoft Excel and LPSolve IDE programs using the example of solving transport problems of large dimensions. The technology for solving transport problems in Microsoft Excel and LPSolve IDE programs is considered. It has been established that Excel allows solving transport problems with a total number of variables not exceeding 200. Therefore, Excel cannot be considered a software designed for solving transport problems of large dimensions. Computational experiments were performed in Excel and LPSolve. It turned out that even when solving small-scale problems, the Excel program is inferior in performance to the LPSolve package. To automate the process of forming a mathematical model, a special converter program was developed in LPSolve. With the help of it, the time for entering large-scale transport problems in LPSolve was reduced. The LPSolve package coped with the solution of the problem of dimension $330 * 330$, in which 108900 variables and 660 constraints, in just 245.75 seconds, so it can be considered an efficient software designed for solving transport problems of large dimensions.

Keywords: linear programming, transport problem of large dimensions, Microsoft Excel, LPSolve IDE.

Введение

В настоящее время методы оптимизации находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Задача оптимизации состоит в нахождении максимума или минимума целевой функции с учётом ограничений на переменные. Теорию и методы решения задач оптимизации изучает математическое программирование [1,2]. Частным видом математического программирования является линейное программирование, когда целевая функция и все ограничения линейны. Математическое программирование может успешно применяться при построении регрессионных моделей (см., например, [3–7]).

Одной из формулировок задач линейного программирования является транспортная задача (ТЗ). Пусть дано n потребителей некоторого продукта с потребностями b_1, b_2, \dots, b_n . Продукт производится m предприятиями в количествах a_1, a_2, \dots, a_m (запасы). Пусть c_{ij} – затраты, требуемые на доставку единицы продукта от i -го производителя к j -му потребителю, а x_{ij} – соответствующее количество продукта. Тогда математическая модель ТЗ имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Заметим, что в данной работе речь пойдет только о закрытой модели ТЗ (когда выполняется равенство (4)), а число потребителей и производителей будет одинаковым, т.е. $n = m$.

ТЗ (1) – (5) является однокритериальной. В работе [8] можно найти формулировку двухкритериальной ТЗ.

Понятно, что решение ТЗ представляет собой последовательное повторение многочисленных арифметических операций, поэтому в настоящее время для этих целей используется соответствующее программное обеспечение. При этом, как отмечено в статье ученых Российского университета транспорта за 2020 год [9], научный интерес вызывает способность программ справляться с ТЗ большой размерности. Данной тематике в настоящее время посвящено мало работ. Нам удалось встретить лишь одну статью [10], в которой сообщается об использовании для решения задач большой размерности пакетов MathCAD и Microsoft Excel. В качестве примеров таких задач приводятся задачи размерности 20×25 (MathCAD) и 10×20 (Excel). Но вряд ли можно считать эти размерности большими. В результате проведенного анализа была сформулирована цель: провести сравнительный анализ программ Microsoft Excel и LPSolve IDE на примере решения ТЗ большой размерности.

1. Технологии решения ТЗ в программах Microsoft Excel и LPSolve IDE

Допустим, что требуется решить ТЗ, представленную математической моделью

$$5x_{11} + 7x_{12} + 2x_{13} + 3x_{21} + 9x_{22} + 5x_{23} + 2x_{31} + 9x_{32} + 4x_{33} \rightarrow \min,$$

$$5x_{11} + 3x_{21} + 2x_{31} = 30,$$

$$7x_{12} + 9x_{22} + 9x_{32} = 50,$$

$$2x_{13} + 5x_{23} + 4x_{33} = 40,$$

$$5x_{11} + 7x_{12} + 2x_{13} = 30,$$

$$3x_{21} + 9x_{22} + 5x_{23} = 40,$$

$$2x_{31} + 9x_{32} + 4x_{33} = 50,$$

$$x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33} \geq 0.$$

В Microsoft Excel решение ТЗ организуется в два этапа. На первом этапе (рис. 1) сначала необходимо ввести в таблицу запасы (B4:B6), потребности (C7:E7) и матрицу затрат

27 (C4:E6), а потом сформировать матрицу перевозок (C10:E12), состоящую, например, из всех нулей, и с использованием функции СУММ зарезервировать ячейки для суммарных запасов (B10:B12) и потребностей (C13:E13), а с помощью функции СУММПРОИЗВ – ячейку C15 для целевой функции.

C15 fx =СУММПРОИЗВ(C4:E6;C10:E12)					
	A	B	C	D	E
1	Исходные данные				
2			Потребитель		
3	Поставщик	Запасы	b1	b2	b3
4	a1	30	5	7	2
5	a2	40	3	9	5
6	a3	50	2	9	4
7		потребности	30	50	40
8	Матрица перевозок				
9			b1	b2	b3
10	a1	0	0	0	0
11	a2	0	0	0	0
12	a3	0	0	0	0
13			0	0	0
14					
15			min	0	

Рис. 1. Организация решения ТЗ в Excel (первый этап)

На втором этапе (рис. 2) с помощью надстройки «Поиск решения» нужно указать ячейку с целевой функцией, выбрать ячейки с переменными, настроить ограничения, задать метод решения и нажать кнопку «Найти решение».

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: Максимум Минимум Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения
 Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Рис. 2. Организация решения ТЗ в Excel (второй этап)

LPSolve IDE – решатель задач частично-целочисленного линейного программирования [11]. Для решения ТЗ в LPSolve требуется ввести в главном окне программы математическую модель задачи (рис. 3) и нажать кнопку «Solve».

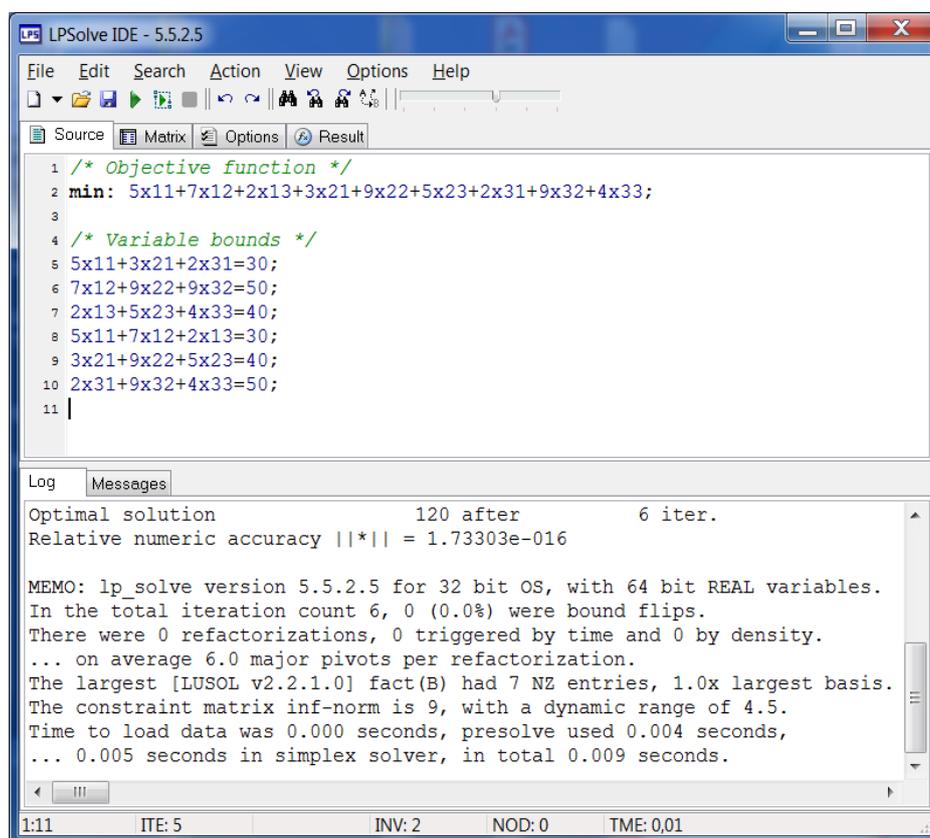


Рис. 3. Организация решения ТЗ в LPSolve IDE

2. Описание экспериментов

Для проведения сравнительного анализа Excel и LPSolve проводились следующие эксперименты. С помощью Excel случайно генерировались матрицы затрат размерности $n \times n$, потребности и запасы. Элементы матриц затрат генерировались в диапазоне от 1 до 10, а потребности и запасы в диапазоне от 10 до 100. Если не выполнялось условие баланса, то приходилось уравнивать запасы и потребности вручную. Затем для каждой сгенерированной матрицы решалась ТЗ в программах Excel и LPSolve. При этом фиксировалось количество итераций и время решения задачи. Настройки программ были выбраны по умолчанию.

Важно отметить, что все эксперименты проводились на персональном компьютере, имеющем следующие характеристики:

- процессор: Intel Pentium CPU B960;
- тактовая частота: 2200 МГц;
- объем оперативной памяти: 2 Гб.

3. Результаты решения ТЗ большой размерности в Microsoft Excel

Для проведения экспериментов в Excel сначала нужно было определиться с версией программы. Оказывается, что, например, в Microsoft Excel 2007 отсутствует симплекс-метод решения ТЗ. Вместо него реализованы численные методы Ньютона и сопряженных градиентов, которые сильно зависят от начальных приближений и не всегда приводят к получению оптимального решения задачи. Поэтому для проведения экспериментов был

выбран Microsoft Excel 2010, содержащий в себе процедуры для решения ТЗ симплекс-методом.

В ходе проведения экспериментов в Excel было установлено, что в этой программе имеется ограничение на количество переменных. Их максимальное количество не должно превышать 200. Поэтому в Excel наибольшая размерность ТЗ составила 14×14 . Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты решения ТЗ в Excel

Размерность ТЗ	Число итераций	Время решения, секунда
3*3	7	0,031
4*4	11	0,046
5*5	19	0,047
6*6	24	0,078
7*7	30	0,094
8*8	43	0,137
9*9	52	0,140
10*10	57	0,184
11*11	69	0,187
12*12	86	0,219
13*13	106	0,265
14*14	153	0,358

Таким образом, Excel эффективно справился с решением ТЗ размерности 14×14 (всего за 0,358 сек). Но из-за существующего ограничения на количество переменных эта программа не может считаться программным обеспечением, предназначенным для решения ТЗ большой размерности.

4. Результаты решения ТЗ большой размерности в LPSolve IDE

При проведении экспериментов в LPSolve сразу пришлось столкнуться с проблемой – как вводить задачи большой размерности в программу? Поскольку вручную даже для ТЗ размерности 50×50 (2500 переменных и 100 ограничений) на это потребовалось бы очень много времени и внимания. Для решения этой проблемы в среде программирования Delphi была разработана специальная программа (преобразователь), автоматизирующая процесс перевода транспортной таблицы из Excel в синтаксис LPSolve. Интерфейс этой программы представлен на рис. 4.

Разработанная программа функционирует по следующему алгоритму. Сначала в Excel создается транспортная таблица (пример приведен на рис. 5), содержащая запасы, потребности и матрицу затрат. Как видно, матрица затрат должна располагаться в верхнем левом углу, запасы – справа, потребности – снизу, а в нижней правой ячейке требуется установить 0. Затем эту таблицу нужно скопировать в стандартный текстовый документ с расширением .txt. После чего в программе-преобразователе нажать кнопку «Загрузить данные» и выбрать созданный текстовый документ. Далее нужно нажать кнопку «Задача для LPSolve». В результате в текстовом поле программы будет сформирована математическая модель ТЗ. Нужно просто скопировать её в главное окно пакета LPSolve.

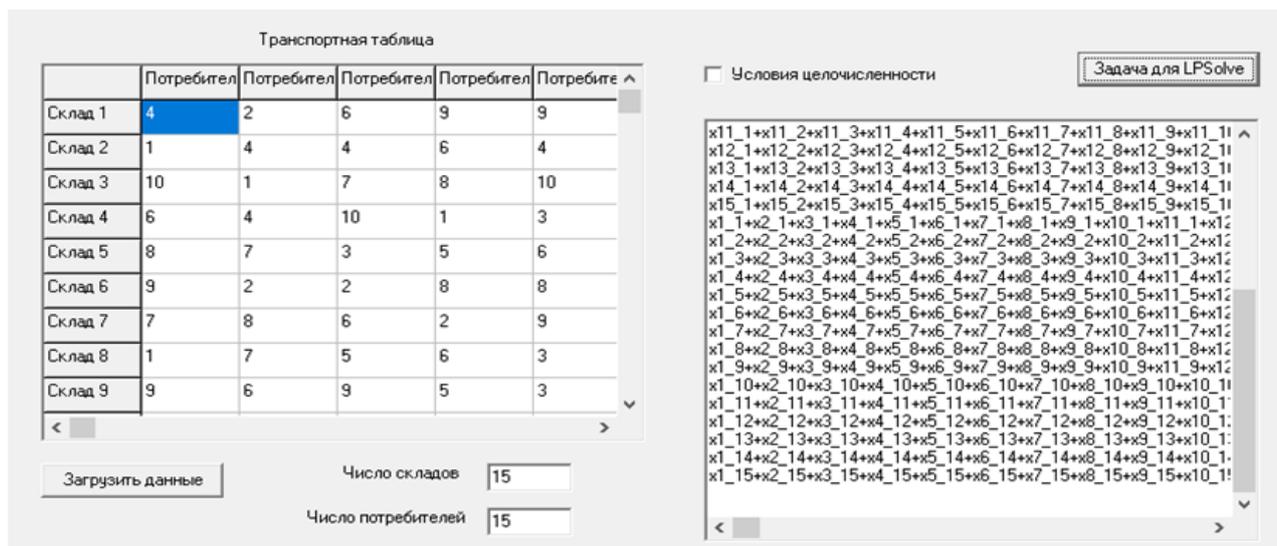


Рис. 4. Преобразователь транспортной таблицы из Excel на язык LPSolve

	5	7	2	30
	3	9	5	40
	2	9	4	50
	30	50	40	0

Рис. 5. Транспортная таблица в Excel для преобразователя

Результаты экспериментов в LPSolve представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты решения ТЗ в LPSolve

Размерность ТЗ	Число итераций	Время решения, секунда
3*3	6	0,042
4*4	8	0,042
5*5	7	0,025
6*6	10	0,01
7*7	16	0,026
8*8	15	0,029
9*9	21	0,031
10*10	22	0,03
11*11	26	0,032
12*12	31	0,033
13*13	28	0,035
14*14	30	0,034
15*15	42	0,037
25*25	68	0,055
50*50	153	0,313
100*100	501	2,488
150*150	1013	11,317
200*200	2340	40,506
250*250	5481	108,249
300*300	17500	333,758
330*330	55714	781,045

Прокомментируем, почему в таблице 2 максимальная размерность ТЗ составила 330*330. Дело в том, что разработанная программа-преобразователь импортирует данные из

текстового файла с расширением .txt. А в таких файлах максимальная длина строки составляет 1024 символа. Поэтому сгенерированная в Excel задача размерности 1000*1000 просто не помещается целиком в строки текстового файла, происходят автоматические переносы строк. В результате программа-преобразователь не может корректно считать информацию из текстового файла. Для ТЗ размерности 330*330 длина самой большой последней строки составляет 1015 символов. В дальнейшем, для того чтобы была возможность решать в LPSolve ТЗ размерности, например, 1000*1000, планируется вместо текстовых файлов использовать прямое считывание с листов Excel.

Таким образом, LpSolve, в отличие от Excel, справился даже с ТЗ размерности 330*330, в которой 108900 переменных и 660 ограничений. На это потребовалось 781,045 сек. Как видно по таблицам 1 и 2, программа Excel уступает по производительности пакету LPSolve. Например, для ТЗ размерности 14*14 в Excel уходит 0,358 сек, а в LPSolve всего 0,034 сек.

Отметим, что ТЗ большой размерности были также решены на более мощном компьютере с 4-х ядерным процессором Intel Core i5-4670 с тактовой частотой 3400 МГц и объемом оперативной памяти 8 Гб. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты решения ТЗ в LPSolve на более мощном компьютере

Размерность ТЗ	Число итераций	Время решения, секунда
100*100	501	0,632
150*150	1013	3,000
200*200	2340	10,092
250*250	5481	29,723
300*300	17500	92,574
330*330	55714	245,752

По таблице 3 видно, что на более мощном компьютере время решения ТЗ для всех размерностей уменьшилось, а для самой большой размерности 330*330 оно составило всего 245,752 сек.

Заключение. Подчеркнем основные результаты проведенного исследования.

1. Технология решения задач малой размерности в пакете LPSolve гораздо комфортнее, чем в Excel. К тому же LPSolve, в отличие от Excel, является бесплатной программой.

2. Оказалось, что программа Excel позволяет решать ТЗ с общим количеством переменных, не превосходящим 200. Таким образом, Excel не может считаться программным обеспечением, предназначенным для решения ТЗ большой размерности.

3. Даже при решении задач малой размерности, программа Excel уступает по производительности пакету LPSolve. Например, для решения ТЗ размерности 14*14 в Excel ушло 0,358 сек., а в LPSolve всего 0,034 сек. Это примерно в 10 раз быстрее.

4. Пакет LPSolve может считаться эффективным программным обеспечением, предназначенным для решения ТЗ большой размерности, поскольку на современном персональном компьютере легко справился с решением ТЗ размерности 330*330 всего за 245,752 сек.

5. Ввод данных большой размерности в LPSolve является весьма трудоемким процессом. Однако, несмотря на это, разработанная программа-преобразователь позволяет легко справляться с этой проблемой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гефан Г.Д. Экономико-математические методы и модели. Курс математики, ориентированный на использование компьютера. Ч.1. Некоторые методы исследования

операций : учеб. пособие для студентов экономических специальностей. – Иркутск : ИрГУПС, 2010. – 208 с.

2. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Холод Н.И. Высшая математика. Математическое программирование. – СПб.: Издательство "Лань", 2013. – 352 с.

3. Носков С.И., Базилевский М.П. Построение регрессионных моделей с использованием аппарата линейно-булевого программирования. – Иркутск, 2018. – 176 с.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Базилевский М.П. Отбор оптимального числа информативных регрессоров по скорректированному коэффициенту детерминации в регрессионных моделях как задача частично целочисленного линейного программирования // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020. – № 2. – С. 41-54.

8. Носков С.И., Рязанцев А.И. Двухкритериальная транспортная задача // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13. – № 2. – С. 59-63.

9. Сперанский Д.В., Горелик А.В., Орлов А.В. Задачи оптимизации ресурсов в области технической эксплуатации систем автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 184-203.

10. Фурина К.О. О решении задач большой размерности в пакете Mathcad на примере транспортной задачи // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 1749.

11. LPSolve IDE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sourceforge.net/projects/lpsolve/> (дата обращения 31.05.2021)

REFERENCES

1. Gefan G.D. *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli. Kurs matematiki, orientirovanny na ispol'zovanie komp'yutera. Ch.1. Nekotorye metody issledovaniya operatsiy : ucheb. posobie dlya studentov ekonomicheskikh spetsial'nostey* [Economic and mathematical methods and models. Computer oriented mathematics course. Part 1. Some Operations Research Methods: A Study Guide for Economics Students]. Irkutsk, IrGUPS, 2010. 208 p.

2. Kuznetsov A.V., Sakovich V.A., Kholod N.I. *Vyssshaya matematika. Matematicheskoe programmirovaniye* [Higher mathematics. Mathematical programming]. SPb., Izdatel'stvo "Lan", 2013. 352 p.

3. Noskov S.I., Bazilevskij M.P. *Postroenie regressionnyh modelej s ispol'zovaniem apparata linejno-bulevogo programmirovaniya* [Building regression models using the linear-Boolean programming apparatus]. Irkutsk, IrGUPS, 2018. 176 p.

4. Bazilevskiy M.P., Noskov S.I. *Formalizatsiya zadachi postroeniya lineynomul'tiplikativnoy regressii v vide zadachi chastichno-bulevogo lineynogo programmirovaniya* [Formalization of the problem of constructing linear multiplicative regression in the form of a

partial boolean linear programming problem]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2017, no. 3, vol. 55, pp. 101-105.

5. Bazilevskij M.P. *Otbor informativnyh regressorov s uchetom mul'tikollinearnosti mezhdumimi v regressionnyh modeljah kak zadacha chastichno-bulevogo linejnogo programmirovaniya* [Selection of informative regressors taking into account the multicollinearity between them in regression models as a partial Boolean linear programming problem]. *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization and information technology]. 2018, no. 2, vol. 21, pp. 104-118.

6. Bazilevskij M.P. *Svedenie zadachi otbora informativnyh regressorov pri ocenivanii linejnoy regressionnoj modeli po metodu naimen'shikh kvadratov k zadache chastichno-bulevogo linejnogo programmirovaniya* [Reduction of the problem of selection of informative regressors when estimating a linear regression model using the least squares method to a partial boolean linear programming problem]. *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii* [Modeling, optimization and information technology]. 2018, no. 1, vol. 20, pp. 108-117.

7. Bazilevskij M.P. *Otbor optimal'nogo chisla informativnyh regressorov po skorrektirovannomu koeficientu determinacii v regressionnyh modeljah kak zadacha chastichno celochislennogo linejnogo programmirovaniya* [Selection of the optimal number of informative regressors by the corrected coefficient of determination in regression models as a partial integer linear programming problem]. *Prikladnaja matematika i voprosy upravlenija* [Applied Mathematics and Management Issues]. 2020, no. 2, pp. 41-54.

8. Noskov S.I., Ryazantsev A.I. *Dvukhkriterial'naya transportnaya zadacha* [Two-criteria transport problem]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport* [T-Comm: Telecommunications and Transportation]. 2019, vol. 13, no. 2, pp. 59-63.

9. Speranskiy D.V., Gorelik A.V., Orlov A.V. *Zadachi optimizatsii resursov v oblasti tekhnicheskoy ekspluatatsii sistem avtomatiki i telemekhaniki* [Resource optimization tasks in the field of technical operation of automation and telemechanics systems]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation]. 2020, vol. 6, no. 2, pp. 184-203.

10. Furina K.O. *O reshenii zadach bol'shoy razmernosti v pakete Mathcad na primere transportnoy zadachi* [On solving large-scale problems in the Mathcad package using the example of a transport problem]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015, no. № 1-1, pp. 1749.

11. LPSolve IDE [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sourceforge.net/projects/lpsolve/> (accessed 31.05.2021)

Информация об авторах

Диана Витальевна Карбушева - студент гр. Э-20-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: karbusheva.02@mail.ru

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

Authors

Diana Vital'evna Karbusheva – student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: karbusheva.02@mail.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

Карбушева Д.В., Базилевский М.П. Сравнительный анализ программ Microsoft Excel и LPSolve IDE на примере решения транспортных задач большой размерности [Электронный ресурс] // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. 2021. – №3(11). – С. 25-34 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).25-34 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/311-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.09.2021)

For citation

Karbusheva D.V., Bazilevskiy M.P. Comparative analysis of Microsoft Excel and LPSolve IDE programs on the example of solving transport problems of large dimensions // *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 3(11). P. 25-34. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).25-34. [Accessed 01/09/21]