

Г.М. Губаль

Луцький національний технічний університет

**ОПТИМАЛЬНА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ ТАБЛИЦЬ І ВИЗНАЧНИКІВ
МАТРИЦЬ У СИСТЕМІ LATEX**

У статті здійснено оптимальну побудову математичних таблиць і визначників матриць у системі LaTeX. Створено нові команди (макриси), які будують математичні таблиці, в яких значення першого рядка автоматично заповнюються і здійснюється умовний друк значень другого рядка; записують введені матриці в пам'ять та виводять записані матриці; генерують визначники матриць шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця.

Ключові слова: LaTeX, оптимальна побудова, макриси, визначник, матриця.

H.M. Hubal

**OPTIMAL CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL TABLES AND DETERMINANTS
OF MATRICES IN THE LATEX SYSTEM**

In this article, optimal construction of mathematical tables and determinants of matrices in the LaTeX system is carried out. New macros are created that construct mathematical tables in which the values of the first row are automatically filled and conditional printing of the values of the second row is carried out; write the inputted matrices into memory and output the written matrices; generate matrix determinants by excluding a given row and a given column.

Keywords: LaTeX, optimal construction, macros, determinant, matrix.

Постановка проблеми. У системі LaTeX пакети `\ifthen`, `\etoolbox`, `\pgffor`, `\nicematrix` надають колекцію засобів програмування для створення класів документів і пакетів системи LaTeX. Пакети `\ifthen`, `\etoolbox`, `\pgffor`, `\nicematrix` створюють інтерфейси системи LaTeX для деяких основних команд, вбудованих у програмне забезпечення, пов'язаних з e-TeX та іншими системами [1-5]. Пакет `\nicematrix` створює pgf вузли під комірками таблиць, які використовуються для розробки нових функцій. Координати цих вузлів записуються в `\aux` файл і використовуються в наступній компіляції. Пакет `\pgffor` використовує команди, які виконуються з повтореннями і команди, які зупиняють ці повторення. Це особливо важливо для реалізації матриць, таблиць, обчислень та графіки [5-8].

Автоматизація повторюваних завдань з налаштовуваною функціональністю досягається створенням нових команд (макросів) з використанням засобів програмування пакетів системи LaTeX [9-11].

У цій статті створимо нові команди (макриси), які:

- будують математичні таблиці на прикладі таблиць для геометричного розподілу дискретної випадкової величини, заповнюючи рядки;
- записують введені матриці в пам'ять та виводять записані матриці;
- генерують визначники матриць шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Малі програми, які заощаджують час при створенні кодів і їх компіляції реалізовано у роботах [10-16]. Ці програми використовують реальні дані з LaTeX механізму. Щоб підвищити ефективність розробки тренувальних матеріалів для науки і освіти [17, 18] створено команди (макриси) для тестів [19]. Команди (макриси) спрощують наукові дослідження і створення математичних текстів [20-31]. LaTeX команди, які потребують змінної кількості аргументів також ефективні для реалізації обчислень.

Виклад основного матеріалу. Покажемо, як у LaTeX документі `\article` автоматично створювати таблиці, в яких значення першого рядка автоматично заповнюються і здійснюється умовний друк значень другого рядка.

Створимо таблицю, наприклад, для геометричного розподілу дискретної випадкової величини X . У LaTeX документі `\article` підключимо пакет `\ifthen`. Для автоматизації і спрощення створення такої таблиці створимо нову команду `\dtabl`, яка автоматично заповнить перший рядок таблиці, а значення другого рядка автоматично заповнить, якщо задана умова вірна. Якщо ця умова нерівна, то значення другого рядка можна ввести.

Нехай таблиця для геометричного розподілу дискретної випадкової величини X складається з двох рядків і восьми стовпців. Нова команда `\dtabl` містить сім аргументів. У цій команді створимо таблицю з заголовком `\Geometric distribution of a discrete random variable` (Геометричний розподіл дискретної випадкової величини).

У таблиці задамо розгалуження `\ifthenelse` з перевіркою введення першого числового значення ймовірності дискретної випадкової величини X . У першій вітці розгалуження створимо нову глобальну команду `\valrow` за допомогою команди `\gdef`, яка містить позначення ймовірностей p , аргумент `#1` і значення ймовірностей `0.1 0.09 0.081 0.0729 ... 0.1·0.9k-1 ...`. У другій вітці розгалуження створимо нову глобальну команду `\valrow` за допомогою команди `\gdef`, яка містить позначення ймовірностей p і приймає аргументи `#1 #2 #3 #4 #5 #6 #7`, які необхідно ввести. Після проходження перевірки в розгалуженні `\ifthenelse` викличемо створену команду `\valrow`, яка заповнить другий рядок таблиці значеннями ймовірностей.

Якщо умова в розгалуженні `\ifthenelse` вірна, то другий рядок таблиці автоматично заповниться значеннями ймовірностей `0.1 0.09 0.081 0.0729 ... 0.1·0.9k-1 ...`. Якщо умова в розгалуженні `\ifthenelse` невірна, то другий рядок таблиці заповниться значеннями ймовірностей, які ми введемо, наприклад, значеннями `0.2 0.18 0.162 0.1458 ... 0.2·0.9k-1 ...`.

Наведемо програмний код для створення таблиці для геометричного розподілу дискретної випадкової величини X за допомогою нової команди `\dtabl` (рис. 1).

```
\documentclass{article}

\usepackage{ifthen}

\newcommand{\dtabl}[7]{%
\centering
\begin{table}
\centering
\caption{Geometric distribution of a discrete random
variable}
\hspace{4cm}
\begin{tabular}{|c|*{9}{c|}}
\hline
\(\X\)&1&2&3&4&\ldots &\(k\)&\ldots \\
\hline
\noalign{%
\ifthenelse{\equal{#1}{0.1}}{%
\gdef\valrow{\(p\)&#1&0.09&0.081&0.0729&\ldots
&\(0.1\cdot 0.9^{k-1}\)&\ldots \\ \hline}}%
{\gdef\valrow{\(p\)&#1&#2&#3&#4&#5&#6&#7\\ \hline}}%
}%
\valrow
\end{tabular}
\end{table}
}%
```

Рис. 1. Команда для створення таблиці для геометричного розподілу дискретної випадкової величини

У тілі LaTeX документа викличемо створену команду `\dtabl` двічі: перший раз ввівши аргумент `0.1`, а другий раз – аргументи `0.2 0.18 0.162 0.1458 ... 0.2·0.9k-1 ...` (рис. 2).

```
\begin{document}

\dtabl{0.1}

\phantom{text}

\hspace{1mm}

\dtabl{0.2}{0.18}{0.162}{0.1458}{\ldots}{\(\(0.2\cdot
0.9^{k-1}\)\)}{\ldots}

\end{document}
```

Рис. 2. Звертання до створеної команди у тілі LaTeX документа

Наведений програмний код (рис. 1 і рис. 2) генерує результат, представлений на рис. 3.

Table 1: Geometric distribution of a discrete random variable

X	1	2	3	4	...	k	...
p	0.1	0.09	0.081	0.0729	...	$0.1 \cdot 0.9^{k-1}$...

Table 2: Geometric distribution of a discrete random variable

X	1	2	3	4	...	k	...
p	0.2	0.18	0.162	0.14580	...	$0.2 \cdot 0.9^{k-1}$...

Рис. 3. Результат, згенерований програмним кодом

Таким чином, у LaTeX документі `article` можна використовувати створену команду `\dtabl` для автоматичного створення таблиць, в яких значення першого рядка автоматично заповнюються, а значення другого рядка автоматично заповнюються, якщо задана умова вірна. Якщо ця умова невірна, то значення другого рядка можна ввести.

У команді `\dtabl` можна змінити число рядків і стовпців таблиці.

Умовний друк другого рядка або введення другого рядка з клавіатури і його друк можна застосувати, наприклад, для оптимізації задачі розрахунку цін при деякій кількості комбінацій різних продуктів (інгредієнтів), які можуть бути задані (можуть бути вказані в угоді). Для кожної комбінації розраховується окрема специфікація (робоча таблиця ціноутворення).

Зауважимо, що під комбінацією розуміється суміш заданих різних продуктів у певних вагових частках в кілограми готової кінцевої продукції. При зміні вагових часток змінюється комбінація.

Маючи можливість умовного друку якої-небудь комбінації в другому рядку таблиці залежно від якої-небудь умови, наприклад, ціни, можемо для вибраної ціни (з робочої таблиці ціноутворення) отримати роздрукованим другий рядок таблиці.

При цьому в першому рядку таблиці будуть роздруковані назви продуктів, а під назвами в другому рядку будуть роздруковані вагові вмісти відповідних продуктів.

Якщо для даної комбінації необхідно поставити іншу ціну, ніж та, що є в робочій таблиці ціноутворення, то тоді треба вводити з клавіатури цю комбінацію з новою ціною в другий рядок таблиці. Після цього виконається друк першого і другого рядків таблиці.

Роздруківка першого і другого рядків таблиці потрібна, щоб споживач (покупець) побачив назву і кількісний склад різних продуктів (інгредієнтів) в готовому кінцевому продукті і його ціну.

Згенеруємо матриці, ввівши їх в пам'ять і вивівши їх. Згенеруємо визначники матриць шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця (номери рядка і стовпця, які виключаємо, вводим з клавіатури).

Для цього у LaTeX документі `article` підключимо пакети `etoolbox`, `pgffor`, `nicematrix`.

Оголосимо змінну `\pamem` для збереження імені матриці. Тоді оголосимо лічильники `icol` та `igow` для роботи з елементами матриці.

Створимо нову команду `\entrsn`, яка запише кожен елемент матриці, введений з клавіатури в комірку пам'яті. Ця команда має один аргумент, який необхідно ввести. Цей аргумент очікує елемент матриці.

Створимо нову команду `\rowsn`, яка запише рядок матриці в пам'ять за допомогою створеної нової команди `\entrsn`. Один аргумент цієї команди, який необхідно ввести, очікує рядок матриці.

Створимо нову команду `\inputm`, яка запише введену матрицю в пам'ять. Два аргументи, які очікує ця команда – це ім'я і рядки матриці. У цій команді оголошуємо ім'я матриці і встановлюємо лічильник рядків в нуль. Вводим елементи матриці по рядках. Тоді зберігаємо в пам'яті ширину і висоту матриці.

Наведемо програмний код нових команд для введення матриці (рис. 4).

Створимо нові команди `\getheightm` і `\getwidthm`, які повертають висоту і ширину матриці за допомогою команди `\csuse`. Ці команди мають один аргумент — ім'я матриці, яке треба ввести.

Створимо нову команду `\getm`, яка виводить матрицю. Аргумент цієї команди необхідно ввести, і він представляє ім'я матриці. У цій команді ініціалізуємо порожній рядок, який буде містити елементи матриці.

Для цього оголосимо нову команду `\cntm`. Тоді обчислення максимального номера рядка і стовпця матриці запишемо у змінні `\igowmax` та `icolmax` відповідно. Два цикли заповнюють

елементи матриці ``#1- i - j `` у ``\cntm``. В рядку між елементами матриці додаємо знак ``&``, а в кінці кожного рядка додаємо знак ``\\``.

```
\documentclass{article}

\usepackage{etoolbox}
\usepackage{pgffor}
\usepackage{nicematrix}

\def\namem{}
\newcounter{icol}
\newcounter{irow}

\newcommand{\entrs}[1]{%
  \csdef{\namem-\theirow-\theicol}{#1}%
  \stepcounter{icol}%
}%

\newcommand{\rows}[1]{%
  \setcounter{icol}{0}
  \forcsvlist{\entrs}{#1}
  \stepcounter{irow}
}%

\newcommand{\input}[2]{%
  \xdef\namem{#1}%
  \setcounter{irow}{0}%
  \forcsvlist{\rows}{#2}%
  \csxdef{\namem-w}{\theicol}%
  \csxdef{\namem-h}{\theirow}%
}%
```

Рис. 4. Команди для введення матриці

Масив ``NiceArray`` елементів з динамічною кількістю стовпців (залежною від ширини матриці) вставляє введені значення в матрицю за допомогою створеної нової команди ``\cntm``.

Наведемо програмний код нових команд для виведення матриці (рис. 5).

```
\newcommand{\getheight}[1]{%
  \csuse{#1-h}%
}%

\newcommand{\getwidth}[1]{%
  \csuse{#1-w}%
}%

\newcommand{\getm}[1]{%
  \def\cntm{}
  \def\irowmax{\the\numexpr\getheight{#1}-1\relax}
  \def\icolmax{\the\numexpr\getwidth{#1}-1\relax}
  \foreach \i in {0, ..., \irowmax} {%
    \foreach \j in {0, ..., \icolmax} {%
      \xappto\cntm{\csuse{#1-\i-\j}}%
      \ifnumless{\j}{\icolmax}{%
        \xappto\cntm{&}%
      }{}%
    }%
    \xappto\cntm{\\}%
  }%
  $$ \left(
  \begin{NiceArray}{*\the\numexpr\icolmax-0+1\relax}{c}
  %
  \cntm
  \end{NiceArray}
  \right)$$
}%
```

Рис. 5. Команди для виведення матриці

Створимо нову команду ``\getdwithoutrc`` з трьома аргументами, які необхідно ввести. Ця команда генерує визначник матриці шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця.

Перший аргумент цієї команди — це ім'я визначника матриці, другий аргумент — це номер рядка, який треба виключити, а третій аргумент — номер стовпця, який треба виключити.

Спочатку ініціалізуємо порожній рядок, який буде заповнюватись елементами визначника. Обчислення максимального номера рядка і стовпця визначника запишемо у змінні `\irowmax` та `\icolmax` відповідно. Два цикли заповнюють елементи визначника. Якщо номер поточного рядка при проходженні зовнішнього циклу по рядках не дорівнює номеру рядка, який виключаємо, то виконується внутрішній цикл по стовпцях. Якщо номер поточного стовпця не дорівнює номеру стовпця, який виключаємо, то записуємо елемент визначника `#1- i - j` у `\cntm`. В рядку між елементами визначника додаємо знак `&`, а в кінці кожного рядка додаємо знак `\\`.

Масив `NiceArray` елементів з динамічною кількістю стовпців (залежною від ширини визначника) вставляє введені значення у визначник за допомогою створеної нової команди `\cntm`.

Наведемо програмний код нової команди для виведення визначника матриці, утвореного шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця (рис. 6).

```

\newcommand{\getdwithoutrc}[3]{%
  \def\cntm{%
    \def\irowmax{\the\numexpr\getheightm{#1}-1\relax}%
    \def\icolmax{\the\numexpr\getwidthm{#1}-1\relax}%
    \foreach \i in {0, ..., \irowmax}{%
      \ifnumequal{\i}{#2}{}%
      \foreach \j in {0, ..., \icolmax} {%
        \ifnumequal{\j}{#3}{}%
        \xappto\cntm{\csuse{#1-\i-\j}}%
        \ifnumless{\j}{\icolmax}{%
          \xappto\cntm{&}%
        }%
      }%
    }%
    \xappto\cntm{\\}%
  }%
  $$ \left|
  \begin{NiceArray}{*\getwidthm{#1}{c}}
  \cntm
  \end{NiceArray}
  \right|$$
}%

```

Рис. 6. Команда для виведення визначника матриці, утвореного шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця

У тілі LaTeX документа введемо матрицю A третього порядку і матрицю B четвертого порядку, викликавши створену команду `\inputm` двічі. Тоді введемо матрицю A , викликавши створену команду `\getm`. Введемо визначник матриці A , утворений шляхом виключення другого рядка і другого стовпця, викликавши створену команду `\getdwithoutrc`. Введемо матрицю B , викликавши створену команду `\getm`. Введемо визначник матриці B , утворений шляхом виключення першого рядка і третього стовпця, викликавши створену команду `\getdwithoutrc` (рис. 7).

Наведений програмний код (рис. 4 – рис. 7) генерує результат, представлений на рис. 8.

Таким чином, у LaTeX документі `article` можна використовувати створені команди `\entrs m`, `\row s m`, `\input m`, `\getheight m`, `\getwidth m`, `\get m` для побудови матриць, введенням їх в пам'ять і виведенням цих матриць. У цьому документі можна використовувати створену команду `\getdwithoutrc` для побудови визначників матриць шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця.

Висновки. У статті здійснено оптимальну побудову математичних таблиць і визначників матриць у системі LaTeX. Створено нові команди (макроси), які

- будують математичні таблиці на прикладі таблиць для геометричного розподілу дискретної випадкової величини, автоматично заповнюючи перший рядок. Якщо задана умова вірна, то автоматично заповнюється і другий рядок. Якщо задана умова невірна, то значення другого рядка можна ввести;

- записують введені матриці в пам'ять та виводять ці матриці;

- генерують визначники матриць шляхом виключення заданого рядка і заданого стовпця.

```

\begin{document}

\inputm{A}{{1, 2, 3}, {4, 5, 6}, {7, 8, 9}}
\inputm{B}{{4, -1, 5, 6}, {0, -7, 12, 1}, {1, 1, 11, 5}, {6, 7, 8, 10}}

Matrix  $SAS$  of order 3:
\getm{A}

Determinant of matrix  $SAS$  obtained by excluding row 2 and
column 2:
\getdwithoutrc{A}{1}{1}

Matrix  $SBS$  of order 4:
\getm{B}

Determinant of matrix  $SBS$  obtained by excluding row 1 and
column 3:
\getdwithoutrc{B}{0}{2}

\end{document}

```

Рис. 7. Звертання до створених команди у тілі LaTeX документа

Matrix A of order 3:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Determinant of matrix A obtained by excluding row 2 and column 2:

$$\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 7 & 9 \end{vmatrix}$$

Matrix B of order 4:

$$\begin{pmatrix} 4 & -1 & 5 & 6 \\ 0 & -7 & 12 & 1 \\ 1 & 1 & 11 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 10 \end{pmatrix}$$

Determinant of matrix B obtained by excluding row 1 and column 3:

$$\begin{vmatrix} 0 & -7 & 1 \\ 1 & 1 & 5 \\ 6 & 7 & 10 \end{vmatrix}$$

Рис. 8. Результат, згенерований програмним кодом

Список використаних джерел:

1. Lamport, L. (1994). LaTeX: a document preparation system. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley. (272 p.).
2. Губаль, Г. М. (2013). LATEX як видавнична система для створення математичних текстів і для програмування. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (12), 23-26.
3. Губаль, Г. М. (2013). Стратегії для створення математичної статті у видавничій системі LATEX. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (13), 10-13.
4. Kottwitz, S. (2021). LaTeX beginner's guide. Packt Publishing, USA, (354 p.).
5. Kottwitz, S. (2023). LaTeX graphics with TikZ. Packt Publishing, USA, (304 p.).
6. Lode, C. (2019). Better books with LaTeX the agile way. Clements Lode Verlag E.K. (254 p.).
7. De Marco, A. (2019). Graphics for LATEX users. ArsTEXnica, 65.
8. Губаль, Г. М. (2013). Анімація в математичних текстах на мові LATEX. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, 11, 11-15.
9. Van Dongen, M.R.C. (2012). LaTeX and friends. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K. (300 p.).

10. Hubal, H.M. (2023) Improvement of references and footnotes in mathematical and other texts by creating macros in the LaTeX programming language. *International Journal on Information Technologies & Security*, (15(3)), 15–22.
11. Губаль, Г. М. (2024). Вдосконалення створення таблиць і деяких обчислень на мові програмування latex для математичних досліджень. *Наукові нотатки*, (77), 78-84.
12. Nakashima, H., & Saito, Y. (2007). How to Typeset Your Papers in LATEX (Version 6). IPSJ Journal.
13. Leifeld, P. (2013). texreg: Conversion of Statistical Model Output in R to LATEX and HTML Tables. *Journal of Statistical Software*, 55(8), 1-24.
14. Grätzer, G. (2014). *Practical LaTeX*. Springer.
15. Griffiths, D. F., & Higham, D. J. (2016). *Learning LaTeX*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
16. Hubal, H. (2024). Analysis of Approaches to the Study of Limits of Sequences and Functions and the Use of Information Technologies. *Grail of Science*, (35), 226-231.
17. Verdaguer-Codina, J. (2022). Linux, LaTeX, and Python in secondary and baccalaureate. *Proceedings of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Tunisia, 763–768.
18. Romansky, R. (2023). Empirical evaluation of the transfer of information resources in active learning. *International Journal on Information Technologies & Security*, 15(1), 39–48.
19. Губаль, Г. М. (2014). Особливості створення інтерактивних математичних тестів у видавничій системі LATEX. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, (15), 9-13.
20. Goossens, M., Rahtz, S. P., & Rahtz, S. (1999). *The Latex Web Companion: Integrating TEX, HTML, and XML* (Vol. 4). Addison-Wesley Professional.
21. Gubal', G. N., & Stashenko, M. A. (2005). Improvement of an estimate of the global existence theorem for solutions of the Bogoliubov equations. *Theoretical and mathematical physics*, 145, 1736-1740.
22. Stashenko, M. A., & Gubal', G. N. (2006). Existence theorems for the initial value problem for the Bogolyubov chain of equations in the space of sequences of bounded functions. *Siberian Mathematical Journal*, 47, 152-168.
23. Hubal, H. M. (2012). The generalized kinetic equation for symmetric particle systems. *Mathematica Scandinavica*, 140-160.
24. Gubal', G. N. (2014). On the existence of weak local in time solutions in the form of a cumulant expansion for a chain of Bogolyubov's equations of a one-dimensional symmetric particle system. *Journal of Mathematical Sciences*, 199, 654-666.
25. Gryshchenko, T.V., Deineko, Zh.V. & Nikitenko, O.M. (2019). Using the LaTeX system during the preparation of scientific publications. *IV International Scientific and Technical Conference "Print, Multimedia & Web"*, 96–98.
26. Hubal, H.M. (2016) The convergence of the series of the solution of the cauchy problem for the bbgky hierarchy of equations in many-kind particle systems. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 108(4), 957–965.
27. Hubal, H.M. (2019) Mathematical description of the non-equilibrium state of symmetric particle systems. *International Journal of Applied Mathematics*, 32(5), 767–774.
28. Hubal, H. (2019). Construction and study of the system of differential equations that describes oscillatory chemical reactions based on diffusion. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (34), 32-36.
29. Hubal, H. (2021). Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (42), 43-49.
30. Hubal, H. (2023). LATEX system in distance learning of the probability theory. *Grail of Science*, (33), 244-248.
31. Губаль, Г. М. (2022). Математичне дослідження стійкості особливих точок систем диференціальних рівнянь, які описують швидкості біохімічних процесів. *Наукові нотатки*, (73), 29-39.