

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 4 (53) 2023.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-57003.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) 25.02.2014 г.

ISSN 2304-9235

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета

(Вестник ЛГТУ)

№ 4 (53) 2023.

Научно-технический журнал

Регистрационный номер ПИ № ФС77-57003

Главный редактор

д-р техн. наук, проф.

Шмырин Анатолий Михайлович

Зам. главного редактора

д-р техн. наук, проф.

Ризаева Юлия Николаевна

Редакционная коллегия:

Информатика, вычислительная техника и управление

д-р техн. наук, проф. Погодаев А.К. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Сараев П.В. (Россия)

д-р физ.-мат. наук, проф. Пеньков В.Б. (Россия)

Машиностроение

д-р техн. наук, проф. Козлов А.М. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Мазур И.П. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Сосенушкин Е.Н.

(Россия)

д-р техн. наук, проф. Хейфец М.Л. (Беларусь)

Металлургия

д-р техн. наук, проф. Кнапински М. (Польша)

д-р техн. наук, проф. Коршиков В.Д. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Михайлов Е. (Болгария)

д-р техн. наук, проф. Найзабеков А.Б. (Казахстан)

Транспорт и логистика

д-р техн. наук, проф. Клявин В.Э. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Ли Р.И. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ляпин С.А. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ризаева Ю.Н. (Россия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Учредитель: © ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30. E-mail: vm@stu.lipetsk.ru

**ВЕСТНИК ЛИПЕЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА (ВЕСТНИК ЛГТУ)**

**СОДЕРЖАНИЕ
ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

CONTENTS

**COMPUTER SCIENCES, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

- | | | |
|-------------|---|---|
| СТР. | А.А. Аксенов, А.А. Аксенов,
О.Д. Дячкин | A.A. Aksenov, A.A. Aksenov,
O.D. Dyachkin |
| 5 | Сжатие коротких строк
с ограниченным выходным
алфавитом | Compressing short strings with a limited
output alphabet |
| 8 | И.А. Седых, В.А. Кистерёв
Аналитическое и численное
интегрирование произведения
тригонометрических
функций. Программная реализация | I.A. Sedykh, V.A. Kisterev
Analytical and numerical integration of
the product of trigonometric
functions. Software implementation |
| 15 | И.А. Седых, А.А. Пахомов
Вычисление интегралов
от рациональных дробей
в общем виде. Программная
реализация на Python | I.A. Sedykh, A.A. Pakhomov
Evaluation of integrals of rational
fractions in their general
Form. Software implementation using
Python |
| 24 | Р.В. Батищев, Н.П. Гвозденко,
М.Ю. Шишов
Построение математической
модели лабораторной установки
«Тепловой объект» | R.V. Batishchev, N.P. Gvozdenko,
M.Yu. Shishov
Developing a <i>thermal object</i> laboratory
facility mathematical model |

ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА

TRANSPORT AND LOGISTICS

- | | | |
|----|---|--|
| 32 | Е.Д. Устинова, Б.А. Либерман
Анализ транспортной
логистики РФ | E.D. Ustinova, B.A. Liberman
Analysis of transport logistics of the
Russian Federation |
| 38 | И.В. Жилин
Разработка модели угроз
безопасности информации
автосервисного предприятия | I.V. Zhilin
Development of an information security
threat model for a car service company |

МЕТАЛЛУРГИЯ

METALLURGY

- | | | |
|----|--|--|
| 46 | В.Н. Титов, И.В. Куприянова,
Т.В. Кравченко
Влияние показателя горячей
прочности кокса (CSR) на
дренажную способность коксовой
насадки в доменных печах разного
объема | V.N. Titov, I.V. Kupriyanova,
T.V. Kravchenko
Influence of CSR index on the coke
packing drainage capacity in blast
furnaces of different volume |
|----|--|--|

МАШИНОСТРОЕНИЕ**MACHINE-BUILDING**

- 52** **А.В. Суханов, А.В. Суханов**
Импульсный вариатор для передачи
крутящего момента
- 56** **А.М. Козлов, Д.А. Голобурдин,
А.А. Козлов**
Изготовление абразивного
инструмента методом 3D-печати
- 64** **А.В. Суханов, А.В. Суханов**
Инерционный вариатор
- 70** **П.И. Золотухин, А.В. Москвин**
Автоматизированное
проектирование технологии
листовой штамповки деталей
с использованием вытяжки
- 76** **А.П. Жильцов,
А.А. Харитоненко,
А.Л. Челябинина, Н.Е. Козенко**
Совершенствование элементов
привода моталки
холоднокатаных полос
- 84** К сведению авторов
- 85** Пример оформления статьи для
публикации в журнале

DOI 10.53015/23049235_2023_4_5
УДК 519.683.5

А.А. АКСЕНОВ, А.А. АКСЕНОВ, О.Д. ДЯЧКИН

СЖАТИЕ КОРОТКИХ СТРОК С ОГРАНИЧЕННЫМ ВЫХОДНЫМ АЛФАВИТОМ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В работе проанализированы возможность и влияние ограничения выходного алфавита при сжатии коротких строк новым методом FSST [1].

Установлено, что исключение малого количества байт из алфавита (6 из 256, оставляя в алфавите 250 байт) практически не влияет на средний коэффициент сжатия, одновременно с этим упрощая внедрение FSST в промышленную эксплуатацию. Более того, установлено, что даже с сильными ограничениями (алфавит лишь в 92 печатных Latin-1 байта из 256 всего возможных) метод FSST всё ещё применим.

Намечено направление для дальнейшего исследования и улучшения коэффициента сжатия в методе FSST.

Ключевые слова: СУБД, сжатие, строки.

A.A. AKSENOV, A.A. AKSENOV, O.D. DYACHKIN

COMPRESSING SHORT STRINGS WITH A LIMITED OUTPUT ALPHABET

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper analyses the possibility and impact of limiting the output alphabet when compressing short strings using the novel FSST [1] compression scheme.

It was established that if a small number of bytes are excluded from the alphabet (6 out of 256 possible, with 250 bytes left in the alphabet), it barely impacts the average string compression ratio while simplifying FSST scheme implementation in production systems. Moreover, it was established that even with significant restrictions (with only 92 Latin-1 bytes out of 256 possible), the FSST scheme is still applicable. The paper also outlines further research directions concerning the improvement of the compression ratio via the FSST compression scheme.

Keywords: FSST, compression, strings.

Практически во всех базах данных в некоторых полях хранятся сравнительно короткие текстовые строки, средней длиной от единиц до десятков символов. Например, это могут быть поля, в которых хранится имя пользователя, email адрес, название города, полный географический адрес, текстовое сообщение об ошибке, URL, название объекта и так далее.

В зависимости от семантики конкретного поля хранящиеся в нем строки всегда обладают некоей внутренней структурой, что теоретически позволяет СУБД их сжимать, что, в свою очередь, позволяет как минимум снизить требования к памяти и диску, а зачастую и ускорить обработку запросов. Однако на практике в данный момент в широко используемых СУБД типично встроены и доступны лишь

компрессоры семейства Лемпеля–Зива (LZ), например, gzip, lz4, zstd, snappy. Задачу сжатия отдельных коротких строк средней длиной лишь в десятки символов они не решают, так как необходимая для нетривиального сжатия минимальная длина входных данных для этих компрессоров типично составляет сотни символов. Таким образом, решение задачи в данный момент ложится на пользователя СУБД.

В недавней работе [1] предложен новый эффективный метод FSST (Fast Static Symbol Table) для сжатия отдельных коротких строк. Метод использует полный 8-битный алфавит, так что в сжатом представлении строки могут встретиться любые значения байт от 0 до 255 включительно. Работать с такими бинарными объектами может оказаться затруднительно по разным причинам: как из-за ограничений самой СУБД, так и среды разработки. Как важный пример, в языках C и C++ байт со значением 0 является

маркером конца во встроенных строковых типах, заменить которые на пользовательский тип с корректной поддержкой бинарного объекта при изменении большого существующего приложения зачастую неприемлемо трудоемко.

Нас заинтересовало, насколько сильно размер выходного алфавита влияет на степень сжатия и насколько FSST применим при наличии ограничений на размер выходного алфавита (т.е. при наличии некоторых запрещенных значений либо диапазонов байт в итоговом, сжатом представлении строки). Мы модифицировали исходный код FSST [2], реализовали такое ограничение и исследовали зависимость степени сжатия от размера алфавита S на части наборов тестовых данных (датасетах), приложенных к исходному коду. Результаты приведены в табл.

Таблица

Коэффициент сжатия в зависимости от размера выходного алфавита

Датасет	S=256	S=250	S=92	S=256 / S=92
c_name	3.578	3.578	2.824	1.26
chinese	1.691	1.686	1.178	1.43
city	1.948	1.947	1.443	1.34
credentials	2.113	2.113	1.597	1.32
email	2.002	2.002	1.601	1.25
faust	1.779	1.772	1.246	1.42
firstname	1.791	1.783	1.416	1.26
genome	3.000	3.000	3.000	1.00
hamlet	2.298	2.298	1.684	1.36
hex	1.874	1.850	1.243	1.50
japanese	1.994	1.994	1.423	1.40
l_comment	2.909	2.909	2.009	1.44
lastname	1.790	1.789	1.354	1.32
locations	2.486	2.486	1.961	1.26
movies	1.594	1.587	1.195	1.33
ps_comment	3.413	3.413	2.458	1.38
street	2.213	2.212	1.595	1.38
urls	2.334	2.334	1.844	1.26
urls2	1.955	1.955	1.504	1.29
uuid	2.345	2.345	1.779	1.31
wiki	1.584	1.580	1.141	1.38
wikipedia	1.791	1.784	1.261	1.42
yago	1.541	1.540	1.148	1.34

Ограничение алфавита на 6 символов до 250 символов уже позволяет исключить из сжатых строк нули (маркеры конца), одинарные и двойные кавычки, экранирующие слэши. Как видим, на всех датасетах, за исключением “hex”, потери степени сжатия незначительны и составляют менее 1 %. На датасете “hex” они составляют 1,2 %.

Ограничение алфавита до 92 символов позволяет компрессору FSST использовать в своих кодах только ASCII7 символы (также без кавычек и др.), со значениями в диапазоне от 32 до 126. Это заведомо слишком сильное ограничение: фактически, в этом случае мы разрешаем компрессору «добавлять» в сжатые строки лишь латиницу, в то время как уже в самих исходных строках датасетов зачастую используется более широкий диапазон. Коэффициент сжатия в подобном худшем случае падает существенно, от 1,25 раз (“email”) до 1,5 раз (“hex”), но в абсолютных значениях всё равно обеспечивает практически полезный коэффициент сжатия.

В ходе этого исследования мы также заметили, что доступная реализация FSST [2] кодирует последовательности байты-исключений независимо, используя для этого лишь одно особое «экранирующее»

значение 255. Это означает, что короткие строки с большим количеством байт-исключений могут, в худшем случае, вместо сжатия увеличиться в длине, в пределах до 2 раз. Очевидно, как раз за счет ограничения алфавита становится возможно зарезервировать ещё несколько особых значений для более эффективного кодирования подобных последовательностей, чем уменьшить потери размера в худших случаях. Мы предполагаем, что этот подход может улучшить и средний коэффициент сжатия по сравнению с оригинальным методом, но остаётся неясной степень возможного ухудшения скорости сжатия. Мы планируем продолжить исследования в данном направлении.

Таким образом, нами установлено, что метод FSST при наличии практических ограничений на размер выходного алфавита оказывается по-прежнему хорошо применим, степень сжатия падает незначительно. Следовательно, метод представляет большой практический интерес даже при реализации внешним по отношению к СУБД образом. Также намечено направление для дальнейшего исследования и улучшения коэффициента сжатия в методе FSST.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Boncz, P.** FSST: Fast Random Access String Compression / Peter Boncz, Thomas Neumann, Viktor Leis. – Text : immediate // PVLDB. – 2020. – № 13(11). – P. 2649–2661.

Сведения об авторах:

Аксенов Андрей Андреевич

кандидат технических наук,

ООО «Авито Тех».

125047, Россия, г. Москва, ул. Лесная, д. 7.

shodan@shodan.ru

Аксенов Андрей Александрович

кандидат физико-математических наук,

доцент кафедры высшей математики,

Липецкий государственный технический

университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

vm@stu.lipetsk.ru

2. FSST source code : [site]. – URL : <https://github.com/cwida/fsst> (date of the application: 18.08.2023). – Text : electronic.

Information about the authors:

Aksenov Andrey Andreevich

Candidate of Technical Sciences,

Avito Tech LLC.

125047, Russia, Moscow, Lesnaya st., 7.

shodan@shodan.ru

Aksenov Andrey Aleksandrovich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

Associate Professor,

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

vm@stu.lipetsk.ru

Дячкин Олег Дмитриевич
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры высшей математики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Dyachkin Oleg Dmitrievich
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences,
Associate Professor,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
vm@stu.lipetsk.ru

DOI 10.53015/23049235_2023_4_8
УДК 519.6

И.А. СЕДЫХ, В.А. КИСТЕРЁВ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье показана возможность нахождения неопределённых и определённых интегралов от произведения тригонометрических функций на языке C++ с использованием фреймворка Qt. В зависимости от значений различных коэффициентов рассмотрены все варианты решений, что позволяет учитывать широкий спектр сценариев при нахождении интегралов. Представленный подход обеспечивает эффективное и точное вычисление интегралов, а использование фреймворка Qt, дополняющего функциональность программы, делает её более гибкой и удобной для взаимодействия пользователя с вычислительным процессом. Разработанная программа может быть полезна как для студентов и исследователей, занимающихся математическим моделированием, так и для разработчиков в области научных вычислений.

Ключевые слова: неопределённый интеграл, определённый интеграл, численное интегрирование, тригонометрическая функция.

I.A. SEDYKH, V.A. KISTEREV

ANALYTICAL AND NUMERICAL INTEGRATION OF THE PRODUCT OF TRIGONOMETRIC FUNCTIONS. SOFTWARE IMPLEMENTATION

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The present article shows that it is possible to find indefinite and definite integrals of the product of trigonometric functions in C++ using the Qt framework. All possible solutions depending on the values of various coefficients are considered, which makes it possible to take into account a wide range of scenarios when finding integrals. The presented approach provides an efficient and accurate evaluation of integrals, and the use of the Qt framework complements the functionality of the program and makes it more flexible and convenient for user interaction with the evaluation process. The developed program can be useful for students and researchers of mathematical modeling, as well as for developers in the field of scientific computing.

Key words: indefinite integral, definite integral, numerical integration, trigonometric function.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире программирования и вычислительной математики существует постоянная потребность в разработке эффективных инструментов для нахождения интегралов сложных математических выражений. Одной из актуальных задач в этой области является программная реализация интегрирования произведения тригонометрических функций.

В данной статье представлен подход к решению задачи нахождения неопределённых и определённых интегралов от произведения тригонометрических функций.

Основной упор сделан на использование языка программирования C++ и фреймворка Qt. Этот выбор обеспечивает не только

эффективное и точное вычисление интегралов, но также придает гибкость и удобство во взаимодействии пользователя с вычислительным процессом благодаря возможностям Qt.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В работе рассмотрены следующие типы интегралов: $\int \sin \alpha x \cos \beta x dx$, $\int \sin \alpha x \sin \beta x dx$, $\int \cos \alpha x \cos \beta x dx$. За основу решения неопределённых и определённых интегралов было взято выведение общих формул, которые зависят от значения введённых коэффициентов α и β , а также от значений тригонометрических функций. Сначала рассмотрим аналитическое решение приведённых типов интегралов.

1) Решение интеграла $\int \cos \alpha x \cos \beta x dx$:

$$\int \cos \alpha x \cos \beta x dx = \frac{1}{2} \int \cos(\alpha - \beta)x + \cos(\alpha + \beta)x dx. \quad (1)$$

Используя табличное значение интеграла $\int \cos \alpha x dx = \frac{1}{\alpha} \sin \alpha x + C$, преобразуем формулу (1):

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\sin(\alpha - \beta)x}{\alpha - \beta} + \frac{\sin(\alpha + \beta)x}{\alpha + \beta} \right) + C. \quad (2)$$

Стоит также рассматривать вариант, когда $\alpha = \beta$:

$$\int \cos \alpha x \cos \beta x dx = \int \cos^2(\alpha x) dx. \quad (3)$$

Используем для выражения (3) формулу понижения степени ($\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$):

$$\int \frac{1 + \cos(2\alpha x)}{2} dx = \frac{1}{2} \left(x + \frac{\sin(2\alpha x)}{2\alpha} \right) + C. \quad (4)$$

2) Решение интеграла $\int \sin \alpha x \sin \beta x dx$:

$$\int \sin \alpha x \sin \beta x dx = \frac{1}{2} \int \cos(\alpha - \beta)x - \cos(\alpha + \beta)x dx. \quad (5)$$

Используя табличное значение интеграла $\int \cos \alpha x dx = \frac{1}{\alpha} \sin \alpha x + C$, преобразуем формулу (5):

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\sin(\alpha - \beta)x}{\alpha - \beta} - \frac{\sin(\alpha + \beta)x}{\alpha + \beta} \right) + C. \quad (6)$$

Вариант, когда $\alpha = \beta$:

$$\int \sin \alpha x \sin \beta x dx = \int \sin^2(\alpha x) dx. \quad (7)$$

Используем для выражения (7) формулу понижения степени ($\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$):

$$\int \frac{1 - \cos(2\alpha x)}{2} dx = \frac{1}{2} \left(x - \frac{\sin(2\alpha x)}{2\alpha} \right) + C. \quad (8)$$

3) Решение интеграла $\int \sin \alpha x \cos \beta x dx$:

$$\int \sin \alpha x \cos \beta x dx = \frac{1}{2} \int \sin(\alpha - \beta)x + \sin(\alpha + \beta)x dx. \quad (9)$$

Используя табличное значение интеграла $\int \sin \alpha x dx = -\frac{1}{\alpha} \cos \alpha x + C$,

преобразуем формулу (9):

$$\frac{1}{2} \left(-\frac{\cos(\alpha - \beta)x}{\alpha - \beta} - \frac{\cos(\alpha + \beta)x}{\alpha + \beta} \right) + C. \quad (10)$$

Вариант, когда $\alpha = \beta$:

$$\int \sin \alpha x \cos \beta x dx = \int \sin \alpha x \cos \alpha x dx. \quad (11)$$

Преобразуем (11), используя подстановку $t = \sin(\alpha x)$:

$$\int \frac{t}{\alpha} dt = \frac{1}{\alpha} \int t dt = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{t^2}{2} = \frac{\sin^2(\alpha x)}{2\alpha} + C. \quad (12)$$

ПРИБЛИЖЁННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПРЕДЕЛЁННЫХ ИНТЕГРАЛОВ

Численное интегрирование в работе представлено 3 методами:

1) Метод прямоугольников

Метод (средних) прямоугольников включает аппроксимацию площади под

кривой путем ее деления на прямоугольники одинаковой ширины h , а затем нахождение суммы площадей этих прямоугольников. Высота каждого прямоугольника принимается за значение функции в середине его основания. Данный метод представлен на рис. 1.

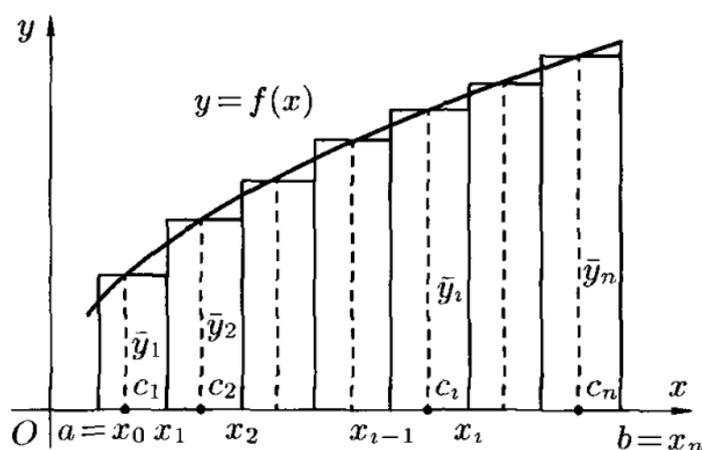


Рис. 1. Метод прямоугольников

На рис. 1 используются следующие обозначения: $c_i = \frac{x_{i-1} + x_i}{2}$ – середина каждого отрезка, $\bar{y}_i = f(c_i) \Rightarrow S = h \cdot \bar{y}_i$ –

площадь каждого прямоугольника. Тогда итоговая формула нахождения интеграла методом (средних) прямоугольников будет выглядеть так:

$$\int_a^b f(x) dx \approx h(\bar{y}_1 + \dots + \bar{y}_n) = \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{x_{i-1} + x_i}{2}\right).$$

2) Метод трапеций

Метод трапеций включает аппроксимацию площади под кривой путем ее деления на трапеции, а затем нахождение суммы площадей этих трапеций.

Формула нахождения интеграла методом трапеций получается аналогично формуле прямоугольников:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{y_0 + y_1}{2} \cdot h + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \cdot h.$$

3) Метод парабол (Симпсона)

Метод Симпсона включает аппроксимацию площади под кривой путем деления интервала интегрирования на меньшие интервалы и применения формулы Симпсона к каждому интервалу. Формула использует значения функции в конечных точках и средней точке интервала для построения квадратичной аппроксимации.

Сумма этих квадратичных приближений дает приближённое значение интеграла. Метод Симпсона обеспечивает более точную аппроксимацию интеграла по сравнению с другими численными методами, особенно для гладких и не имеющих разрывов функций [1–5].

Формула парабол (Симпсона):

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{h}{3} ((y_0 + y_{2n}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{2n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{2n-2})).$$

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Qt – кроссплатформенный фреймворк для разработки приложений на языке программирования C++. Он предоставляет разработчикам инструменты для создания графического интерфейса, работы с сетью,

базами данных, мультимедиа и другими функциями.

Приведём фрагмент решения определённого интеграла типа $\int \cos \alpha x \cos \beta x dx$ с использованием формул (1)–(4):

```

if(ui->rCOSCOS->isChecked())
{
    float a = ALPHA, b = BETA, amb, bpa, kef1, kef2;
    amb = a - b;
    bpa = b + a;
    kef1 = 2*amb;
    kef2 = 2*bpa;
    if (abs(a) == abs(b))
    {
        if (a == 0 && b == 0)
        {
            ui->result->setText(QString("%1\t").arg(b-a));
        }
        else
        {
            if (Ap < Bp)
            {
                if (Ap < 0)
                {
                    if (Bp > 0)
                    {
                        ui->result->setText(QString("%1/2 +
(1/2)(sin(%3) + sin(%4))\t").arg(Bp+abs(Ap)).arg(abs(kef2)).arg(abs(Bp) *
abs(bpa)).arg(abs(abs(Ap) * abs(bpa))));
                    }
                    else
                    {
                        ui->result->setText(QString("%1/2 +
(1/2)(sin(%4) - sin(%3))\t").arg(Bp-Ap).arg(abs(kef2)).arg(abs(Bp) * abs(bpa)).arg(abs(abs(Ap) *
abs(bpa))));
                    }
                }
            }
            else
            {
                ui->result->setText(QString("%1/2 + (1/2)(sin(%3) -
sin(%4))\t").arg(Bp-Ap).arg(abs(kef2)).arg(abs(Bp) * abs(bpa)).arg(abs(Ap) * abs(bpa)));
            }
        }
    }
}
}

```

Все приведённые выше фрагменты кода были привязаны к элементам интерфейса (ui), который представлен на рис. 2.

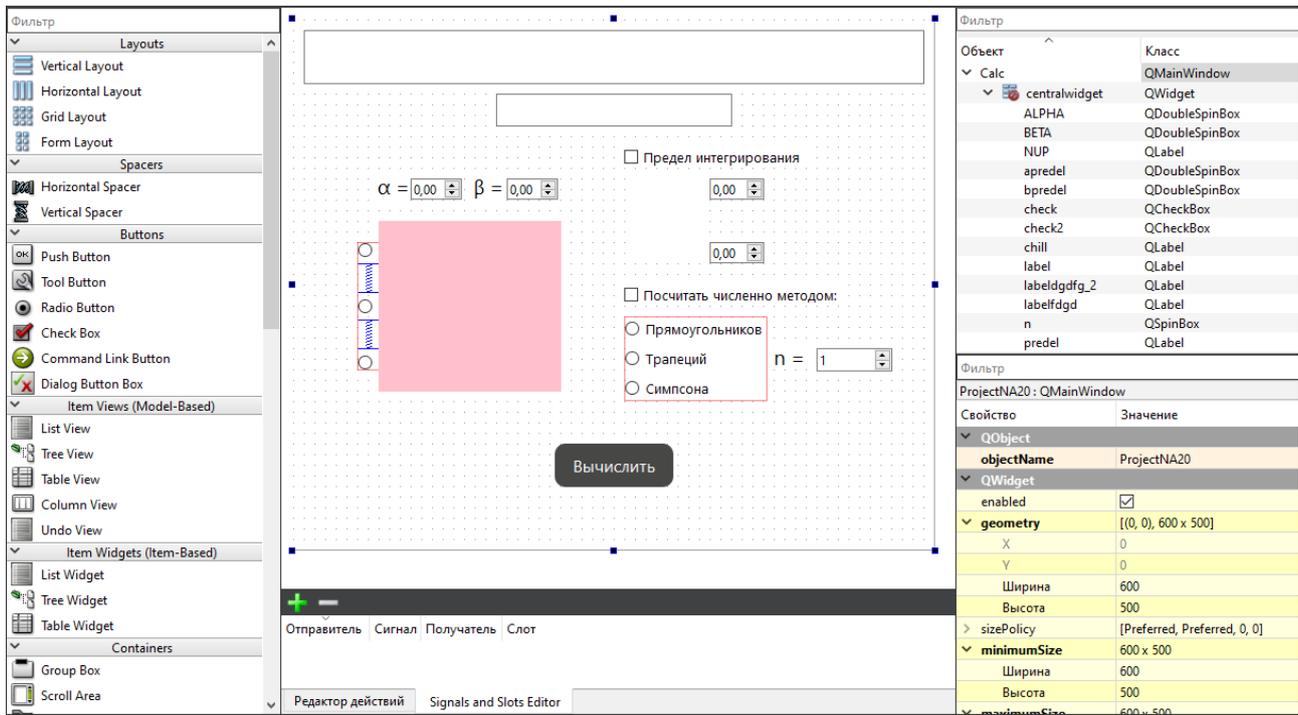


Рис. 2. Интерфейс фреймворка Qt (редактирование интерфейса программы)

ПРИМЕРЫ РАБОТЫ КАЛЬКУЛЯТОРА

1) Пример нахождения неопределённого интеграла $\int \cos 3x \cos(-5x) dx$ представлен на рис. 3.

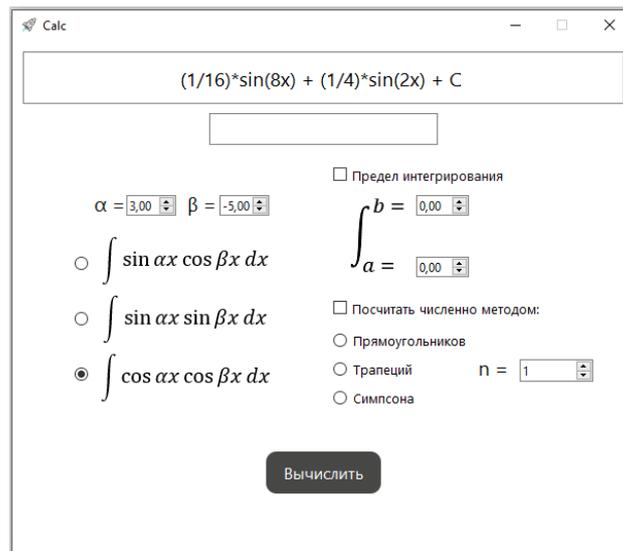


Рис. 3. Пример нахождения неопределённого интеграла

2) Пример нахождения определённого интеграла $\int_{-8}^4 \cos 3x \cos(-5x) dx$ представлен на рис. 4.

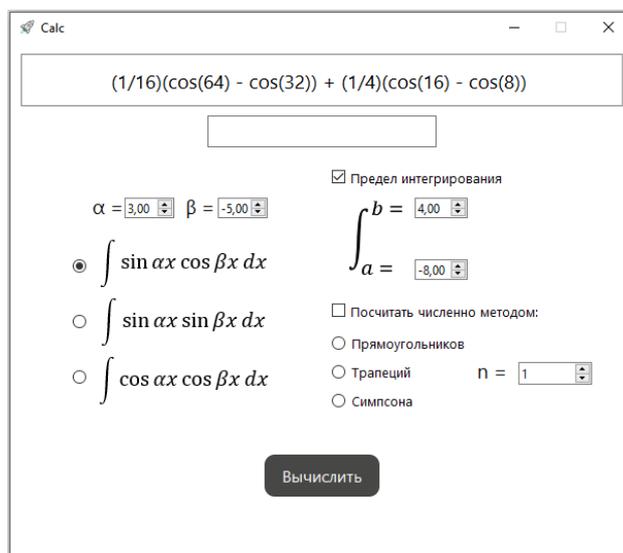


Рис. 4. Пример нахождения определённого интеграла

3) Пример численного нахождения определённого интеграла $\int_{-8}^4 \cos 3x \cos(-5x) dx$ методом трапеций представлен на рис. 5.

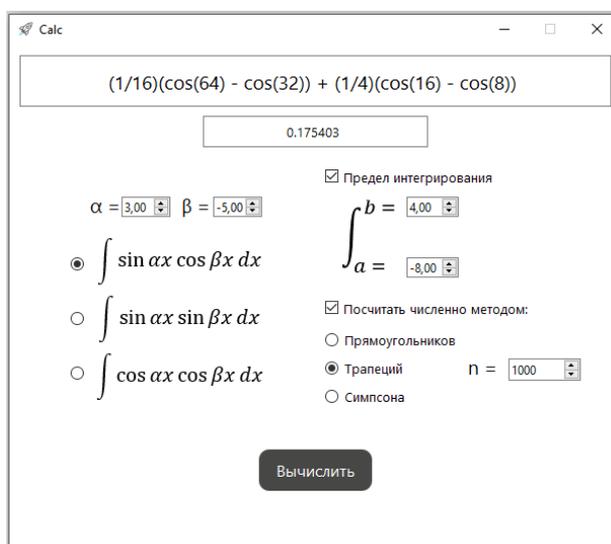


Рис. 5. Пример численного нахождения определённого интеграла

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье представлена программная реализация интегрирования произведения тригонометрических функций. Выведены основные формулы, позволяющие с высокой точностью решать

определённые и неопределённые интегралы как аналитически, так и численно. Программная реализация имеет удобный и понятный интерфейс с возможностью выбора всех возможных вариаций решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Аксенов, А.П.** Математический анализ : в 2 частях. Ч. 1 : учебник и практикум для академического бакалавриата / А.П. Аксенов. – Люберцы : Юрайт, 2016. – 626 с. – Текст: непосредственный.

2. **Виноградова, И.А.** Математический анализ в задачах и упражнениях : В 3-х томах. Т.1: Дифференциальное и интегральное исчисление / И.А. Виноградова. – Москва : МЦНМО, 2017. – 412 с. – Текст : непосредственный.

3. **Письменный, Д.Т.** Конспект лекций по высшей математике / Д.Т. Письменный. –

Москва : АЙРИС ПРЕСС, 2009. – 606 с. – Текст : непосредственный.

4. **Ашарина, И.В.** Основы программирования на языках С и С++ : курс лекций для высших учебных заведений / И.В. Ашарина – Москва : Гор. линия-Телеком, 2018. – 208 с. – Текст : непосредственный.

5. Сборник задач по высшей математике / К.Н. Лунгу, Д.Т. Письменный, С.Н. Федин, Ю.А. Шевченко. – 7-е издание. – Москва : Айрис-пресс, 2008. – 576 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Седых Ирина Александровна

доктор технических наук,
профессор кафедры автоматизированных систем управления,
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Кистерёв Виктор Александрович

студент кафедры автоматизированных систем управления,
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sedykh Irina Alexandrovna

Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Automated Control Systems
Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

email: sedykh-irina@yandex.ru

Kisterev Victor Aleksandrovich

Student of the Department of Automated Control Systems

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/23049235_2023_4_15

УДК 519.6

И.А. СЕДЫХ, А.А. ПАХОМОВ

ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛОВ ОТ РАЦИОНАЛЬНЫХ ДРОБЕЙ В ОБЩЕМ ВИДЕ. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА PYTHON

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В работе представлен метод интегрирования рациональных дробей, в знаменателе и числителе которых многочлен до третьей степени с заданными пользователем коэффициентами. Приведенный пример программной реализации основан на языке программирования высокого уровня Python, обеспечивающем удобный и эффективный способ выполнения вычислений.

Ключевые слова: интеграл, Python, программа, рациональная дробь.

EVALUATION OF INTEGRALS OF RATIONAL FRACTIONS IN THEIR GENERAL FORM. SOFTWARE IMPLEMENTATION USING PYTHON

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper presents a method for integrating rational fractions the denominator and the numerator of which contain a polynomial of up to degree 3 with user-specified coefficients. The example of software implementation discussed in the paper is based on the *Python* high-level programming language which provides a convenient and efficient way to perform calculations.

Keywords: integral, Python, program, rational fraction.

ВВЕДЕНИЕ

Интегрирование является неотъемлемой частью математического анализа и науки о функциях. Интегрирование широко применяется в различных областях науки, инженерии и физике для решения задач, связанных с площадями, объемами, скоростями изменения и другими величинами. В данной работе будет рассмотрен один из важных методов интегрирования – вычисление интеграла от рациональных дробей, в числителе и знаменателе которых многочлен до третьей степени включительно.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Интеграл от дроби, в знаменателе которой многочлен нулевой степени

Рассмотрим случай, когда необходимо вычислить интеграл от дроби, знаменатель которой представлен в виде числа. Для эффективного решения таких задач были разработаны следующие Python-функции: *Intgrl00*, *Intgrl10*, *Intgrl20* и *Intgrl30*. Эти функции предоставляют возможность вычисления соответствующих интегралов от дробей:

$$\frac{k_1}{k_2}, \frac{k_1x + b_1}{k_2}, \frac{k_1x^2 + b_1x + c_1}{k_2}, \frac{k_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1}{k_2}, \quad (1)$$

где все коэффициенты вводятся пользователем программы.

В программе также предусмотрена ситуация деления на ноль. Программа в

этом случае сообщит пользователю об ошибке вычисления интеграла.

Ниже представлено вычисление интеграла, в числителе которого многочлен третьей степени:

$$\int \frac{k_1x^3 + k_1x^2 + c_1x + d_1}{k_2} dx = \frac{k_1x^4}{4k_2} + \frac{b_1x^3}{3k_2} + \frac{c_1x^2}{2k_2} + \frac{d_1x}{k_2} + C. \quad (2)$$

Функции также используют реализацию других функции для упрощения программы. Неопределенный интеграл вычисляется от переменной x , которая взята из библиотеки

SymPy, используемой для символьных вычислений. Ниже приведен код на Python для интегрирования дробей, знаменатель которых – это число.

```
def Intgrl00(k1, k2):
    if k2 == 0: return 'Ошибка деления на ноль'
    if k1 == 0: return 0
    return k1 / k2 * x
def Intgrl10(k1, b1, k2):
    if k2 == 0: return 'Ошибка деления на ноль'
    else: return (k1 / 2 * x ** 2) / k2 + Intgrl00(b1, k2)
```

```

def Intgrl20(k1, b1, c1, k2):
    if k1 == 0: return Intgrl10(b1, c1, k2)
    if k2 == 0: return 'Ошибка деления на ноль'
    return (k1 / 3 * x ** 3) / k2 + Intgrl10(b1, c1, k2)
def Intgrl30(k1, b1, c1, d1, k2):
    if k2 == 0: return 'Ошибка деления на ноль'
    else: return (k1 / 4 * x ** 4) / k2 + Intgrl20(b1, c1, d1, k2)

```

2. Интеграл от дроби, в знаменателе которой многочлен первой степени

Для интегралов, знаменателем дроби которых является многочлен первой степени, реализована функция Intgrl01, которая осуществляет вычисление неопределенного интеграла от дроби:

$$\int \frac{k_1}{k_2 x + b_2} dx = \frac{k_1}{k_2} \ln \left| x + \frac{b_2}{k_2} \right| + C. \quad (3)$$

Ниже написана функция Intgrl01 на Python.

```

def Intgrl01(k1, k2, b2):
    if k2 == 0: return Intgrl00(k1, b2)
    else: return k1 / k2 * ln(abs(x + b2 / k2))

```

Если числитель дроби – многочлен более высокой степени, то можно рассмотреть деление в столбик. Поэтому на рис. 1 представлено деление многочлена третьей степени на $k_2 x + b_2$.

$$\begin{array}{r}
 \frac{k_1 x^3 + b_1 x^2 + c_1 x + d_1}{k_1 x^3 + b_2 \frac{k_1}{k_2} x^2} \left| \frac{k_2 x + b_2}{\frac{k_1}{k_2} x^2 + \frac{(b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})}{k_2} x + \frac{(c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}))}{k_2}} \right. \\
 \frac{(b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}) x^2 + c_1 x}{(b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}) x^2 + \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}) x} \\
 \frac{(c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) x + d_1}{(c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) x + (c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) \frac{b_2}{k_2}} \\
 \frac{d_1 - (c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) \frac{b_2}{k_2}}{d_1 - (c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) \frac{b_2}{k_2}}
 \end{array}$$

Рис. 1. Деление многочлена 3-й степени на многочлен 1-й степени

Деление в столбик приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned}
 \frac{k_1 x^3 + b_1 x^2 + c_1 x + d_1}{k_2 x + b_2} &= \frac{k_1}{k_2} x^2 + \frac{(b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})}{k_2} x + \frac{(c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}))}{k_2} + \\
 &+ \frac{d_1 - (c_1 - \frac{b_2}{k_2} (b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2})) \frac{b_2}{k_2}}{k_2 x + b_2}. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Теперь вычислить интеграл можно, используя реализованные ранее функции. Данный метод используется в приведенном ниже фрагменте кода. Это приводит к тому, что каждая функция вычисляет лишь

часть интеграла. Например, в функции Intgrl31 больше нет x^3 , вызывается функция Intgrl21, которая находит интеграл от дроби:

$$\frac{\left(b_1 - b_2 \frac{k_1}{k_2}\right) x^2 + c_1 x + d_1}{k_2 x + b_2}. \quad (5)$$

Ниже представлены реализации функций Intgrl11, Intgrl21, Intgrl31 на Python.

```
def Intgrl11(k1, b1, k2, b2):
    if k2 == 0: return Intgrl10(k1, b1, b2)
    else: return k1 / k2 * x + (b1 - b2 * k1 / k2) / k2 * Intgrl01(1, 1, b2 / k2)
def Intgrl21(k1, b1, c1, k2, b2):
    if k2 == 0: return Intgrl20(k1, b1, c1, b2)
    else: return k1 / k2 * (Intgrl10(1, b2 / k2, 1) + Intgrl11(b1 - 2 * b2 / k2, c1 - (b2 / k2) ** 2,
1, b2 / k2))
def Intgrl31(k1, b1, c1, d1, k2, b2):
    if k2 == 0: return Intgrl30(k1, b1, c1, d1, b2)
    else: return k1 / k2 / 3 * x ** 3 + Intgrl21(b1 - b2 / k2, c1, d1, k2, b2)
```

3. Интеграл от дроби, в знаменателе которой многочлен второй степени

В данном разделе рассмотрим, как вычислить интеграл рациональной дроби, в

знаменателе которой многочлен второй степени. Чтобы упростить вычисления, используем метод выделения полного квадрата. Сначала рассмотрим дробь, когда в числителе дроби одно число:

$$\int \frac{k_1}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx. \quad (6)$$

Выделим полный квадрат в знаменателе:

$$k_2 x^2 + b_2 x + c_2 = k_2 \left(x^2 + \frac{b_2}{k_2} x + \frac{c_2}{k_2} \right) = k_2 \left(\left(x + \frac{b_2}{2k_2} \right)^2 + \left(\frac{c_2}{k_2} - \frac{b_2^2}{4k_2^2} \right) \right). \quad (7)$$

Обозначим буквой W часть, которая не находится в квадрате:

$$W = \left(\frac{c_2}{k_2} - \frac{b_2^2}{4k_2^2} \right). \quad (8)$$

Тогда рассмотрим несколько случаев, в зависимости от того, какой знак примет d :

1) Если W меньше нуля, то в результате получаем табличный интеграл [1–3]:

$$\int \frac{1}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x + a}{x - a} \right| + C. \quad (9)$$

Поэтому в этом случае интеграл находится следующим образом:

$$\int \frac{k_1}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx = \frac{k_1}{k_2} \int \frac{1}{\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right)^2 + W} d\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right) =$$

$$= \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{1}{2\sqrt{-W}} \ln \left| \frac{\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right) + \sqrt{-W}}{\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right) - \sqrt{-W}} \right| + C. \quad (10)$$

2) Если W равно нулю, то табличный интеграл будет выглядеть следующим образом [1–3]:

$$\int \frac{1}{x^2} = -\frac{1}{x} + C. \quad (11)$$

Упростим интеграл и вычислим его по аналогии с табличным:

$$\int \frac{k_1}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx = \frac{k_1}{k_2} \int \frac{1}{\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right)^2} d\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right) = -\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{1}{x + \frac{b_2}{2k_2}} + C. \quad (12)$$

3) Если W примет положительное значение, то получим табличный интеграл:

$$\int \frac{1}{x^2 + k^2} = \frac{1}{k} \operatorname{arctg} \frac{x}{k} + C. \quad (13)$$

Тогда:

$$\int \frac{k_1}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx = \frac{k_1}{k_2} \int \frac{1}{\left(\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right)^2 + W\right)} d\left(x + \frac{b_2}{2k_2}\right) =$$

$$= \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{W}} \operatorname{arctg} \frac{x + \frac{b_2}{2k_2}}{\sqrt{W}} + C. \quad (14)$$

Каждый случай был реализован в функции Intgrl02, которая представлена ниже.

```

if k2 == 0: return Intgrl01(k1, b2, c2)
W = c2 / k2 - (b2 / 2 / k2) ** 2
if W < 0:
    W = sqrt(-W)
    return k1 / k2 * (1 / d / 2 * ln(abs((x + b2 / 2 / k2 - W) / (x + b2 / 2 / k2 + W))))
elif W == 0: return -k1 / k2 / (x + b2 / 2 / k2)
else:
    W = sqrt(W)
    return k1 / k2 / d * atan((x + b2 / 2 / k2) / W)

```

Теперь рассмотрим случай, когда в числителе многочлен первой степени. Для этого будем использовать интегралы (10), (12), (14):

$$\int \frac{k_1 x + b_1}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx = \frac{k_1}{2k_2} \int \frac{d\left(x^2 + \frac{b_2}{k_2} x + \frac{c_2}{k_2}\right)}{x^2 + \frac{b_2}{k_2} x + \frac{c_2}{k_2}} +$$

$$+ \int \frac{b_1 - b_2 \frac{k_1}{2k_2}}{k_2 x^2 + k_2 x + c_2} dx = \frac{k_1}{2k_2} \ln \left| x^2 + \frac{b_2}{k_2} + \frac{c_2}{k_2} \right| + \int \frac{b_1 - b_2 \frac{k_1}{2k_2}}{k_2 x^2 + b_2 x + c_2} dx. \quad (15)$$

Реализация на Python интеграла (15):

```
def Intgrl12(k1, b1, k2, b2, c2):
    if k2 == 0: return Intgrl11(k1, b1, b2, c2)
    if k1 == 0: return Intgrl02(b1, k2, b2, c2)
    return k1 / k2 / 2 * ln(abs(x ** 2 + b2 / k2 * x + c2 / k2)) + Intgrl02(b1 - b2 * k1 / k2 / 2, k2, b2, c2)
```

Для вычисления последнего интеграла воспользуемся функцией Intgrl12. Если же в числителе будет многочлен второй или третьей степени, достаточно разделить дробь, чтобы в числителе был многочлен меньшей степени. Данные действия реализованы в коде ниже:

```
def Intgrl22(k1, b1, c1, k2, b2, c2):
    if k2 == 0: return Intgrl21(k1, b1, c1, b2, c2)
    else: return k1 / k2 * x + Intgrl12(b1 - b2 * k1 / k2, c1 - c2 * k1 / k2, k2, b2, c2)
def Intgrl32(k1, b1, c1, d1, k2, b2, c2):
    if k2 == 0: return Intgrl31(k1, b1, c1, d1, b2, c2)
    else: return k1 / k2 / 2 * x ** 2 + (b1 - b2 * k1 / k2) / k2 * x + Intgrl12(c1 - c2 * k1 / k2 - b2 * (b1 - b2 * k1 / k2) / k2, d1 - c2 * (b1 - b2 * k1 / k2) / k2, k2, b2, c2)
```

4. Интеграл от дроби, в знаменателе которой многочлен третьей степени

Интегрирование дроби, в знаменателе которой многочлен 3-й степени, можно разбить на 4 случая: знаменатель имеет три различных действительных корня; знаменатель имеет три одинаковых действительных корня; знаменатель имеет

только два различных действительных корня; знаменатель имеет мнимые корни.

Рассмотрим каждый случаи отдельно:

1) Если знаменатель дроби имеет три различных корня, то данную дробь можно представить в виде суммы простейших дробей следующим образом:

$$\int \frac{k_1 x^2 + b_1 x + c_1}{k_2 x^3 + b_2 x^2 + c_2 x + d_2} dx = \frac{k_1}{k_2} \int \frac{x^2 + \frac{b_1}{k_1} x + \frac{c_1}{k_1}}{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)} dx = \frac{k_1}{k_2} \int \frac{A}{(x - x_0)} + \frac{B}{(x - x_1)} + \frac{C}{(x - x_2)} dx. \quad (16)$$

Сложность состоит в том, чтобы найти коэффициенты K , B , C . Для этого приведем к общему знаменателю простейшие дроби.

В итоге получится система, представленная на рис. 2.

$$x^2: \begin{cases} A + B + C = 1 \\ x: \begin{cases} -(x_1 + x_2)A - (x_0 + x_2)B - (x_0 + x_1)C = \frac{b_1}{k_1} \\ 1: \begin{cases} x_1 x_2 A + x_0 x_2 B + x_0 x_1 C = \frac{c_1}{k_1} \end{cases} \end{cases} \end{cases}$$

Рис. 2. Система коэффициентов. Знаменатель дроби имеет три корня

Чтобы решить данную линейную систему, воспользуемся методом Крамера [4, 5]. Для применения метода Крамера сначала вычислим главный определитель системы, который находится путем расчета определителя матрицы коэффициентов. Затем, чтобы найти значения переменных, мы вычисляем три дополнительных

определителя, заменяя столбцы матрицы коэффициентов соответствующими столбцами свободных членов. Затем значения переменных находятся путем деления каждого дополнительного определителя на главный определитель. Реализация данного метода на Python представлена ниже:

```
def kramer(x, k):
    det = []
    det += [x[0] * (x[4] * x[8] - x[7] * x[5]) - x[1] * (x[3] * x[8] - x[5] * x[6]) + x[2] * (x[3] *
x[7] - x[4] * x[6])]
    for i in range(3):
        swap = [x[i], x[i + 3], x[i + 6]]
        x[i], x[i + 3], x[i + 6] = k[0], k[1], k[2]
        det += [x[0] * (x[4] * x[8] - x[7] * x[5]) - x[1] * (x[3] * x[8] - x[5] * x[6]) + x[2] *
(x[3] * x[7] - x[4] * x[6])]
        x[i], x[i + 3], x[i + 6] = swap[0], swap[1], swap[2]
    return det[1] / det[0], det[2] / det[0], det[3] / det[0]
```

2) Для дальнейших случаев переменными. Если знаменатель имеет три одинаковых действительных корня, то используем те же методы, отличие будет только в коэффициентах перед раскладываем дробь следующим образом:

$$\frac{x^2 + \frac{b_1}{k_1}x + \frac{c_1}{k_1}}{(x - x_0)^3} = \frac{A}{(x - x_0)} + \frac{B}{(x - x_0)^2} + \frac{C}{(x - x_0)^3} = \frac{A(x - x_0)^2 + B(x - x_0) + C}{(x - x_0)^3}. \quad (17)$$

Тогда система будет иметь вид, представленный на рис. 3.

$$x^2: \begin{cases} A = 1 \\ x: \begin{cases} -2x_0A + B = \frac{b_1}{k_1} \\ 1: \begin{cases} x_0^2A - x_0B + C = \frac{c_1}{k_1} \end{cases} \end{cases} \end{cases}$$

Рис. 3. Система коэффициентов. Знаменатель дроби имеет три одинаковых корня

3) В случае если знаменатель имеет два корня, то разложение дроби выглядит следующим образом:

$$\frac{x^2 + \frac{b_1}{k_1}x + \frac{c_1}{k_1}}{(x - x_0)^2(x - x_1)} = \frac{A}{(x - x_0)} + \frac{B}{(x - x_0)^2} + \frac{C}{(x - x_1)}. \quad (18)$$

А система после приведения к общему знаменателю дробей представлена на рис. 4.

$$\begin{aligned}
 A + C &= 1 \\
 (x_0 + x_1)A + B - 2x_0C &= \frac{b_1}{k_1} \\
 x_0x_1A - x_1B + x_0^2C &= \frac{c_1}{k_1}
 \end{aligned}$$

Рис. 4. Система коэффициентов. Знаменатель дроби имеет два корня

4) Случай, когда знаменатель имеет только один действительный корень, по сложности ничем не отличается от других

случаев. Разложение на сумму дробей представлено ниже:

$$\frac{x^2 + \frac{b_1}{k_1}x + \frac{c_1}{k_1}}{(x - x_0)(x^2 + px + q)} = \frac{A}{(x - x_0)} + \frac{Bx + C}{(x^2 + px + q)}. \quad (19)$$

Из уравнения (19) видно, что неизвестных переменных также три, поэтому можно воспользоваться той же

функцией для метода Крамера. Система после приведения к общему знаменателю дробей представлена на рис. 5.

$$\begin{cases}
 x^2: & A + B = 1 \\
 x: & pA - x_0B + C = \frac{b_1}{k_1} \\
 1: & qA - x_0C = \frac{c_1}{k_1}
 \end{cases}$$

Рис. 5. Система коэффициентов. Знаменатель дроби имеет один действительный корень

ПРИМЕР РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

На рис. 6 приведен пример работы программы.

```

Доброго времени суток, данная программа предназначена для
нахождения неопределенного интеграла вида:

k1 * x ^ 3 + b1 * x ^ 2 + c1 * x + d1
S ----- dx
k2 * x ^ 3 + b2 * x ^ 2 + c2 * x + d2

Введите коэффициента многочлена-числителя (k1 b1 c1 d1): 4 3 -0.5 1
Введите коэффициента многочлена-знаменателя (k2 b2 c2 d2): 1 -2 3 6

4.0*x**3 + 3.0*x**2 - 0.5*x + 1.0
S ----- dx =
1.0*x**3 - 2.0*x**2 + 3.0*x + 6.0

= 4.0*x + 0.05000000000000002*ln(|x + 1.0|) + 5.475*ln(|x**2 - 3.0*x + 6.0|) -
- 3.55023473402347*arctg(0.516397779494322*x - 0.774596669241483) + C

```

Рис. 6. Пример работы программы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье представлена программная реализация вычисления интеграла от рациональных дробей, знаменатель и числитель которых

представлены в виде многочленов до третьей степени включительно. Рассмотрены также формулы интегрирования для частных случаев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Круглов, Е.В.** Основные методы вычисления интегралов : учебно-методическое пособие / Е.В. Круглов, Е.А. Таланова. – Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет. 2019. – 50 с. – Текст : непосредственный.

2. **Виноградова, И.А.** Математический анализ в задачах и упражнениях : в 3-х томах. Т.1: Дифференциальное и интегральное исчисление / И.А. Виноградова. – Москва : МЦНМО, 2017. – 412 с. – Текст: непосредственный.

3. **Кудрявцев, Л.Д.** Курс математического анализа : учебник для

студентов и вузов : в 2 томах. Т.1 / Л.Д. Кудрявцев. – Москва : Высшая школа, 1981. – 687 с. – Текст : непосредственный.

4. Высшая математика : учебное пособие : в 2 частях. Ч. 2 / В.И. Белоусова, Г.М. Ермакова, М.М. Михалева [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2017. – 300 с. – Текст : непосредственный.

5. **Пахомов, А.А.** Реализация интегрирования рациональных дробей на Python / А.А. Пахомов, И.А. Седых. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2023. – 4 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Седых Ирина Александровна

доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

ORCID 0000-0003-0012-8103

e-mail: sedykh-irinka@yandex.ru

Пахомов Александр Андреевич

студент кафедры автоматизированных систем управления,

Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sedykh Irina Alexandrovna

Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Automated Control Systems Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

email: sedykh-irinka@yandex.ru

Pakhomov Alexander Andreevich

Student of the Department of Automated Control Systems

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

Р.В. БАТИЩЕВ, Н.П. ГВОЗДЕНКО, М.Ю. ШИШОВ

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «ТЕПЛОВОЙ ОБЪЕКТ»

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Построение адекватных и эффективных математических моделей – необходимый шаг при реализации систем управления, применяемых в разных областях науки и техники. Идентификация модели объекта или системы включает выбор способа математического описания и определение параметров модели. На данном этапе разработки или исследования по результатам наблюдения выявляют законы изменения выходных величин, их зависимость от входных значений, взаимосвязь между разнородными величинами, характер и значения возмущений. Исходным материалом для анализа и расчетов являются переходные характеристики системы. В данной работе исследуются переходные процессы в термодинамической системе. Ее переходные характеристики и математическая модель, требуемая для дальнейшего исследования, определяются средствами пакета прикладных программ Matlab.

Ключевые слова: математическая модель, система управления, динамическая модель, реакция системы, Matlab.

R.V. BATISHCHEV, N.P. GVOZDENKO, M.Yu. SHISHOV

DEVELOPING A THERMAL OBJECT LABORATORY FACILITY MATHEMATICAL MODEL

Abstract: Development of adequate and efficient mathematical models is a necessary step in implementing control systems used in various fields of science and technology. If an object or system model is identified, it means that a method of the mathematical description of a model is selected and model parameters are determined. At this stage of development or research, observation results make it possible to formulate the laws of variation of output values, their dependence on input values, the relationship between heterogeneous values, the nature and values of perturbations. The input material for the analysis and calculations is the transient response of the system. The present paper investigates transient processes in a thermodynamic system. Its transient response and the mathematical model required for further research are determined by means of the Matlab application software package.

Keywords: mathematical model, control system, dynamic model, system response, Matlab.

ВВЕДЕНИЕ

Задача обучения синтезу или настройке различных регуляторов является важнейшей для студентов направления «Управление в технических системах». В настоящей работе для её решения, как и в [1–3], будет использована лабораторная установка «Тепловой объект» с нагревательным элементом внутри металлической трубки, на которой

установлен датчик температуры и вентилятор для её охлаждения. Управление встроенным контроллером может осуществляться по этим двум каналам. Контроллер, в свою очередь, связан с компьютером через интерфейс RS 232. Управление всей установкой производится из программного комплекса MATLAB-Simulink. На рис. 1 приведена структурная схема системы автоматического управления.

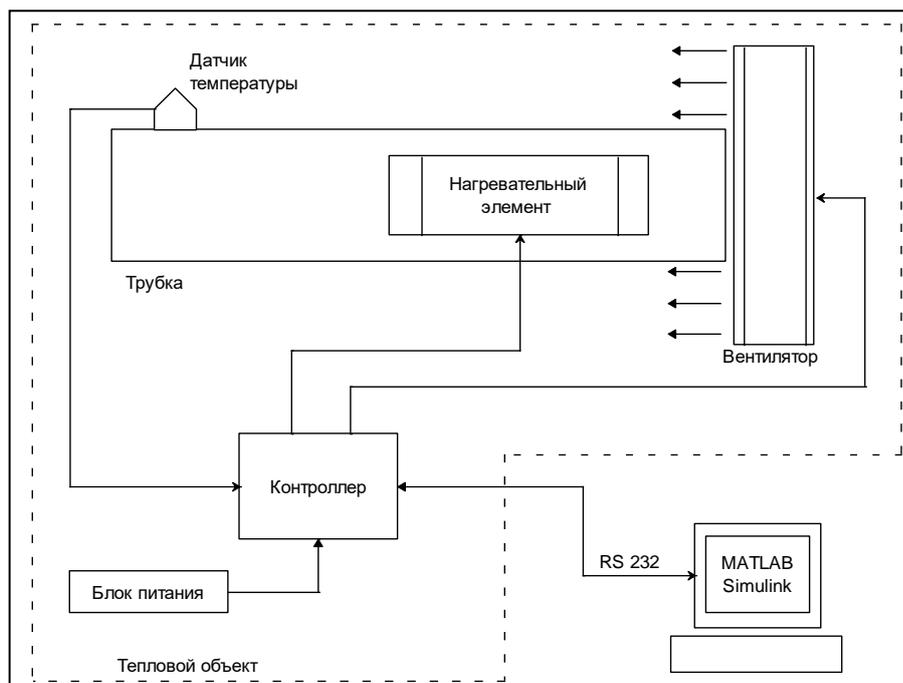


Рис. 1. Компоненты системы мониторинга и управления тепловым объектом

Программируемый логический контроллер выполняет следующие задачи:

- получение показаний датчика о температуре в рабочей зоне объекта и передача данных на пункт оператора;

- получение с пункта оператора сигналов, задающих мощность нагревательного элемента и включающих вентилятор, которые преобразуются в напряжение питания для органов управления;

- активация аварийного режима при значении температуры рабочей зоны объекта выше $124\text{ }^{\circ}\text{C}$ с отключением питания нагревательного элемента или автономного режима работы при отсутствии сигнала от пункта оператора дольше 10 с.

В системе установлены цифровые датчики температуры, питаемые по линии связи. Пределы измерения и регулирования температуры объекта составляют от 25 до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вентилятор управляется с помощью реле, которое включается при превышении заданного значения температуры.

ОПИСАНИЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Расчет алгоритмов управления объектом основан на его передаточной функции [4–6]. Любой объект управления может быть задан уникальной передаточной функцией, для определения которой используется его реакция на ступенчатое изменение входного воздействия [7, 8]. Необходимо получить две переходные функции при разных начальных условиях и рассчитать две математические модели. Эти передаточные функции послужат основой для дальнейшего исследования методов и средств управления установкой, регулирования ее процессов [9].

С помощью пакета программ Matlab Simulink соберем схему модели для задания воздействия и фиксации значений переходной функции объекта (рис. 2). Модель обеспечивает пользователя возможностью в режиме реального времени получать данные о зависимости температуры в рабочей зоне объекта и мощности нагревательного элемента от времени в удобном для обработки и анализа виде. Схема включает подсистемы приема и записи данных, использующие интерфейс RS232, блок осциллографа Scope и блоки Display для построения

графиков и отображения текущих значений мощности и температуры.

На вкладке Model Configurations Parameters откроем Solver options, установим фиксированный шаг симуляции

Fixed-step, значение шага Fixed-step size равным единице. Время симуляции Stop time зададим равным 1100 с.

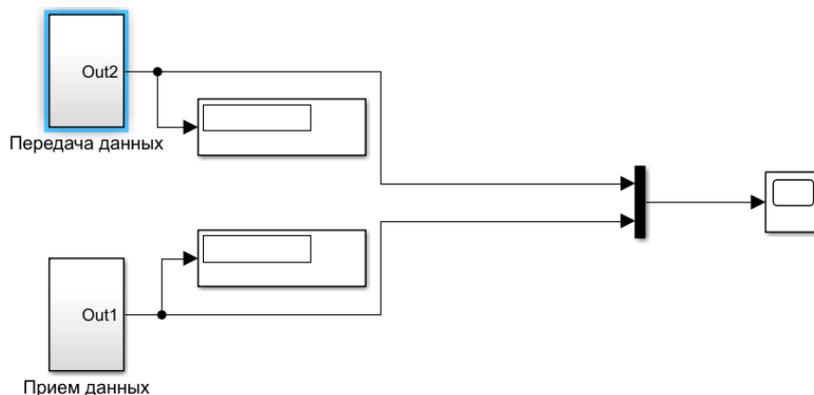


Рис. 2. Схема модели получения переходного процесса объекта в Simulink

В подсистеме приема данных реализована настройка порта подключения, производится чтение данных из порта и собрана схема двоично-

десятичного преобразования входящих значений температуры с помощью соответствующих блоков (рис. 3).

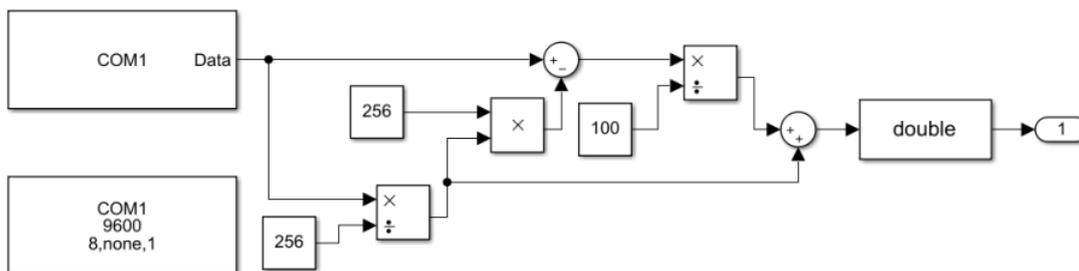


Рис. 3. Состав подсистемы приема данных

В подсистеме передачи данных содержатся блоки, получающие значения от блоков-слайдеров, преобразующие

значения мощности нагревателя и вентилятора в двоичный вид и выводящие данные в порт (рис. 4).

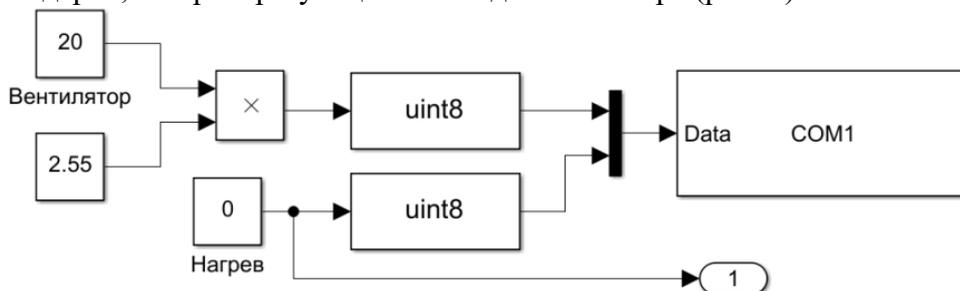


Рис. 4. Состав подсистемы передачи данных

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА ПО ЕГО ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ

Проведем эксперимент при начальной температуре равной 26 °С. Мощность вентилятора установим 10 %,

мощность нагревательного элемента установим 30 %, запустим симуляцию модели Simulink. Получим переходную функцию объекта [10].

Для теплового объекта передаточная функция описывается уравнением

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s^2 + T_1 \cdot s + 1}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент пропорциональности; T_0 , T_1 – постоянные времени теплового объекта второго порядка.

Используя встроенный в Simulink инструмент Parameter Estimation, определим параметры передаточной функции исследуемого объекта [11–13]. Идентификация происходит по измеренным данным. Для этого соберем схему в среде Simulink (рис. 5).

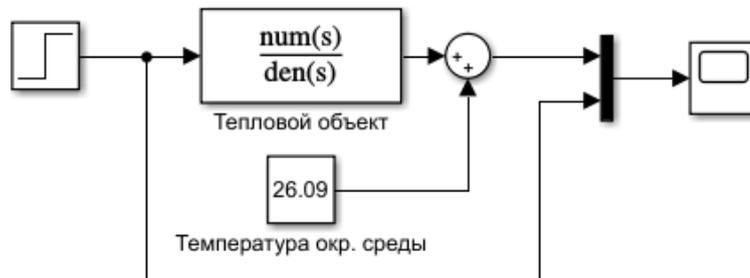


Рис. 5. Схема Simulink для идентификации модели

Представленная модель Simulink состоит из следующих блоков: мультиплексор сигналов Mux (Signal Routing), осциллограф Scope (Sinks), сумматор сигналов Sum (Math Operations), передаточная функция Transfer Function (Continuous), источники постоянного и

ступенчатого сигналов – Constant и Step (Sources). В параметрах блока Step в поле Final Value установим значение 30. В параметрах передаточной функции зададим искомые коэффициент усиления K_0 и постоянные времени T_0 и T_1 (рис. 6).



Рис. 6. Задание неизвестных параметров передаточной функции объекта

Объявим соответствующие коэффициентам переменные в рабочем пространстве Matlab, для каждой определим начальное значение равным единице.

В окне Simulink по пути «Analysis – Parameter Estimation» откроем среду инструмента. Далее выполним команду New Experiment. Автоматически будут созданы новый проект эксперимента с именем Exp и окно его параметров Edit Experiment.

В разделе выбора выходов Outputs выполним команду Select Measured Output Signals. Определим в качестве выходного сигнала линию между блоками Sum и Scope, параметры и имя сигнала будут выведены в окно Edit Experiment.

С помощью команды Import Data поместим экспериментальные данные в среде эксперимента.

Командами OK и Plot запустим вычисление параметров и выполним построение результатов (рис. 7).

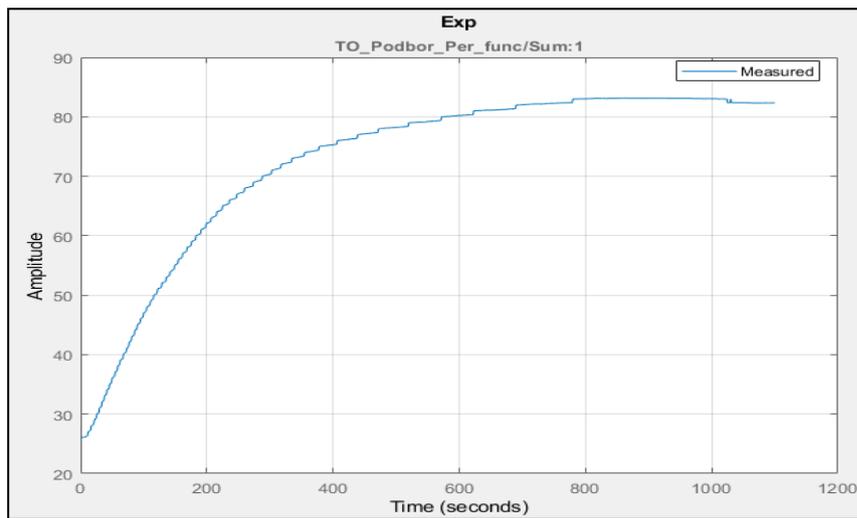
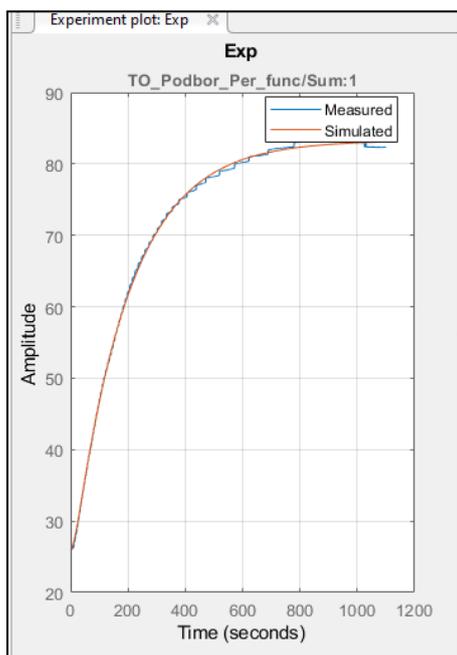


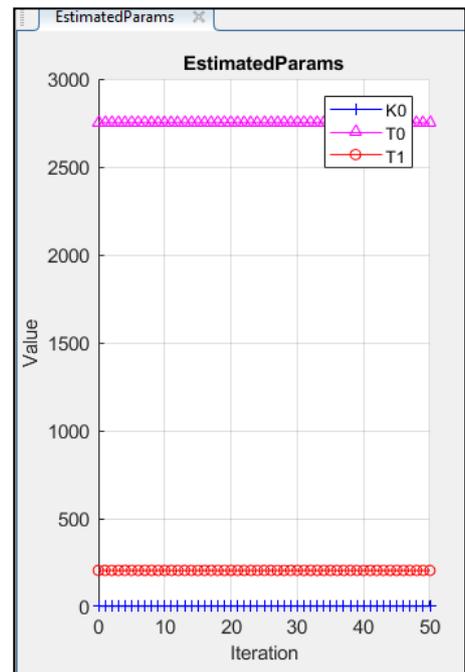
Рис. 7. Выходные данные эксперимента, импортированные в Parameter Estimation

В разделе выбора параметров Parameters выполним команду Select Parameters. В окне редактора набора параметров выберем исследуемые переменные. У всех переменных установим 0 и Inf как нижний и верхний пределы соответственно. Масштаб Scale зададим равным единице.

Выполнив команду Estimate, запустим работу алгоритма. После завершения программы получены переходная функция модели, проиллюстрированная на рис. 8, а, и количество итераций работы алгоритма на рис. 8, б.



а

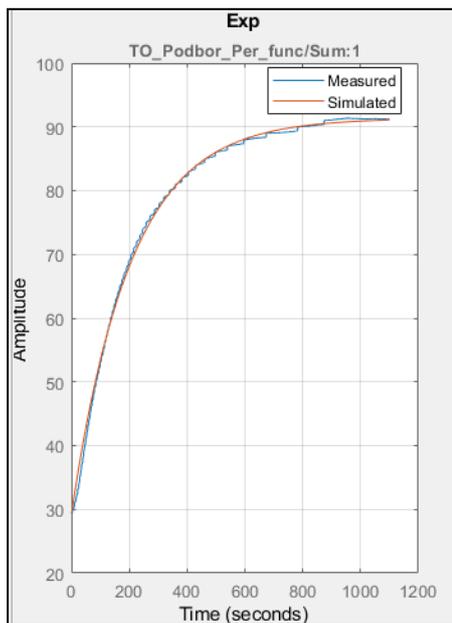


б

Рис. 8. Результаты идентификации первой модели

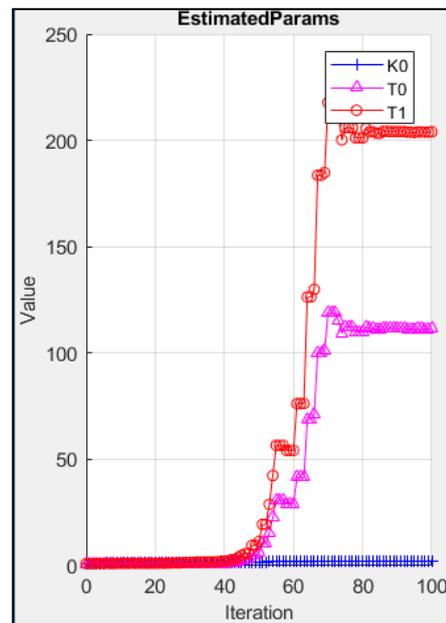
В качестве результата определения параметров получены значения коэффициента усиления K_0 , равного 1,9, и постоянных времени T_0 и T_1 , равных 2750,2 и 205,3 соответственно. Первая математическая модель исследуемого объекта имеет вид

$$W(s) = \frac{1,9}{2750,2 \cdot s^2 + 205,3 \cdot s + 1}. \quad (2)$$



a

Следующий эксперимент произведем аналогично первому при начальной температуре 29 °С. В блоке типа Constant «Температура окружающей среды» в схеме Simulink зададим значение 29,36. Выполнив команду Estimate, запустим работу алгоритма. После завершения программы получены переходная функция модели, проиллюстрированная на рис. 9, *a*, и количество итераций работы алгоритма на рис. 9, *б*.



б

Рис. 9. Результаты идентификации второй модели

В качестве результата определения параметров получены значения коэффициента усиления K_0 , равного 2,06, и постоянных времени T_0 и T_1 , равных 1565,9 и 200,8 соответственно. Вторая математическая модель исследуемого объекта имеет вид

$$W(s) = \frac{2,06}{1565,9 \cdot s^2 + 200,8 \cdot s + 1}. \quad (3)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Относительная средне-модульная погрешность полученной модели, вычисленная по формуле:

$$\Delta = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=T} \frac{|y(t) - \hat{y}(t)|}{y(t)} 100 \%, \quad (4)$$

где T – время эксперимента;

$y(t)$, $\hat{y}(t)$ – измеренный и рассчитанный по модели выход, равный 2 %. Следовательно, модель объекта – передаточная функция (3) может быть использована для целей анализа и синтеза систем управления [2, 14, 15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Батищев, Р.В.** Разработка модели теплового объекта и системы управления нагревом и охлаждением / Р.В. Батищев, Д.И. Васютин. – Текст : непосредственный. // Автоматизация и информатика. Тенденции развития современной науки : материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, 14–18 апреля 2018 г. – Липецк : Изд-во ЛГТУ. – С. 25–27.

2. Расчет ПИ+LQR регулятора и получение его оптимальных настроек для лабораторной установки «Тепловой объект» / Р.В. Батищев, Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пащенко, В.А. Титов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета: научно-технический журнал. – 2021. – № 3 (37). – С. 24–33.

3. Construction and analysis of adaptive fuzzy linear quadratic regulator / Y.I. Kudinov, E.S. Duvanov, I.Y. Kudinov [et al.]. – Text : immediate // Journal of Physics: Conference Series : 3, Moscow, 19–23 October 2020. – Moscow, 2020. – P.2065.

4. Adaptive Models in Decision-making Systems / F.F. Pashchenko, A.F. Pashchenko, Y.I. Kudinov [et al.]. – Text : immediate // Proceedings – 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021 : 3, Lipetsk, 10–12 ноября 2021 года. – Lipetsk, 2021. – P. 778–781.

doi:10.1109/SUMMA53307.2021.9632021.

5. Analysis and Synthesis of Adaptive PID Controller with MRAC-MIT System / A.A. Ponomarev, Y.I. Kudinov, E.S. Duvanov, F.F. Pashchenko. – Text : immediate // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020 : 2, Virtual, Lipetsk, 10–13 ноября 2020 года. – Virtual, Lipetsk, 2020. – P. 527–532.– doi: 10.1109/SUMMA50634.2020.9280651.

6. Analysis and Synthesis of the Modified MRAC-MIT System and the MRAC-Lyapunov System / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, A.A. Ponomarev, F.F. Pashchenko. – Text : immediate // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020 : 2, Virtual, Lipetsk, 10–13 ноября 2020 года. – Virtual, Lipetsk : SUMMA 2020. – P. 521–526.

doi:10.1109/SUMMA50634.2020.9280614.

7. Analysis of the technological process of egg incubation and formulation of the control problem / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, V.S. Duvanova. – Text : immediate // Proceedings – 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021. 3. – С. 769–773.

8. **Sanchis, R.** Peñarrocha-Alós I. A new method for experimental tuning of PI-controllers based on the step response / R. Sanchis, I. Peñarrocha-Alós. – Text : electronic // ISA Transactions. – 2022. – Vol. 128, Part A. – P. 329–342. URL : <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.09.008>.

(date of the application: 11.11.23)

9. **Durgaryan, I.S.** Identification of objects by the maximal information criterion / I.S. Durgaryan, F.F. Pashchenko. – Text : immediate // Automation and Remote Control. – 2001. – Vol. 62, № 7. – P. 1104–1114. – doi: 10.1023/A:1010209910967.

10. Использование языка Python для построения динамической модели объекта / Д.С. Бестиков, Е.С. Дуванов, Ю.И. Кудинов, Е.В. Ларина. – Текст : непосредственный // Системы управления, сложные системы : моделирование, устойчивость, стабилизация, интеллектуальные технологии : материалы VIII Международной научно-практической конференции, 21–22 апреля 2022 г. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2022. – С. 53–57.

11. **Surya, S.** Novel Technique for Estimation of Cell Parameters Using MATLAB / S. Surya, C.C. Saldanha, S. Williamson. – Text : electronic // Simulink. Electronics. – 2022. – № 11. – P. 117. – URL :

<https://doi.org/10.3390/electronics11010117>.

(date of the application: 11.11.2023).

12. **Beheshti, Z.** A time-varying mirrored S-shaped transfer function for binary particle swarm optimization / Z. Beheshti. – Text : electronic // Information Sciences. – 2020. Volume 512. – P. 1503–1542. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.029>.

(date of the application: 14.11.23)

13. System Parameter Identification: Information Criteria and Algorithms / B. Chen, Y. Zhu, J. Hu, J. Principe. – San Diego : Elsevier Science & Technology Books, 2013. – 265 p. – Text : immediate.

Сведения об авторах:

Батищев Роман Вячеславович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

gav_1989@bk.ru

Гвозденко Николай Петрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

89092224922@inbox.ru

Шишов Михаил Юрьевич

студент кафедры информатики, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

fandimfromitaly@yandex.ru

14. **Кудинов, Ю.И.** Теория автоматического управления (с использованием MATLAB – SIMULINK) : учебное пособие / Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пашенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 256 с. – Текст : непосредственный.

15. **Ларина, Е.В.** Определение оптимальных настроек ПИД-регулятора методом расширенных частотных характеристик / Е.В. Ларина, Е.С. Дуванов. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20 апреля–10 июня 2022 года. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2022. – С. 600–604.

Information about the authors:

Batishchev Roman Vyacheslavovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Head of the Department of Computer Science,

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

gav_1989@bk.ru

Gvozdenco Nikolay Petrovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor, associate Professor of the Department of Computer Science,

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

89092224922@inbox.ru

Shishov Mikhail Yuryevich

Student of the Department of Computer Science,

Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

fandimfromitaly@yandex.ru

Е.Д. УСТИНОВА, Б.А. ЛИБЕРМАН

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ РФ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье раскрываются понятие, сущность, задачи и функции транспортной логистики. Дается оценка транспортной системы России и выявляются ее проблемы. Предлагаются рекомендации по устранению современных проблем данной отрасли.

Ключевые слова: инфраструктура, проблемы, транспортная логистика, транспортная система.

E.D. USTINOVA, B.A. LIBERMAN

ANALYSIS OF TRANSPORT LOGISTICS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Annotation: The present article reveals the concept, essence, tasks and functions of transport logistics. The transport system of Russia is assessed and its problems are identified. Recommendations on solving modern problems of this industry are proposed.

Keywords: infrastructure, problems, transport logistics, transport system.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная логистика занимает важное место в современной рыночной среде, так как любая компания находится в непрерывном взаимодействии с внешними условиями и во многом зависит от них. Взаимодействие предприятия с внешней средой приводит к тому, что объекты перемещаются в пространстве. В частности, поставщики поставляют сырье и материалы производителю, производитель предоставляет готовый товар посредникам, а те, в свою очередь, – конечному покупателю. Любое предприятие заинтересовано в максимально быстром, удобном и продуманном перемещении продукции. Транспортная логистика позволяет выбрать оптимальные маршруты для доставки грузов с наименьшими расходами и временными затратами.

Актуальность выбранной темы может быть обоснована с помощью нескольких причин. Во-первых,

транспортная логистика выступает важным звеном в товарообороте. Во-вторых, устойчивое и эффективное функционирование транспортной логистики, динамичное развитие транспортной инфраструктуры оказывают прямое влияние на деятельность компании и предприятия, на темпы экономического роста и уровень качества жизни населения. Кроме того, эффективная логистика и транспортная система выступают важными условиями развития любой экономики [1].

Цель написания научной статьи заключается в выявлении проблем транспортной логистики в России и разработке предложений по их устранению.

Для достижения поставленной цели становится необходимым выполнение следующих задач:

– изучить теоретические основы транспортной логистики, задачи и принципы ее функционирования;

- проанализировать транспортную логистику России;
- выявить недостатки транспортной логистики в России и разработать предложения по их устранению.

Таким образом, объектом исследования выступает транспортная логистика Российской Федерации, предметом исследования – современные проблемы транспортной логистики в России. Для достижения поставленных задач в работе использованы многофункциональные методы: изучение и анализ литературы и документации на выбранную тему, обобщение, сравнение, описание и прогнозирование [2]. Данные методы выступают инструментами в расширении теоретической базы и в получении новых и углубленных знаний на заданную тему.

Логистика является относительно новым научным направлением, поэтому

можно найти множество толкований этого термина. Например, М.Н. Григорьев, А.П. Долгов и С.А. Уваров определяют логистику как «функциональное направление, отвечающее за материальный поток, поступающий в организацию, проходящий через организацию и выходящий из нее» [3]. Проанализировав труды некоторых отечественных и зарубежных авторов, можно сказать, что с точки зрения экономики, логистика – это наука, занимающаяся организацией, управлением и оптимизацией движения материальных, финансовых и информационных потоков от их источника до непосредственного потребителя. Логистика подразделяется на несколько видов. Для наглядности информация представлена в виде схемы (рис.).



Рис. Виды логистики

Рассмотрим более подробно транспортную логистику, ее функции и задачи. Транспортная логистика занимается перемещением объекта в нужном количестве и в требуемую точку, выбирая при этом оптимальный маршрут. Важно заметить, что ключевым элементом транспортной логистики является транспорт, который выступает не только техническим средством для выполнения перемещения, но и отдельной отраслью, обеспечивающей удовлетворение потребностей в перевозках и сопутствующих услугах. Другими словами, транспортная логистика – вид логистики, цель которого перевести необходимое количество товара в нужную точку с наименьшими затратами, используя специализированное оборудование [4].

Логистика этого типа появилась очень давно, когда люди переезжали с места на место или же путешествовали между поселениями.

Со временем транспортная логистика эволюционировала, усложнялись ее задачи, уменьшались сроки доставки, создавался новый транспорт. Функции транспортной логистики на данный момент крайне нетривиальны: планирование и организация доставки груза, погрузка и разгрузка товара, оформление необходимых документов, выбор транспортного средства, информационное сопровождение груза. Все эти процессы включают в себя десятки переменных, которые необходимо учесть. Именно поэтому больше всего ценятся те компании, которые долго находятся на рынке, так как

они успевают накопить базу лучших практик и применяют их в действии.

Опираясь на полученные цели и функции транспортной логистики, можно вывести и ее основные задачи, которые выполняются такими логистическими компаниями, как «СДЭК», «Деловые линии», «Почта России»:

- анализ пунктов доставки, свойств груза и построение предварительного маршрута;
- выбор подходящего вида транспорта;
- выбор перевозчика и логистических партнеров;
- построение маршрута со всеми ключевыми точками;
- контроль груза во время транспортировки.

Все эти задачи при правильной их оценке и решении позволяют максимально качественно и безопасно переместить груз из точки *A* в точку *B* с соблюдением временных и ценовых рамок. Нельзя не упомянуть важность самого транспорта, поскольку он является основой этого вида логистики. В зависимости от условий задачи компании выбирают необходимый вид транспорта: железнодорожный, морской, речной, автомобильный, воздушный. Например, если груз должен быть доставлен через полгода на другой континент, то рациональнее воспользоваться морскими перевозками, так как они заметно дешевле авиаперевозок, и тем не менее груз придет в срок [5].

У каждого вида транспорта есть свои плюсы и минусы. Рассмотрим их детально. Железнодорожный транспорт имеет низкие тарифы и высокую пропускную способность, но, с другой стороны, ограниченное число перевозчиков и невысокую сохранность грузов. Морской транспорт перевозит на очень большие расстояния за небольшую стоимость, но делает это очень медленно и не может устроить разгрузку в середине континента. Автомобильный транспорт гибкий и маневренный, однако крайне неэффективен на большие расстояния и зависит от погодных условий. Воздушный транспорт очень безопасен и быстр, но у него есть

существенный минус – крайне высокая стоимость доставки.

Данные, упомянутые выше, – это целая совокупность факторов, влияющих на выбор транспортного средства для доставки груза получателю. На данный момент логистические компании используют специальные программы, чтобы аккумулировать все данные и максимально четко и безошибочно рассчитать подходящий вид транспорта. Таким образом, компании обязаны обращать внимание на такие вещи, как характеристики груза (вес, объем, консистенция), количество отправляемых партий, срочность доставки груза, местонахождение пункта назначения с учетом погодных и климатических условий, ценность груза.

Представленные факторы прямо влияют не только на вид транспорта, но и на цену оказываемых услуг, которая является неотъемлемой частью логистических перевозок. С каждым годом компании внедряют новые технологии в свои процессы. Например, ГК (грузовая компания) «Деловые линии» в 2020 году разработала и внедрила проект автоматического планирования рейсов городской автодоставки. Данный проект обеспечивает снижение затрат за счёт построения рациональных рейсов и повышения лояльности клиентов.

Изучив основные теоретические факты о транспортной логистике, рассмотрим, как выглядит ситуация с данной отраслью в России на сегодняшний момент. Во-первых, необходимо обратить внимание на важность данной отрасли, так как ее доля в ВВП страны составляет 5,2 %.

На сегодняшний день транспортная логистика России находится на начальном этапе развития, в основном компаниями осуществляются операции по перевозке и экспедированию грузов. По данным за 2016 год, в России качество логистических услуг оценивают на 2,76 балла, возможности отслеживания грузов в 2,62 балла, а своевременность доставки – 3,15 балла. В рейтинге, где представлена информация о данных показателях, Россия, к сожалению,

регрессирует, спускаясь с 90 на 99 позицию за 2 года.

Очевидно, что потребности в транспортных услугах только растут, и данный тип рынка должен быть достаточно динамичным для удовлетворения потребностей. Но ситуация, складывающаяся в России, свидетельствует о том, что существующая инфраструктура не может обеспечить потребности экономики, это вызвано тем, что большая часть объектов инфраструктуры выходит из строя, технически и морально устаревают. Кроме того, можно выделить факторы, оказывающие негативное влияние на транспортную отрасль РФ: нестабильная экономическая ситуация и низкий уровень производственно-технической базы.

Таким образом, следующим этапом в проведении анализа транспортной отрасли России является рассмотрение основных проблем, решение которых приведет к улучшению ситуации в этой сфере.

1. Отсутствие эффективной законодательной базы в транспортной сфере. Данный аспект очень важен, так как позволил бы уменьшить количество спорных ситуаций и задать направление развития этой отрасли.

2. Транспортные технологии России не соответствуют современным требованиям эффективного функционирования транспорта.

3. Отсутствие развитой и современной транспортной инфраструктуры в некоторых субъектах РФ.

4. Низкий уровень доступности и, как следствие, качества транспортных услуг. Данная проблема выражена в том, что значительная часть сельского населения России не обеспечена связью по дорогам с твердым покрытием с опорной транспортной сетью.

5. Отставание развития дорожной сети от темпов роста количества автомобилей общества. Представленная проблема относится к перегруженности федеральных автомобильных дорог, особенно в крупных городах.

6. Низкие темпы обновления основных фондов транспорта. Длительное использование транспортных средств

приводит к увеличению их износа, что снижает уровень безопасности их использования.

7. Снижение показателей безопасности транспортного процесса, вызванное ростом дорожно-транспортных происшествий.

8. Использование устаревших, точнее, неиспользование современных технологий, что приводит к проблемам с идентификацией продукта, путаницей на складах и замедлению доставки товара.

9. Низкий уровень использования современных технологий в процессе перевозок. Потеря связи с водителем негативно сказывается на координации процесса транспортировки.

10. Недостаточное количество разработанных IT-программ для транспортной логистики.

11. Нехватка квалифицированных специалистов, в результате чего маршруты поставки строятся неправильно, это приводит к повышению затрат.

12. Недостаточные объемы финансирования в исследование транспортной сферы, что приводит к низкому уровню развития научной деятельности в данной отрасли.

Все перечисленные проблемы являются причиной увеличения длительности доставки груза, роста временных и денежных затрат на перевозку. В целом такая ситуация с транспортной системой ведет к замедлению общеэкономического роста России. В условиях современной России решение данных проблем осложнено тем фактом, что 80 % объема транспортной работы приходится на железнодорожный транспорт. Если рассматривать мировую систему доставки, то 60 % сделок заключаются с использованием морского вида транспорта.

Безусловно, возникшие проблемы транспортной системы России необходимо решать, поэтому далее мы представим наши идеи, которые могут быть использованы при реформировании транспортной системы РФ [6].

Во-первых, необходимо увеличить финансирование транспортной отрасли. Такой шаг позволит обновить транспортные средства, также станет

возможным внедрение современных технологии и инновации в систему транспорта РФ. Кроме того, появится возможность построения и улучшения грузовых терминалов. Во-вторых, решение проблемы, вызванной снижением уровня безопасности, включает в себя проведение систематического и детального мониторинга транспорта и автодорожного полотна [7].

На наш взгляд, участие работников в различных конференциях и курсах по повышению квалификации позволит им получить углубленные знания для применения их на практике. Важным этапом в преодолении логистических проблем является построение правильных и оптимальных маршрутов, для достижения этой цели необходимо выделение средств на разработку IT-программ и соответствующего обеспечения. Важным шагом в решении проблем является

повышение эффективности законодательной базы. Это может быть достигнуто за счет создания специальной комиссии, которая будет включать юристов разных областей права и представителей транспортных компаний. Возможно, такое сотрудничество позволит изучить основные детали и особенности транспортной отрасли, что в итоге повысит эффективность законопроекта [8].

Проведенный анализ показал, что многие проблемы транспортной отрасли

РФ остаются нерешенными. Таким образом, большинство проблем транспортной системы РФ могут быть решены посредством мероприятий, которые были предложены в статье. Выдвинутые решения позволят повысить качество предоставляемых услуг, ускорить развитие транспортной логистики в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Василиади, С.И.** Современное состояние транспортной инфраструктуры и проблемы развития транспортной логистики в РФ. – Текст : электронный. // Информинфо : [сайт] : 2018. – URL: <http://www.acxk.pf/> (дата обращения : 11.11.2023).

2. Leaders of change key strategic instruments: marketplaces as the basis of the uberization model for managing global companies / M.A. Gurina, Yu.V. Romyantseva, T.I. Liberman, I.S. Shchetinina. – Text : immediate // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – Vol. 11, №.3. – P.110. – DOI 10.14456/ITJEMAST.2020.21. – EDN BPZINC.

3. **Либерман, Б.А.** Необходимость учета экологических аспектов при инновационных транспортных проектах / Б.А. Либерман. – Текст : непосредственный // Информационно-коммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ'2018 : материалы I Международной научно-практической конференции, Липецк, 12–13 декабря 2018 года. В 2-х томах. Т 2. –

Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2018. – С. 221–224. – EDN VODNHJ.

4. **Таболкина, А.А.** Инновационные процессы на металлургических комбинатах / А.А. Таболкина, Б.А. Либерман, А.И. Малахов. – Текст : непосредственный // Транспорт. Тенденции развития современной науки : материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: Липецк, 14–18 апреля 2018 года. В 2 частях. Ч. 2. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2018. – С. 92–94. – EDN IEBRDY.

5. **Коваленко, М.О.** Изменения в правилах перевозки грузов и пассажиров транспортными компаниями в РФ / М.О. Коваленко, Б.А. Либерман. – Текст : непосредственный // Транспорт. Тенденции развития современной науки : материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 14–18 апреля 2018 года. Том 2. Часть 1. – Липецк: Липецкий государственный

технический университет, 2018. – С. 129–130. – EDN XWHWMH.

6. **Спесивцева, Д.В.** Использование новых технологий в грузоперевозках / Д.В. Спесивцева, Б.А. Либерман. – Текст : непосредственный // Транспорт. Тенденции развития современной науки : материалы научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2 частях. Ч.2. – Липецк, 14–18 апреля 2018 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2018. – С. 69–70. – EDN XWJHXXN.

7. **Кривчикова, Е.С.** Цифровые технологии на железной дороге / Е.С. Кривчикова, Б.А. Либерман. – Текст : непосредственный // Инженерия в строительстве и транспорте. Актуальные исследования в современной науке :

материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 30 апреля 2019 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2020. – С. 193–197. – EDN PTXQRO.

8. **Либерман, А.А.** Модель оптимизации автотранспортных потоков на сети / А.А. Либерман, Б.А. Либерман. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета : материалы итоговой научной конференции, Липецк, 10 мая 2010 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2010. – С. 275–276. – EDN ORNWSP.

Сведения об авторах:

Устинова Елизавета Дмитриевна
студент кафедры организации перевозок,
Липецкий государственный технический университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
ustinova@gmail.com

Либерман Борис Александрович
кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок,
Липецкий государственный технический университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
liberman_ba@stu.lipetsk.ru

Information about the authors:

Ustinova Elisaveta Dmitrievna
Specialist student,
Department of Transportation Organization,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
ustinova@gmail.com

Liberman Boris Aleksandrovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Transportation Organization,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
liberman_ba@stu.lipetsk.ru

И.В. ЖИЛИН

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Работа посвящена решению актуальных проблем информационной безопасности на предприятии автомобильного сервиса. В частности, рассматриваются вопросы, связанные с моделью угроз информации. Представлены требования законодательства в этой сфере. Для разработки модели рекомендован рассмотренный в работе порядок действий и их особенности. Предложено использовать рациональные методы принятия решений.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационная система, автосервисное предприятие, бизнес-процессы, угроза информации, модель угроз, методы принятия решений.

I.V. ZHILIN

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SECURITY THREAT MODEL FOR A CAR SERVICE COMPANY

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper discusses the solution of urgent information security problems in a car service company, in particular those related to the information security threat model. Legal requirements in this field are considered. The paper recommends a sequence of detailed activities to develop the model. It is proposed to use rational decision-making methods.

Keywords: information security, information system, car service company, business processes, information threat, threat model, decision-making methods.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в различных областях деятельности все большее применение находят современные информационные технологии. Это касается управленческой деятельности предприятий вообще и автосервисных предприятий в частности.

С одной стороны, такая информатизация (точнее, цифровизация) позволяет автоматизировать бизнес-процессы, что обеспечивает сокращение их времени, облегчение труда человека, возможность работы с большими объемами информации и оперативному получению управленческой информации.

С другой стороны, появляются угрозы, связанные с информационной безопасностью. В результате их реализации на предприятии могут возникнуть последствия, в том числе непоправимые, которые могут негативно и существенно повлиять на деятельность предприятия. Но упомянутые угрозы могут быть минимизированы или даже купированы грамотными и своевременными действиями соответствующего персонала.

При этом из-за недостаточности практических разработок такого рода в автосервисной отрасли наблюдается дефицит публикаций.

Целью работы является разработка модели угроз безопасности информации автосервисного предприятия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве основы для рассматриваемой в настоящей работе предметной области служит Федеральный закон от 27.07.2006 №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [1]. В нём даются определения основных понятий, связанных с данной предметной областью, описываются права граждан, особенности применения информационных технологий и обеспечения защиты информации.

Информационная система (ИС) – совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств [1].

В соответствии с ситуацией, связанной с рассматриваемым автосервисным предприятием, необходимо рассмотреть следующие понятия.

Информационная безопасность (ИБ) – состояние защищенности информации и поддерживающей ее инфраструктуры с целью недопущения причинения вреда их владельцам с помощью совокупности организационных, программных, аппаратных средств и методов. Она определяется такими свойствами информации, как конфиденциальность, целостность, доступность

Защита информации – правовые, организационные и технические меры, направленные на обеспечение защиты информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения, а также от иных неправомерных действий в отношении такой информации [1].

Построение модели угроз безопасности информации происходит в соответствии со следующими этапами:

1) определение особенностей ИС и области действия модели угроз ИБ. Здесь надо очертить все объекты защиты и

сегменты в логических и физических границах ИС, в которых оператором принимаются и контролируются меры защиты информации с учетом структурно-функциональных характеристик и особенностей функционирования ИС.

2) исследование угроз ИБ, в том числе построение модели нарушителя. Угроза ИБ рассматривается как совокупность: источника угрозы, факторов, обуславливающих возможность реализации угрозы (уязвимостей), методов реализации угрозы, последствий от реализации угрозы.

3) оценка актуальности угроз, при которой происходит идентификация угроз по степени значимости.

4) мониторинг результатов и переоценка угроз.

Базой для составления моделей угроз и нарушителей информационной безопасности являются ряд нормативных и методических документов, применение которых связано с некоторыми особенностями.

Федеральный закон от 27.07.2006 №152-ФЗ «О персональных данных» [2] регламентирует действия с любой информацией, относящейся к прямо или косвенно определенному или определяемому физическому лицу (субъекту персональных данных). Субъектами персональных данных в случае автосервисного предприятия являются персонал, клиенты, контрагенты. В законе одной из мер по обеспечению безопасности персональных данных является определение угроз их безопасности при обработке в информационных системах. Также каждый оператор обязан проводить оценку вреда, который может быть причинен субъектам персональных данных в случае нарушения требований закона, и определять угрозы безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах. Поскольку это требования закона, то на предприятии автосервиса такая работа должна быть проведена. При ее проведении нужно опираться на такие

документы, как «Требования к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [5] и «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах» [7].

К моделированию угроз целесообразно привлекать ответственных за обработку и защиту персональных данных, персонал, осуществляющий работу по администрированию и техническому сопровождению информационно-технологической инфраструктуры организации, а также сторонние организации, имеющие лицензии на осуществление деятельности по технической защите конфиденциальной информации.

Конечным результатом процесса моделирования угроз должен стать документ – модель угроз, содержащий перечень значимых (актуальных) для защищаемого объекта угроз безопасности информации.

«Под актуальными угрозами безопасности персональных данных понимается совокупность условий и факторов, создающих актуальную опасность несанкционированного, в том числе случайного, доступа к персональным данным при их обработке в информационной системе, результатом которого могут стать уничтожение, изменение, блокирование, копирование, предоставление, распространение персональных данных, а также иные неправомерные действия.» [5]. Все такие угрозы делятся на три типа.

Правительством РФ для персональных данных устанавливается [2, 5]:

- 1) уровни их защищенности (4 уровня);
- 2) требования к их защите;
- 3) требования к материальным носителям биометрических данных.

Для автосервисного предприятия может быть применен четвертый уровень защищенности персональных данных, а если в ИС обрабатываются

биометрические персональные данные, то – третий уровень.

В настоящей работе были использованы следующие методы:

- системный анализ;
- многокритериальное оценивание при принятии решения.

ТЕОРИЯ И РАСЧЕТЫ

Результаты оценки угроз безопасности информации отражаются в модели угроз, которая представляет собой описание систем и сетей и актуальных угроз безопасности информации.

Модель угроз (безопасности информации) – физическое, математическое, описательное представление свойств или характеристик угроз безопасности информации. Это – один из главных элементов всего пакета внутренних документов ИБ, который должен содержать выявление вероятных угроз для ИС. На основе разработанной модели угроз безопасности информации определяются негативные последствия от их реализации вплоть до оценки рисков (ущерба).

Целью определения угроз безопасности информации является установление следующего:

- существует возможность нарушения безопасности информации, содержащейся в ИС;
- нарушение ИБ наносит ущерб для:
 - владельца информации;
 - оператора ИС;
 - субъектов персональных данных.

Моделирование угроз ИБ должно соответствовать следующим принципам:

- носить системный характер;
- осуществляться:
 - на этапе проектирования ИС;
 - в ходе эксплуатации ИС;
- оценка угроз безопасности информации должна проводиться современными научными методами.

Формирование перечня всех возможных угроз является непростой задачей даже для

специалиста. На помощь могут прийти разнообразные методики: классификаторы угроз, деревья угроз или шаблоны типовых компьютерных атак.

Первоначально должен быть выполнен аудит существующего положения дел на предприятии, связанного с безопасностью информации.

Основными бизнес-процессами автосервисного предприятия являются:

- приемка и выдача автомобиля, во время которых происходит взаимодействие мастера с клиентом с оформлением различного рода документов;
- производство. Здесь процесс перемещается в производственные зоны и его субъектом становится представитель производственного персонала;
- материально-техническое обеспечение производства (запчасти, материалы, инструменты, оборудование). Здесь к работе подключаются работники складов и службы материально-технического снабжения;
- учет. Здесь фиксируются и обрабатываются финансовые показатели производственного процесса.

Обозначим бизнес-процессы $НП_j$, где $j = 1, 2, \dots, n$. В данном случае $n = 4$.

Для указанных бизнес-процессов была проведена оценка важности каждого из этих процессов по следующим критериям:

- допустимый простой процесса, измеряемый в часах;
- финансовые потери от простоя в рублях;
- влияние на связь с клиентом в рублях;
- репутационные потери.

Оценка важности каждого из бизнес-процессов после оценки в натуральных единицах была переведена в безразмерные баллы (от 1 до 5). Затем все указанные критерии были сведены в один аддитивный критерий $КП_j$, который является оценкой важности бизнес-процессов предприятия. В дальнейшем эта

оценка будет служить весовым коэффициентом каждого бизнес-процесса. Для рассматриваемого автосервисного предприятия были определены физические и логические границы ИС, объекты защиты и сегменты ИС. На основе этого был сформирован перечень информационных активов предприятия (всего их 15), которые можно поделить на следующие категории: собственно информация (базы и банки данных), программное обеспечение, ИТ-устройства и сети. Обозначим информационные активы $НА_i$, где $i = 1, 2, \dots, m$. В данном случае $m = 15$.

В настоящей работе в качестве примера представлен анализ только программного обеспечения.

В качестве функциональной ИС автосервисного предприятия используется система «Автодилер». Она функционирует в локальной сети (сервер и восемь автоматизированных мест, расположенных в разных подразделениях) и имеет выход в сеть Интернет. Система «Автодилер» обладает всем необходимым функционалом современного уровня [11].

Кроме того, на предприятии используется «1С: Бухгалтерия», с помощью которой ведется кадровый учет. Также на предприятии для выполнения общеофисных работ используются MS Word, MS Excel, MS Outlook.

Рассмотренные выше информационные активы предприятия также оцениваются в баллах, исходя из критериев стоимости (в т.ч. и стоимости восстановления), наличия/отсутствия резерва и сервисного договора и пр. Диапазон значений по каждому критерию различен, начиная с двухуровневого (от 0 до 1), и заканчивая десятиуровневым (от 0 до 9). Далее также произведено сведение отдельных оценок в одну аддитивную $КА_j$. В результате получается общая балльная оценка информационных активов, которая в дальнейшем будет их весовым коэффициентом.

Далее выполняется оценка влияния информационных активов на бизнес-

процессы, обозначенная O_{ij} . При этом оценка производится простейшим способом в виде баллов 0 или 1 (нет влияния или есть).

И, наконец, выполняется определение влияния активов предприятия на бизнес-процессы в виде балльной оценки (O_i , табл. 1). При этом общая оценка каждого информационного актива

$$O_i = \sum_{j=1}^n O_{ij} \cdot KA_i \cdot КП_j, \text{ где } i = 1, 2, \dots, m.$$

Таблица 1

Определение влияния активов предприятия на бизнес-процессы

Влияние			Бизнес-процессы					Общая оценка
	Название	Коэф.	НП ₁	НП ₂	...	НП ₄		
			КП ₁	КП ₂	...	КП _i	...	
Информ. активы	НА ₁	КА ₁	O ₁₁	O ₁₂	...	O _{1j}	...	O ₁
	НА ₂	КА ₂	O ₂₁	O ₂₂	...	O _{2j}	...	O ₂

	НА _i	КА _i	O _{i1}	O _{i2}	...	O _{ij}	...	O _i

При ее сравнении с принятым критерием определяется необходимость и целесообразность защиты активов предприятия. При этом шкала оценок делится на три части, где граничными значениями являются 0, K_1 , K_2 и K_3 . Значение $K_3 = \max(O_i)$, $K_1 = K_3/3$, $K_2 = 2 K_3/3$. Решение формулируется в терминах «необходимо» (от 0 до K_1), «рекомендуется» (от K_1 до K_2) и «нецелесообразно» (от K_2 до K_3).

Все, участвующие в рассмотрении, информационные активы с оценкой «необходимо» однозначно отбираются для дальнейшего исследования, а с оценкой «нецелесообразно» – не отбираются. По активам с оценкой «рекомендуется» решение принимает человек на основе дополнительных аргументов (например, бюджета, выделенного на защиту информации). Далее для отобранных на предыдущем этапе активов выполняется анализ и оценка

Процесс определения угроз безопасности информации охватывает область всего предприятия (компьютерное

и сетевое оборудование, сети, инфраструктуру, персонал) с его ИС, а также ряд внешних факторов. В соответствии с этой областью формируется область действия модели угроз ИБ.

Угрозы безопасности связаны с источниками угроз и уязвимостями. Большая часть угроз носит антропогенный характер и реализуется разного рода нарушителями. К ним можно отнести системного администратора; программиста; пользователей ИС; пользователей, являющихся внешними по отношению к конкретной ИС; лиц, обладающих возможностью доступа к системе передачи данных и т.д.

В результате проведенного исследования, выполненного на основе рекомендаций [7], построена модель каждого потенциального нарушителя. Для рассматриваемого предприятия составлены модели нарушителей (табл. 2). Это необходимо для более полного понимания угроз со стороны нарушителей.

Модели нарушителей

Нарушитель	1	2	...
Тип	Внешний	Внутренний	
Вид	Лицо, совершающее компьютерное преступление	Пользователи ИС	
Уровень знаний об ИС	Чувствительная информация	Эксплуатационная информация	
Потенциал	Базовый повышенный (средний)	Базовый (низкий)	
Цели (мотивация)	Причинение имущественного ущерба путем мошенничества или иным преступным путем	Реализация угроз безопасности информации непреднамеренно из-за неосторожности или неквалифицированных действий	
Возможные способы реализации угроз ИБ	Воздействие на аппаратную часть системы; Воздействия на информацию во время ее передачи по каналам связи	Несанкционированный доступ и (или) воздействия на объекты на прикладном уровне	

Для угроз, которые оказывают воздействие на целостность, доступность,

Для рассматриваемого предприятия также учитываются угрозы техногенного характера.

В итоге получим перечень угроз, которые будем нумеровать индексом $k = 1, 2, \dots, u$. В нашем случае таких угроз отобрано 12.

В ходе дальнейшего построения модели по методике ФСТЭК [6] определим показатель актуальности угрозы безопасности информации или риск как двухкомпонентный вектор:

$$R_k = ((P_k), (X_k)),$$

где P_k – вероятность реализации угрозы;

X_k – степень ущерба от угрозы.

Вероятность реализации угрозы рекомендуется определять качественными показателями: низкая, средняя и высокая. При этом специалистами сформулированы факторы отнесения ситуации к тому или иному уровню.

Результат реализации угрозы определяется воздействием на каждое из свойств безопасности информации (целостность, доступность, конфиденциальность).

конфиденциальность информации, будем осуществлять оценку ущерба экспертным методом.

Для оценки итоговой степени ущерба берется максимальное значение по всем свойствам безопасности информации:

$$X_k = \max_s (X_{ks}), \text{ при } s = K, Ц, Д,$$

где K – конфиденциальность информации;

$Ц$ – целостность информации;

$Д$ – доступность информации.

Те угрозы, которые оценены как актуальные, включаются в модель угроз безопасности информации. В нашем случае таких было семь. Для них разрабатываются системные мероприятия по защите информации.

В дальнейшем рекомендуется проводить переоценку угроз ИБ не реже одного раза в год, а также в следующих случаях:

- изменения законодательства РФ в области ИБ;
- изменения конфигурации ИС, приведших к появлению новых угроз ИБ;

- выявления новых уязвимостей ИС, приводящих к появлению новых угроз ИБ или повышению возможности реализации существующих угроз;
- появления сведений о новых возможностях нарушителей.

Таким образом, в работе показаны порядок и особенности разработки модели угроз информации. Значимость

результатов работы объясняется возможностью их применения на автосервисном предприятии. Тем самым удастся упорядочить работу специалистов, повысить уровень защищенности информации и эффективность функционирования автосервисного предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы.

Об информации, информационных технологиях и о защите информации. Федеральный закон №149-ФЗ : [принят 27.07.2006]. – Текст : электронный // Консультант : [сайт] : 2006. – URL : <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=436808&dst=0&edition=etD&rnd=stgVA#tHWkfdT80in5FOhE1> (дата обращения: 30.04.2023).

2. Российская Федерация. Законы.

О персональных данных. Федеральный закон №152-ФЗ : [принят 27.07.2006]. – Текст : электронный // Консультант : [сайт]: 2006. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=439201&dst=0&edition=etD&rnd=stgVA#ZdzofdTtCE0CfND2> (дата обращения: 30.04.2023).

3. Российская Федерация. Законы.

О коммерческой тайне. Федеральный закон № 98-ФЗ: [принят 29.07.2004]. – Текст : электронный. – Консультант : [сайт] : 2006. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=422022&dst=0&edition=etD&rnd=stgVA#PMasqdTIDso8LxQK> (дата обращения: 30.04.2023).

4. ГОСТ Р 53114-2008. Защита информации.

Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения = Data protection. Ensuring information security in the organization. Basic terms and definitions : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18

декабря 2008 г. № 532-ст – 2023. – Текст : электронный // Национальный стандарт Российской Федерации. [сайт] : 2023. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075565> (дата обращения: 30.04.2023).

5. Требования к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (утв. постановлением Правительства РФ от 01.10.2012 №1119). – Российская газета. – 2012. – № 256. – Текст : электронный // [сайт]. – URL : <https://rg.ru/documents/2012/11/07/pers-dannye-dok.html> (дата обращения: 30.04.2023).

6. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации (утв. ФСТЭК России 05.02.2021). – Текст : электронный // Консультант : [сайт] : – 2023. – URL : <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=378330&dst=0&edition=etD&rnd=stgVA#noeVfdTQYhf33iqp> (дата обращения: 30.04.2023).

7. Методический документ. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах (утв. ФСТЭК РФ 15.02.2008). – Текст : электронный // Консультант : [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=99662&dst=0&edition=etD&rnd=stgVA#hpodfdTKE N4eJqF41> (дата обращения: 30.04.2023).

8. **Коростелев, А.А.** Развитие применения информационных технологий на автомобильном транспорте / А.А. Коростелев, И.В. Жилин. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов

докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета : в 2-х частях. Ч.2. – Липецк : Липецкий государственный технический университет. 2017. – С. 558–560. EDN: ZDAITJ.

9. **Малыхин, В.И.** Математические методы принятия решений: учебное пособие / В. И. Малыхин, С. И. Моисеев. – Воронеж: ВФ МГЭИ, 2009. – 102 с. – Текст : непосредственный.

10. **Мельников, В.П.** Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие для студентов учреждения высшего профессионального образования / В.П. Мельников, С.А. Клейменов, А.М. Петраков. – 6-е изд., стер. – Москва : Академия, 2012. – 330 с. – ISBN: 978-5-7695-9222-0.

11. Компания «АвтоДилер» – разработка программ для автобизнеса : – URL : <https://autodealer.ru/> (дата обращения: 30.04.2023). — Загл. с экрана. – Текст, изображение : электронные.

12. **Awad, A.I.** Information Security. Foundations, technologies and applications /

A.I. Awad, M. Fairhurst. – The Institution of Engineering and Technology, 2018. – 418 p. – (IET Security). – ISBN: 9781849199742. – Text : immediate

13. **Fischer, R.** Introduction to Security / R. Fischer, E. Halibozek, D. Walters. — Butterworth-Heinemann, 2019. – 562 p. – ISBN: 978-0-12-805310-2. – Text : immediate

14. **Insua, D.** Security Risk Models for Cyber Insurance / D. Insua, C. Baylon, J. Vila. – Chapman and Hall/CRC, 2021. – 173 p. – ISBN 9780367339494. – Text : immediate.

15. **Peltier, T.R.** Information Security Fundamentals. / T.R. Peltier. – 2nd ed. – Text : immediate // – Auerbach Publications, 2013. – 424 p. – ISBN: 1439810621, 9781439810620.

16. **Smith, R.E.** Elementary Information Security / R.E. Smith : 3rd Edition. – Jones & Bartlett Learning, 2021. – 708 p. – ISBN: 9781284153040. – Text : immediate.

17. **Stallings, W.** Computer Security: Principles and Practice / W. Stallings, L. Brown. – London : Pearson Education Limited, 2018. – 986 p. – Text : immediate.

Сведения об авторах:

Жилин Игорь Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

zhilini@mail.ru, kafedrauat@mail.ru

Information about the authors:

Zhilin Igor Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Motor Transport Management, Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/23049235_2023_4_46

УДК 669.162

В.Н. ТИТОВ, И.В. КУПРИЯНОВА, Т.В. КРАВЧЕНКО

**ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА (CSR)
НА ДРЕНАЖНУЮ СПОСОБНОСТЬ КОКСОВОЙ НАСАДКИ В ДОМЕННЫХ
ПЕЧАХ РАЗНОГО ОБЪЕМА**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Приведены результаты оценки влияния показателя горячей прочности кокса (CSR) на дренажную способность коксовой насадки. Отмечено, что с повышением горячей прочности кокса дренажная способность коксовой насадки возрастает, при этом с увеличением объема доменной печи и удельного шлака данное влияние усиливается.

Ключевые слова: дренажная способность, CSR, коксовая насадка, выход шлака, доменная печь.

V.N. TITOV, I.V. KUPRIYANOVA, T.V. KRAVCHENKO

**INFLUENCE OF CSR INDEX ON THE COKE PACKING DRAINAGE CAPACITY
IN BLAST FURNACES OF DIFFERENT VOLUME**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper presents the results of assessing the influence of the coke strength after reaction (CSR) index on the drainage capacity of the coke packing. It is noted that a higher CSR increases the drainage capacity of the coke packing, while a greater volume of the blast furnace and of specific slag intensify this influence.

Keywords: drainage capacity, CSR, coke packing, slag output, blast furnace.

Одной из составляющих структуры столба шихты в доменной печи является коксовая насадка, которая расположена в районе горна, заплечиков и распара [1]. Помимо функции аккумуляции тепла в нижней части доменной печи [2] важной функцией коксовой насадки является обеспечение дренажа продуктов плавки в район чугунных леток [3].

В связи с тем, что коксовая насадка является массивом кокса [4], то на ее дренажную способность существенное влияние оказывает порозность кокса, которая в свою очередь зависит от среднего размера его куска в горне [5, 6].

Средний размер куска кокса в горне доменной печи зависит от нескольких факторов, среди которых основным является показатель горячей прочности кокса (CSR – Coke Strength after Reaction). Данный показатель характеризует прочность кокса после его взаимодействия с CO_2 при температурах 1 000 °С и более (условия, характерные для района горна и заплечиков в доменной печи). В связи с этим важным фактором, обуславливающим дренажную способность коксовой насадки, является горячая прочность кокса [7–11].

С учетом изложенного выше проведен анализ влияния горячей прочности кокса на дренажную способность коксовой насадки. Оценку производили по данным работы доменных печей компании «Арселор Миттал». Печи характеризовались широким диапазоном их размеров (объем от 750 до 4 700 м³) и видом вдуваемого топлива (ПУТ, природный газ, мазут и т.д.). Горячая прочность кокса изменялась в диапазоне от 55 до 70 %.

Дренажную способность коксовой насадки оценивали с использованием показателя «cleanliness», характеризующего ее чистоту. Данный показатель используется во многих компаниях [12–15].

Расчет данного показателя основан на сравнении количества углерода в насыщенном жидком чугуна (C_{sat}) и фактического содержания углерода (C_{actual}). Формула представлена ниже.

$$cleanliness = \frac{\Delta C}{2,57 \cdot 10^{-3}} = \frac{C_{sat} - C_{actual}}{2,57 \cdot 10^{-3}}. \quad (1)$$

Содержание углерода в насыщенном состоянии рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{sat} = 1,3 + 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{ч}} - 0,31 \cdot [Si] - 0,33 \cdot [P] - 0,4 \cdot [S] + 0,028 \cdot [Mn] \quad (2)$$

где $t_{\text{ч}}$ – температура чугуна, °C;

[Si], [P], [S], [Mn] – содержание соответствующих элементов в чугуне, %

В дальнейшем была проведена оценка связи чистоты коксовой насадки с горячей прочностью кокса для доменных печей разного объема. Массив данных был разбит по объему доменных печей на три группы:

- доменные печи малого объема – 700-1 600 м³;
- доменные печи среднего объема – 1 600-2 800 м³;
- доменные печи большого объема – 2 800-4 700 м³.

Результаты оценки представлены на рис. 1.

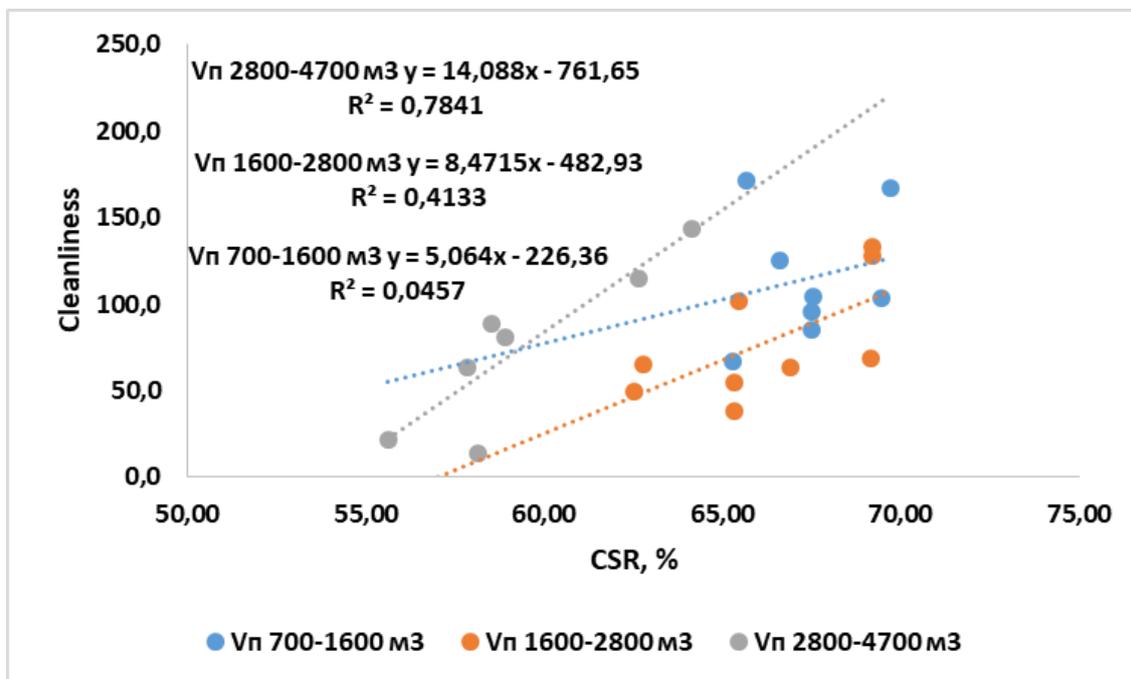


Рис. 1. Влияние горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки для печей разного объема

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением объема доменных печей влияние горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки возрастает. Так для доменных печей малого объема увеличение горячей прочности кокса на 1% способствует росту показателя чистоты коксовой насадки на 5,1 ед. При этом низкий коэффициент корреляции указывает на факт того, что данное влияние носит качественный характер. Для доменных печей среднего объема данное влияние возрастает и составляет 8,5 ед. на каждый 1 % увеличения горячей прочности. Влияние для доменных печей большого объема усиливается и составляет 14,1 ед./%. Данный характер влияния обусловлен тем, что с увеличением объема доменных печей возрастает нагрузка столба шихты на кокс, что соответственно приводит к большему разрушению кусков кокса и к усилению

роли горячей прочности кокса в формировании гранулометрического состава кокса в горне печи.

В среднем можно отметить, что при увеличении объема доменных печей на 1 000 м³ влияние горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки увеличивается на 3,6 ед./% при объеме доменных печей до 2 800 м³, а на печах большого объема (более 2 800 м³) влияние горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки увеличивается на 5,1 ед./%. Графически данная связь представлена на рис. 2.

В связи с тем, что на дренажную способность горна существенное влияние оказывает жидкостная нагрузка и в первую очередь выход шлака, как наиболее вязкого продукта доменной плавки, дополнительно было оценено влияние горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки при разном уровне выхода шлака. Результаты оценки представлены в табл. 1.

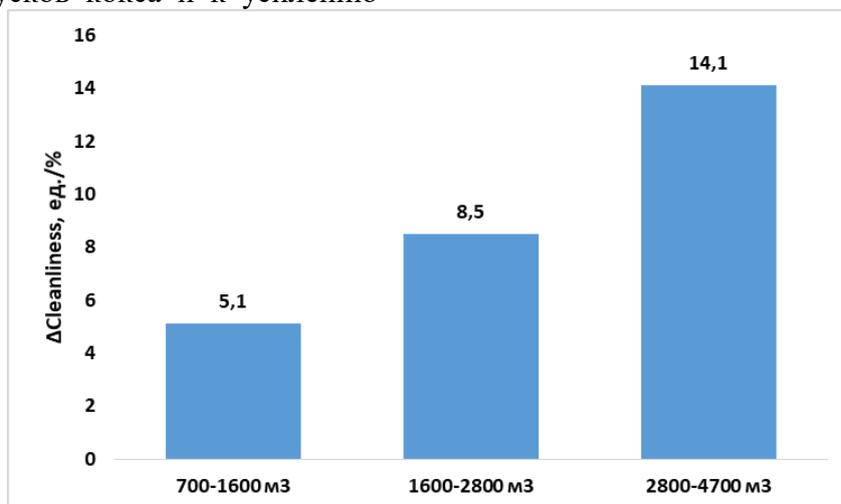


Рис. 2. Влияние объема доменных печей на удельное изменение чистоты коксовой насадки при увеличении горячей прочности на 1%

Таблица 1

Влияние горячей прочности на показатель «cleanliness» при разном уровне выхода шлака, ед./%

Выход шлака	Объем печи		
	700–1 600 м ³	1 600–2 800 м ³	2 800–4 700 м ³
< 300 кг/т	9,2	7,1	2,7
300-350 кг/т	18,1	-	2,4

> 350 кг/т	22,3	12,7	20,1
------------	------	------	------

Графическая интерпретация данных, представленных в табл. 1, показана на рис. 3.

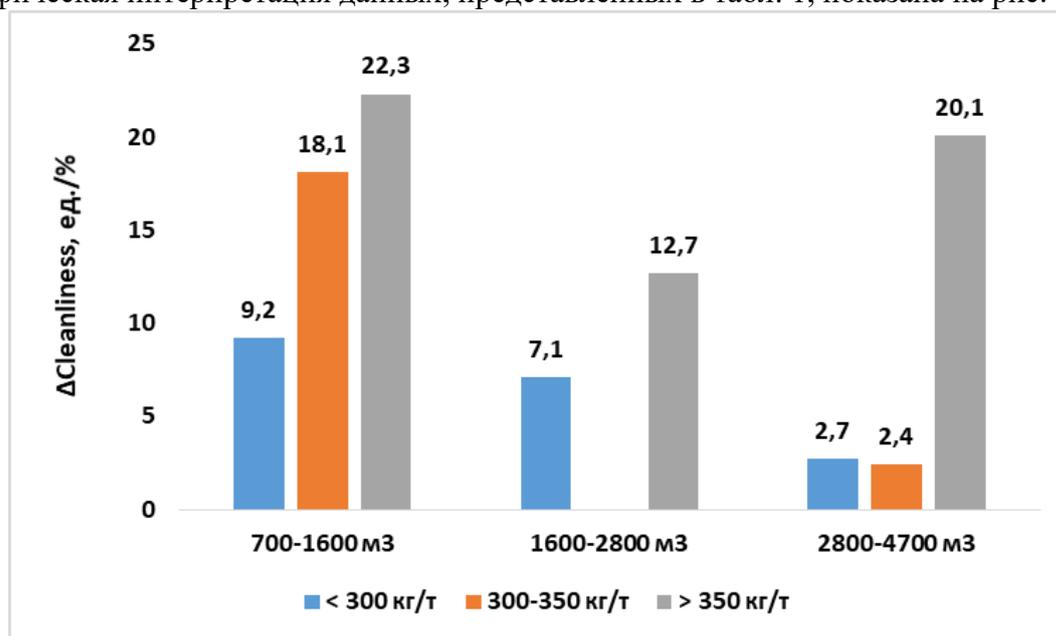


Рис. 3. Влияние горячей прочности на показатель «cleanliness» при разном уровне выхода шлака

Анализ рис. 3 показывает, что для всех доменных печей существует устойчивая связь между величиной влияния горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки и удельным выходом шлака. Отмечается, что с увеличением выхода шлака влияние горячей прочности кокса на состояние коксовой насадки возрастает. Это объясняется тем, что с увеличением выхода шлака возрастает его количество, фильтрующееся через коксовую насадку, в результате чего возрастает роль размера куска кокса, обусловленного его горячей прочностью.

Сопоставляя изменение коэффициента влияния для печей разного объема следует отметить некоторое отличие в характере. Для печей малого объема идет постепенное увеличение с 9,2 ед./% при выходе шлака до 300 кг/т, до 18,1 ед./% при выходе шлака 300-350 кг/т и до 22,3 ед./% при выходе шлака свыше 350 кг/т. Для печей большого объема отмечается существенное увеличение только при выходе шлака свыше 350 кг/т (20,1 ед./%), тогда как изменения выхода шлака с уровня менее 300 кг/т до уровня 300-350 кг/т коэффициент влияния

горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки находится на одном уровне (2,4-2,7 ед./%).

Данное отличие можно объяснить конструктивными особенностями доменных печей, которые заключаются в разном количестве чугунных леток. Для доменных печей малого объема характерно наличие 1-2 чугунных леток, что приводит к окружной неравномерности отработки продуктов плавки и появлению застойных зон (особенно для печей, имеющих 1 чугунную летку или 2 летки на одну сторону). В результате данные печи и конкретно состояние коксовой насадки более чувствительны к изменению удельного выхода шлака.

Доменные печи большого объема имеют, как правило, четыре чугунные летки, расположенные по окружности горна через 90°. Это способствует более равномерной отработке продуктов плавки по окружности горна. В результате чего влияние выхода шлака на состояние коксовой насадки сказывается только при его существенном увеличении.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа данных о работе доменных печей различного объема произведен анализ влияния горячей прочности кокса на состояние коксовой насадки (дренажную способность).

2. В качестве показателя, характеризующего дренажную способность использовали показатель «cleanliness», характеризующий чистоту коксовой насадки

3. Отмечено влияние объема доменной печи на величину влияния. Для доменных печей малого объема увеличение горячей прочности кокса на 1% способствует росту показателя чистоты коксовой насадки на 5,1 ед. При этом низкий коэффициент корреляции указывает на факт того, что данное влияние носит качественный характер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Структура нижней части столба шихты и роль ее элементов в организации процессов плавки / В.И. Большаков, Н.А. Гладков, И.Г. Муравьева [и др.]. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2004. – Вып. 8. – С. 112–119.

2. **Грячко, Г.Ю.** О роли тепловых конденсаторов в доменной плавке / Г.Ю. Грячко, С.Ю. Андриенко, О.С. Похил. – Текст : непосредственный // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1–2. – С. 14–19.

3. **Нисио, Х.** Значение тотермана в доменной печи. Х. Нисио, В. Венцель, Г.В. Гуденау. – Текст : непосредственный. // Черные металлы. – 1977. – № 18. – С. 9–15.

4. **Титов, В.Н.** О длительности обновления коксовой насадки / В.Н. Титов, В.И. Басов, Г.С. Наумова. – Текст : непосредственный // Вестник ЛГТУ. – 2021. – № 1(44). – С. 54–57.

Для доменных печей среднего и большого объемов данное влияние составляет 8,5 ед. и 14,1 ед. на каждый 1 % увеличения горячей прочности соответственно.

4. В среднем при повышении объема доменных печей на 1 000 м³ величина влияния горячей прочности кокса на чистоту коксовой насадки возрастает на 3,6–5,1 ед./%.

5. Также установлено, что на величину влияния горячей прочности кокса на дренажную способность горна оказывает влияние удельный выход шлака. С увеличением удельного выхода шлака величина влияния возрастает. Характер влияния выхода шлака обусловлен конструктивными особенностями доменных печей. При увеличении количества чугунных леток влияние выхода шлака проявляется при его уровне свыше 350 кг/т чугуна.

5. Оценка гранулометрического состава кокса и порозности в нижней части доменной печи / А.В. Кузин, С.Л. Ярошевский, Р.В. Ковальчик [и др.]. – Текст : непосредственный // Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. – Алчевськ : ДонДТУ, 2008. – С. 125–133.

6. **Томаш, А.А.** Анализ влияния различных факторов на порозность зернистых материалов / А.А. Томаш, В.П. Тарасов, И.А. Ковалевский. – Текст : непосредственный. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1998. – № 9. – С. 8–12.

7. **Ishikawa, Y.** Influence of Post Reaction Strength of Coke on Blast Furnace Operation / Y. Ishikawa, M. Kase, Y. Abe and all. – Text : immediate // Proceedings of the 42nd Ironmaking Conference, 1983, – V. 42, – P. 357–371.

8. Assessment of the Blast Furnace Lower Zone Permeability Based on Liquids Flow Distribution / Sheng J. Chew, Paul Julli, Peter R. Austin and all. – Text : immediate // Ironmaking Conference Proceeding. – 2001. – P. 241–252.

9. **Беппер, Э.** Влияние качества кокса на газопроницаемость нижней части доменной печи / Э. Беппер, К. Ланге, К. Мультхаймс. – Текст : непосредственный // Новости черной металлургии за рубежом. – 2001. – № 2. – С. 42–45.

10. **Титов, В.Н.** Количественная оценка влияния различных факторов на дренажную способность горна / В.Н. Титов, В.И. Басов. – Текст : непосредственный // Современная металлургия начала нового тысячелетия : сборник научных трудов. В 2 частях. Ч. 2. – Липецк: ЛГТУ, 2007 – С. 188–193.

11. Современный доменный процесс. Введение. / М. Геердес, Р.Ченюо, И. Курунов [и др.]. – Москва : Металлургиздат, 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный.

12. Heart management at Sidmar for an optimal yot metal and slag evacuation / R. Sergeant, L. Bonte, K. Huysse,

A. Dealman. – Text : immediate // The 5th European coke and ironmaking congress. Proceeding. Second volium. Wel:3.

R.J. Nightingale, F.W.B.U. Tonzil, A.J.G. Beck, K. Price. Blast furnace hearth condition monitoring and taphole management techniques. La Revue de Metallurgie. – Juin 2001. – P. 533–540.

13. On-line wear determination for improved life-time of blast-furnace hearth based on heat-flux meters / O. Hofer, R. Klima, R. Altlond [et al.]. – Text : immediate. // the 3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking 2003, Proceeding. – P. 491–495.

14. Operation guidance techniques for blast furnace casting and liquids management / R.J. Nightingale, F.W.B.U. Tonzil, A.J.G. Beck [et al.]. – Text : immediate. // Proc. 2nd International Congress of the Science and Technology of Ironmaking and 57th Ironmaking Conference, Toronto 1998. – P. 567–580.

Сведения об авторах:

Титов Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Куприянова Ирина Вячеславовна

старший преподаватель кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Кравченко Татьяна Викторовна

старший преподаватель кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Information about the authors:

Titov Vladimir Nikolaevich

Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Kupriyanova Irina Vyacheslavovna

Senior lecturer of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Kravchenko Tatiana Viktorovna

Senior lecturer of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

DOI 10.53015/23049235_2023_4_52
УДК 621.01: 531.8 (075)

А.В. СУХАНОВ, А.В. СУХАНОВ

ИМПУЛЬСНЫЙ ВАРИАТОР ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В настоящей работе представлено описание конструкции и принцип работы импульсного вариатора для передачи крутящего момента. Вариатор применяется в машиностроении в трансмиссиях транспортных средств для передачи крутящего момента, замедления скорости вращения вала и в приводах самого различного технологического оборудования. Импульсный вариатор содержит: неподвижный корпус, в котором установлены ведущая шестерня, сателлиты, ведомая шестерня, водило, приводные шестерни, приводной вал. С помощью планетарного механизма дифференциального типа осуществляется передача вращательного движения и крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой путём замедления скорости вращения водила, с помощью импульсного механизма, который создаёт тормозной момент, необходимый для передачи крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой шестерне дифференциального механизма. С помощью изменения угла наклона шайбы и перемещения ползуна вдоль шлицевого вала осуществляется регулирование величины тормозного момента на водиле и скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу. Преимуществом описанной конструкции вариатора является возможность регулировать скорости ведомой шестерни в зависимости от величины момента сопротивления на шестерне, повышение КПД устройства, снижение тепловых потерь, улучшение надёжности и долговечности устройства.

Ключевые слова: импульсный вариатор, планетарная передача, шестерня, дифференциальный механизм, крутящий момент, приводной вал.

A.V. SUKHANOV, A.V. SUKHANOV

PULSE CVT FOR TORQUE TRANSMISSION

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: This paper presents a description of the design and operating principle of a pulse variator for transmitting torque. CVTs are used in mechanical engineering – in vehicle transmissions to transmit torque, slow down the speed of shaft rotation and in drives of a wide variety of technological equipment. The pulse variator contains: a fixed housing in which the drive gear, satellites, driven gear, carrier, drive gears, and drive shaft are installed. With the help of a differential type planetary mechanism, rotational motion and torque are transmitted from the drive gear to the driven gear by slowing down the speed of rotation of the carrier, using an impulse mechanism, which creates the braking torque necessary to transmit torque from the drive gear to the driven gear of the differential mechanism. By changing the angle of inclination of the washer and

moving the slider along the spline shaft, the magnitude of the braking torque on the carrier and the rotation speed of the driven shaft are adjusted depending on the magnitude of the moment of resistance on the driven shaft. The advantage of the described variator design is the ability to regulate the speed of the driven gear depending on the magnitude of the moment of resistance on the gear, increasing the efficiency of the device, reducing heat losses, improving the reliability and durability of the device.

Keywords: pulse variator, planetary gear, gear, differential mechanism, torque, drive shaft.

В настоящее время существует несколько вариантов конструкций импульсных вариаторов. Например, известен импульсный вариатор (патент RU 2229643 С2 F16H29/04), содержащий корпус, ведущий вал, качающуюся шайбу, снабженную внутренней втулкой с осью и подшипником, механизм изменения угла наклона шайбы, передаточные звенья с механизмами свободного хода и ведомый вал. Также известен импульсный вариатор (патент RU 2410589 С1 F16H29/04), содержащий корпус, ведущий вал, качающуюся шайбу, снабженную внутренней втулкой с осью и подшипником, посаженным в промежуточное кольцо, соединенное осями с наружным кольцом, имеющим цапфы, механизм изменения угла наклона шайбы, передаточные звенья в виде конических шестерен с механизмами свободного хода и ведомый вал с коническим зубчатым колесом.

Недостатком вышеописанных вариаторов является сложность конструкции и использование механизма свободного хода, которая является ненадежным и недолговечным звеном.

Целью данной публикации является ознакомление с разработанной полезной моделью импульсного вариатора,

обладающего следующими преимуществами: возможность регулирования скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу, повышение КПД устройства, снижение тепловых потерь, улучшение надёжности и долговечности устройства. Указанные преимущества достигаются тем, что вариатор снабжён импульсным механизмом, который состоит из шайбы и диска, с которым через пружины соединены грузы с рычагами, шарнирно установленные на диске. Долговечность предложенного устройства по сравнению с прототипом выше, так как вращающий момент ведущего вала трансформируется без преобразования в знакопеременный момент, в результате нет необходимости устанавливать механизм свободного хода. Это повышает и эффективность работы, так как отсутствуют потери энергии, связанные с работой механизма свободного хода.

На рис. 1 изображена кинематическая схема импульсного вариатора (ИВ). На рис. 2 изображена схема импульсного механизма (ИМ).

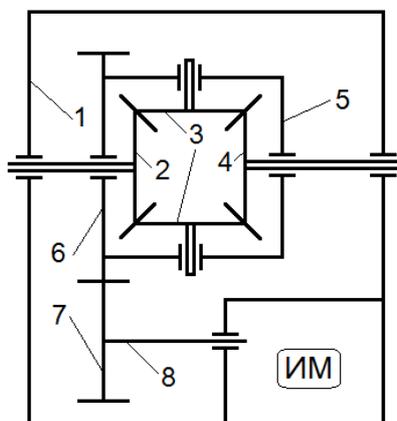


Рис. 1. Кинематическая схема импульсного вариатора

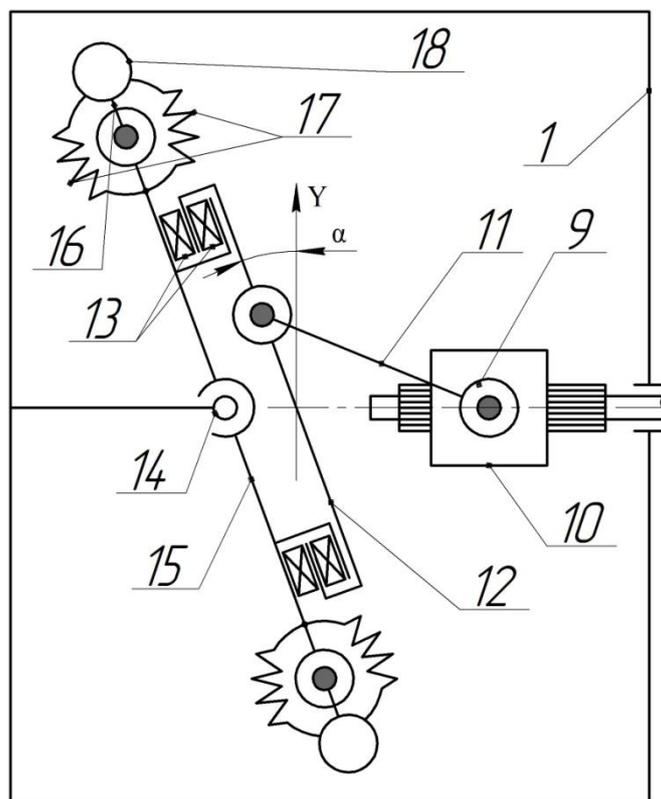


Рис.2. Схема импульсного механизма

Устройство импульсного вариатора (рис. 1, 2) состоит из неподвижного корпуса 1, в котором установлены ведущая шестерня 2, сателлиты 3, ведомая шестерня 4, водило 5, приводные шестерни 6 и 7, приводной вал 8. Импульсный вариатор содержит импульсный механизм, который состоит из следующих деталей: шлицевой вал 9, ползун 10, поводок 11, шайба 12, подшипники 13, шрус 14, диск 15, рычаги 16, пружины 17, грузы 18. Ведущая 2 и ведомая 4 шестерни шарнирно установлены в корпусе 1. Сателлиты 3 шарнирно установлены на водиле 5. Приводная шестерня 7 жёстко соединена с приводным валом 8, который жёстко соединён с шлицевым валом 9. Ползун 10 установлен на шлицевом вале 9 с возможностью перемещения вдоль шлицевого вала 9. Поводок 11 шарнирно соединяется одним концом с ползуном 10, а другим концом с шайбой 12. Шайба 12 через подшипники 13 соединяется с диском 15. Диск 15 соединяется с шрусом 14, который жёстко соединяется с корпусом 1. Рычаги 16 одним концом жёстко соединяются с грузами 18, а

другим концом шарнирно соединяются с диском 15. Пружины 17 соединяются с грузами 18 и диском 15.

Работа импульсного вариатора заключается в следующем.

Под воздействием ведущего крутящего момента ведущая шестерня 2 начинает вращаться (рис.1). От ведущей шестерни 2 крутящий момент передаётся на сателлиты 3. От сателлитов 3 поток мощности делится на два потока, один поток – на ведомую шестерню 4, а второй поток через водило 5, на котором крепятся сателлиты 3, передаётся через приводные шестерни 6 и 7 к приводному валу 8.

От приводного вала 8 вращение передаётся на шлицевой вал 9 (рис. 2), ползун 10, поводок 11, шайбу 12. Вращательное движение шайбы 12 преобразуется в качательное движение диска 15, а затем в колебательное движение грузов 18. Качательное движение диска 15 диссонирует с колебательным движением грузов 18, вследствие чего возникает тормозной момент на шлицевом валу 9.

От шлицевого вала 9 тормозной момент передаётся на приводной вал 8 и

далее через приводные шестерни 6 и 7 на водило 5. Когда тормозной момент на водиле 5 превысит момент сопротивления на ведомой шестерне 4, то ведомая шестерня 4 начнёт вращаться в противоположном направлении относительно направления вращения ведущей шестерни 2. Таким образом, вращательное движение передаётся от ведущей шестерни 2 к ведомой шестерне 4.

С помощью перемещения ползуна 10 поворачивается шайба 12 на угол α относительно вертикальной оси Y. Чем больше угол α , тем больше амплитуда колебаний грузов 18 и тем больше тормозной момент. Если угол $\alpha = 0$, то тормозной момент отсутствует. Изменение величины тормозного момента приводит к увеличению передаваемого крутящего момента от ведущей шестерни 2 к ведомой шестерне 4 и изменению скорости вращения ведомой шестерни 4. Таким образом, с помощью перемещения ползуна 10 осуществляется регулирование величины тормозного момента на шлицевом валу 9, а также скорости вращения и величины передаваемого крутящего момента на ведомой шестерне 4 [1, 2, 3].

Методика расчёта валов для механических передач представлена в работах [4, 5]. Способы вычисления кинематических параметров механизмов рассмотрен в работах [6–9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харитонов, С.А. Автоматические коробки передач. Инструкция по эксплуатации, диагностике и техобслуживанию / С.А. Харитонов, С.А. Сологуб, М.В. Нагайцев. – Москва : Легион-Автодата, 2000. – 80 с. – Текст : непосредственный.

2. Круташов, А.В. Конструкция автомобиля. Коробки передач: учебное пособие / А.В. Круташов. – Москва : Юрайт, 2002. – 117 с. – Текст : непосредственный.

Рассмотренный импульсный вариатор применяется в машиностроении в трансмиссиях транспортных средств для передачи крутящего момента, замедления скорости вращения вала и в приводах самого различного технологического оборудования. Импульсный вариатор содержит: неподвижный корпус, в котором установлены ведущая шестерня, сателлиты, ведомая шестерня, водило, приводные шестерни, приводной вал. С помощью планетарного механизма дифференциального типа осуществляется передача вращательного движения и крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой путём замедления скорости вращения водила, с помощью импульсного механизма, который создаёт тормозной момент, необходимый для передачи крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой шестерне дифференциального механизма. С помощью изменения угла наклона шайбы и перемещения ползуна вдоль шлицевого вала осуществляется регулирование величины тормозного момента на водиле и скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу. Преимуществом описанной конструкции вариатора является возможность регулировать скорости ведомой шестерни в зависимости от величины момента сопротивления на шестерне, повышение КПД устройства, снижение тепловых потерь, улучшение надёжности и долговечности устройства.

3. Гордон, Дж. Автоматические коробки передач и раздаточные коробки. Диагностика и ремонт / Дж. Гордон. – Москва : Алфамер Пабблишинг, 2004. – 392 с. – Текст : непосредственный.

4. Суханов, А.В. Подбор сечения стального ступенчатого вала с заданной мощностью на шкивах / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 2 (51). – С. 77–84.

5. **Суханов, А.В.** Определение деформаций и напряжений при кручении статически неопределимого бруса / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 2 (51). – С. 91–99.

6. **Суханов, А.В.** Графоаналитический метод определения ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 1 (50). – С. 79–85.

7. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского многозвенного механизма второго класса /

А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 1 (47). – С. 77–87.

8. **Суханов, А.В.** Определение ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 62–68.

9. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского восьмизвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 68–76.

Сведения об авторах:

Суханов Андрей Владимирович
старший преподаватель
кафедры общей механики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Суханов Антон Владимирович
студент кафедры технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sukhanov Andrey Vladimirovich
Senior Lecturer Of The Department
Of General Mechanics,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

Sukhanov Anton Vladimirovich
Student Department Of Mechanical
Engineering Technolog,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/23049235_2023_4_56
УДК 621.923.02: 621.763

А.М. КОЗЛОВ, Д.А. ГОЛОБУРДИН, А.А. КОЗЛОВ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье представлено описание фотополимерных смол для 3D-печати на основе различных технологий, таких как SLA-технология (стереолитография), DPL-технология. Представлено описание возможности применения фотополимеров в качестве связки при изготовлении абразивного инструмента.

Ключевые слова: абразивный инструмент, фотополимер, 3D-печать, 3D-принтер, фотополимер-абразивный композит.

ABRASIVE TOOL MAKING USING 3D PRINTING

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article describes photopolymer resins for 3D-printing based on various technologies, viz. SLA technology (stereolithography), DPL technology. A possibility of using photopolymers as a binder in the manufacture of abrasive tools is described.

Keywords: abrasive tools, photopolymer, 3D-printing, 3D-printer, photopolymer-abrasive composite.

ВВЕДЕНИЕ

Рыночные отношения требуют от машиностроительных предприятий создания новых конструкций машин, повышения их быстроходности, что вызывает необходимость разработки и использования новых, высокопрочных материалов. Механическая обработка таких материалов требует проведения экспериментальных исследований для разработки рекомендаций по режимам резания, что требует значительных затрат времени. Вследствие этого, рекомендаций по финишной обработке таких материалов в справочной литературе нет.

Преобладающим видом окончательной обработки поверхностей деталей машин, формирующим основные эксплуатационные характеристики изделия, до настоящего времени остается абразивная обработка, в которой основную долю – до 80 % - занимает шлифование [1]. Вместе с тем, в сложившихся промышленных условиях абразивный инструмент экономически выгодно изготавливать партиями не менее 100 штук. В случае, если инструмент не устроит заказчика, это вызовет не только временные, но и экономические потери.

Таким образом, актуальным становится оперативный подбор правильных характеристик абразивного инструмента, позволяющих обеспечить выполнение требований чертежа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Одной из главных особенностей процесса шлифования является высокая температура в зоне обработки. Снизить её традиционным методом – подачей смазочно-охлаждающей жидкости – удастся далеко не всегда. В этой связи исследователи предлагают делать контакт детали и инструмента прерывистым [2, 3, 4]. В этом случае поверхность инструмента содержит как активные, так и пассивные участки [5]. По такому принципу работают шлифовальные круги с эффектом «бегущего контакта» (рис. 1) [1, 6], разделительными канавками,

полученными обтачиванием [7] или высококонцентрированными потоками энергии (лазерным выжиганием [8] (рис. 2).

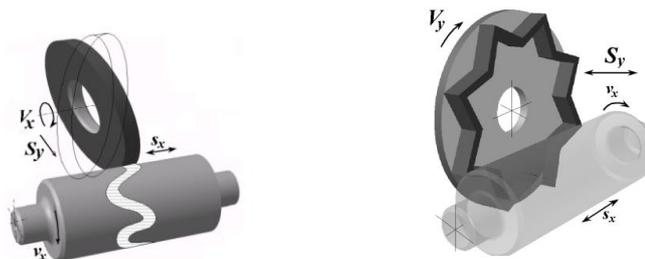


Рис. 1. Схемы реализации прерывистого шлифования [1, 6]

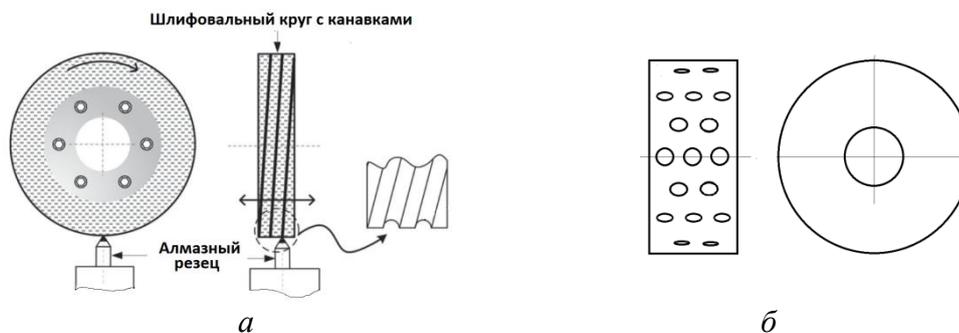


Рис. 2. Шлифовальные круги для прерывистого шлифования:
a – с нанесением на поверхность круга разделительных канавок [7];
б – с образованием лунок (пассивных зон) потоками энергии [8]

Однако представленные конструкции шлифовальных кругов для обеспечения прерывистости резания требуют дополнительной обработки по нанесению пассивных зон. Вместе с тем, в настоящее время интенсивно развивается изготовление изделий методами 3D-печати, в том числе режущих инструментов [9]. Установлено, что использование 3D-печати для изготовления различных изделий в промышленном масштабе позволяет значительно сократить затраты энергоресурсов [10]. Вместе с тем, исследований по изготовлению абразивных инструментов такими методами проведено недостаточно.

Значительные трудности вызывает подбор связки абразивного инструмента.

Структура шлифовального круга характеризуется соотношением абразивного материала, связки и пор. Связка удерживает абразивные зерна в инструменте и в целом определяет его прочность, что особенно важно при шлифовании, поскольку инструмент работает на скоростях более 35 м/с. В настоящее время при изготовлении абразивных инструментов используются различные связки: керамические, бакелитовые, вулканитовые и другие (рис. 3).



Рис. 3. Шлифовальные круги на связках:
a – керамической; *б* – бакелитовой; *в* – вулканитовой

Применение того или иного вида связок зависит от технологического назначения абразивного инструмента. Инструмент на основе керамической связки наиболее распространён, ввиду наличия ряда преимуществ перед другими видами связок – это высокая жёсткость инструмента, теплостойкость, химическая стойкость, износостойкость.

Структура абразивного инструмента во многом определяет его технологические возможности – режущую способность, стойкость между правками, способность к самозатачиванию, отсутствие прижогов и др. [11].

Аддитивные технологии позволяют управлять структурой абразивного инструмента, в частности, количеством,

формой и расположением пор внутри абразивного инструмента.

Слияние пор позволяет формировать разделительные канавки (пассивные зоны) для уменьшения теплонапряженности процесса шлифования.

Именно поэтому исследователи уделяют значительное внимание подбору характеристик структуры для 3D-печати абразивного инструмента [12, 13, 14].

ТЕОРИЯ / РАСЧЕТ

Для построения математической модели внутренней структуры абразивного инструмента предлагается воспользоваться функциями В. Л. Рвачева [15], которые имеют вид

$$f_1 \wedge f_2 = f_1 + f_2 - |f_1 - f_2|; \quad (1)$$

$$f_1 \vee f_2 = f_1 + f_2 + |f_1 - f_2|, \quad (2)$$

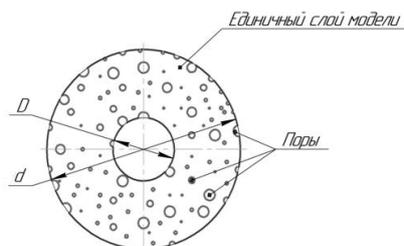


Рис. 4. Модель единичного слоя абразивного инструмента:

d – наружный диаметр модели;
 D – внутренний диаметр модели

Модель единичного слоя абразивного инструмента имеет вид

$$f_1 = x_1^2 + y_1^2 - r^2; \quad (3)$$

$$f_2 = x_2^2 + y_2^2 - R^2; \quad (4)$$

$$f' = f_1 \vee f_2 = x_1^2 + y_1^2 - r^2 + x_2^2 + y_2^2 - R^2 + |x_1^2 + y_1^2 - r^2 - x_2^2 - y_2^2 + R^2|, \quad (5)$$

где f_1 – функция, описывающая посадочное отверстие абразивного инструмента;

f_2 – функция, описывающая поверхность единичного слоя абразивного инструмента;

x_1, y_1, x_2, y_2 – координаты точек посадочного отверстия и поверхности слоя инструмента соответственно;

r, R – радиусы посадочного отверстия и поверхности слоя инструмента соответственно.

где f_1 и f_2 – задаваемые функции;

$f_1 \wedge f_2$ – R-конъюнкция;

$f_1 \vee f_2$ – R-дизъюнкция.

Построение математической модели внутренней структуры абразивного инструмента схематично можно представить как сумму единичных слоёв, складываемых друг с другом в направлении образующей цилиндра инструмента (рис. 2). При последующей печати абразивного инструмента по заранее рассчитанной модели слои будут «складываться» автоматически, при перемещении каретки 3D-принтера. Общий вид поверхности единичного слоя абразивного инструмента представлен на рис. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от технологии 3D-печати, существуют различные виды связующего материала. Прутковые полимеры, например, PET-G, ABS, PLA для FDM-технологии (Fused Deposition Modelling – метод послойного наложения) [16]. Жидкие смолы для технологий SLA (Stereolithography – лазерная стереолитография, основанная на полимеризации смолы), DPL (Direct Pressure Laminate – прямое прессование) [17]. Полимерные, либо металлические

порошки различной фракции, для технологии SLS (Selective Laser Sintering – селективное лазерное спекание) [18].

На основе результатов, представленных в работах [9], [19], можно сделать вывод о перспективности использования в качестве связки фотополимерной смолы. Такая связка обеспечивает хорошую фиксацию абразивных зёрен, подобно связкам, применяемым в традиционных технологиях изготовления инструмента. Также существуют фотополимерные

смолы, сочетающие в себе как высокие физико-механические свойства – твёрдость, теплостойкость. Например, фотополимерная смола H180 фирмы HARDLIGHT способна работать при температурах до 180 °С, а кратковременно до 450 °С.

Были проведены эксперименты по получению абразивного инструмента методом 3D-печати фотополимерной смолой UV Tough resin. Результаты представлены в табл.

Таблица

Параметры процесса 3D-печати абразивного инструмента

Печать смолой (UV Tough resin)	
Режимы эталонной (первой) печати (UV Tough resin), абразив 53С, зернистость F220, содержание 5%	
Параметр	Значение
1. Расположение модели на поверхности рабочего стола	Под углом 45°
2. Наличие и тип поддержек	Имеются, тяжелые
3. Форма контакта поддержек с моделью	Сфера
4. Высота слоя, мм	0,1
5. Количество слоёв низа, шт.	6
6. Время засветки низа, с	30
7. Время засветки 1-го нормального слоя, с	3
8. Задержка выключения нормального слоя (время хода по оси Z вверх и вниз между слоями), с	1,5
9. Задержка выключения слоёв низа, с	3
10. Высота подъёма платформы между слоями низа, мм	6
11. Высота подъёма платформы между нормальными слоями, мм	6
12. Скорость подъёма платформы слоёв низа, мм/мин	100
13. Скорость подъёма платформы нормальных слоёв, мм/мин	100
14. Скорость ретракта (скорость движения платформы вблизи поверхности печати), мм/мин	240
15. Время печати (прогноз) мин	49 мин 52 с
16. Время печати (факт), мин	88
17. Дополнительная засветка (сушка), мин	2

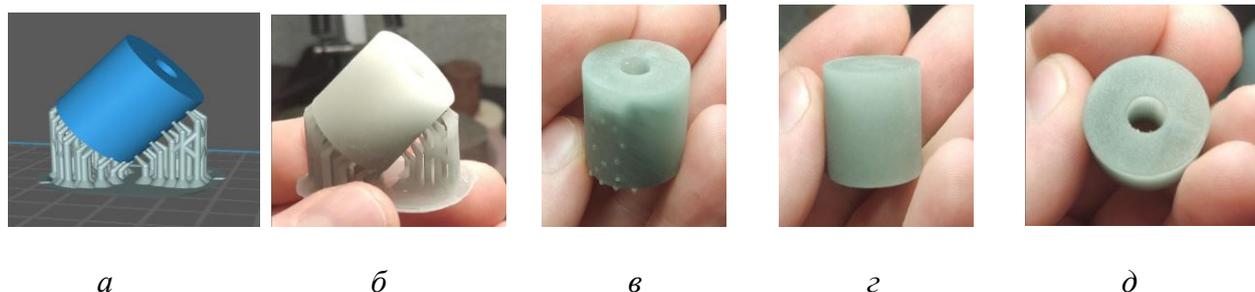


Рис. 5. Стадии формирования абразивного инструмента:
а – модель; *б* – результат спекания; *в*, *г*, *д* – внешний вид инструмента

На этапе формирования 3D-модели закладывается главное преимущество предлагаемого метода изготовления шлифовального инструмента, а именно – возможность проектирования и запуска в печать изделий со сложной геометрией, отвечающей требуемым технологическим задачам. Форму и размеры инструмента можно описать рядом параметров, что даёт большое поле для подбора необходимой геометрии рабочих поверхностей, подходящих под конкретные задачи

После формирования 3D-модели необходимо создать управляющую программу печати с помощью

специализированного программного обеспечения.

Эксперименты проводились с использованием программного обеспечения Photon Workshop версии 2.1.23. Программа позволяет настраивать режимы печати – толщину слоя, время экспозиции (засветки слоя), период отключения засветки слоя, время экспозиции первого слоя, толщину первого слоя.

Печать производилась на принтере модели Anycubic Photon Mono.



Рис. 6. Напечатанные модели абразивного инструмента

Следующим этапом экспериментов было получение напечатанного образца из фотополимер-абразивного материала.

Композиция из фотополимерной смолы и абразивного материала смешивалась в отдельной таре в пропорции 1:1. Затем отстаивалась для удаления возникших в процессе перемешивания лишних пузырьков воздуха. Для печати использовалась фотополимерная смола фирмы ANYCUBIC, модели 3D Printing UV Sensitive Resing Basic, с длиной волны засветки 405 нм, зелёного цвета. В качестве абразивного материала использовался карбид кремния 64С с зернистостью F120 (№ 10 по ГОСТ 3647-80), что соответствует размеру 125-100 мкм [20, 21].

Толщина слоя (0,1 мм) обусловлена размером зерна абразивного материала, так как при меньшем значении толщины

слоя зерно может продавить FEP-плёнку ванночки принтера.

В результате был получен ряд образцов в форме дисков с центральным отверстием, аналогичным по форме с представленным на рис. 2. Проведенные испытания по удержанию связкой абразивных зерен показали идентичность с образцами, полученными традиционными методом изготовления.

При использовании комбинированного метода изготовления абразивного инструмента, 3D-печать с последующим спеканием модели, появляется возможность применять выжигаемые фотополимеры. Например, фотополимер FunToDo Castable Blend возможно применить в качестве технологической связки, предназначенной для формирования трёхмерной модели с помощью 3D-печати. При последующем процессе спекания, за счёт низкого

коэффициента зольности, полимер полностью удалится из объёма изготавливаемого инструмента. Таким образом, применяемый при 3D-печати композит будет состоять не из двух, а из трёх составляющих – фотополимера, частиц связки, например, керамики, а также абразивного зерна.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что абразивный инструмент можно получать методом 3D-печати, при этом количество

копий может быть от единицы до десятков и сотен. Это вполне пригодно для использования в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда в сжатые сроки нужно подобрать необходимую характеристику шлифовального круга, изготовить его, и использовать, возможно, однократно. В существующих производственных условиях это невозможно, поскольку длительное время занимает заказ инструмента, а его изготовление рентабельно только партиями от сотен штук.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Степанов, Ю.С.** Технологии, инструменты и методы проектирования абразивной обработки с бегущим контактом : специальность 05.02.08 Технология машиностроения / Степанов Юрий Сергеевич // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Тула, 1997. С. 42. – Место защиты : Тульский государственный технический университет. – Текст : непосредственный

2. **Рябенков, И.Я.** Теоретическое обоснование технологических возможностей обычного и прерывистого шлифования / И.Я. Рябенков. – Текст : непосредственный // Резание и инструменты в технологических системах : международный научно-технический сборник. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. Вып. 89. – С. 149–157.

3. **Сефедин, И.Д.** Теоретический обзор исследований в области процессов шлифования кругами с прерывистой поверхностью / И.Д. Сефедин, Э.Э. Ягьяев. – Текст : непосредственный // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2019. – № 3 (65). – С. 269–274.

4. **Богущий, В.Б.** О целесообразности применения шлифовальных кругов с прерывистым профилем на операциях плоского шлифования / В.Б. Богущий, Л.Б. Шрон. – Текст : непосредственный //

Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – № 2 (65). – С. 10–15.

5. **Ермолаев, В.К.** Прогресс шлифовальных кругов с управляемым рельефом / В.К. Ермолаев // РИТМ машиностроения. – 2021. – № 8. – С. 30–39. – Текст : непосредственный.

6. **Kozlov, A.M.** Modeling Abrasive Grain Interaction with Machined Surface / A.M. Kozlov, S.K. Ambrosimov, A.A. Kozlov. – Text : immediate // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). – P. 953–960.

7. Texturing Methods of Abrasive Grinding Wheels: A Systematic Review / S. Costa, M. Pereira, J. Ribeiro, D. Soares // Materials. – 2022. – № 15. – P. 8044. – Text : immediate.

8. **Патент 2 664 997С1 Российская Федерация МПК В24D5/14.** Дискретный инструмент для совмещенного шлифования : № 2017133394, заявл. 25.09.2017. опубл. 24.08.2018 / Гусев В.Г.; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых». – 6 с. – Текст : непосредственный.

9. **Степанова, Е.Ю.** Аддитивные и гибридные технологии в производстве инструмента и технологической оснастки: состояние, экономика, перспективы / Е.Ю. Степанова, М.А. Бурнашов, Ю.С. Степанов. – Текст :

непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 8–1. – С.141–146.

10. The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach / L.A. Verhoef, B.W. Budde, C. Chockalingam, [et al.]. – Text : immediate // Energy Policy. Vol. 112, January 2018. – P.349–360.

11. **Старков, В.К.** Механизм влияния структурности круга на эффективность шлифования / В.К. Старков. – Текст : непосредственный // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2019. – № 1. – С. 38–43.

12. Determination of Selected Texture Features on a Single-Layer Grinding Wheel Active Surface for Tracking Their Changes as a Result of Wear / A. Bazan, A. Kawalec, T. Ryzak, [et al.]. – Text : immediate // Materials. – 2020. – № 14. – P. 6.

13. **Parandoush, P.** A Review on Additive Manufacturing of Polymer-Fiber Composites / P. Parandoush, D. Lin. – Text : immediate // Compos. Struct. – 2017. – № 182. – P. 36–53.

14. **Lee, J.-Y.** Fundamentals and Applications of 3D Printing for Novel Materials / J.-Y. Lee, J. An, C. Chua. – Text : immediate // Appl. Mater. Today 2017. – № 7. – P.120–133.

15. **Амбросимов, С.К.** Решение некоторых задач обработки резанием методами алгебры логики / С.К. Амбросимов, И.Ю. Поддубных. – Текст : непосредственный // Вестник ЛГТУ. – 2020. – № 2 (43). – С. 20–29.

16. **Гаршин, А.П.** Материаловедение в 3 т. Том 3. Технология конструкционных материалов: абразивные инструменты: учебник для вузов / А.П. Гаршин, С.М. Федотова. – 2-е изд., испр. и доп. –

Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 385 с. – Текст : непосредственный.

17. Основы проектирования и технология изготовления абразивного инструмента / Ю.М. Ковальчук, В.А. Букин, Б.А. Глаговский [и др.]. Под общей редакцией Ю.М. Ковальчука. – Москва : Машиностроение, 1984. – 288 с. – Текст : непосредственный.

18. **Жуков, А.В.** Пластмассы для аддитивных технологий (обзор). Машиностроение и машиноведение / А.В. Жуков, А.А. Никифоров, А.С. Яковишин. – Текст : непосредственный // Вестник СГТУ. – 2021. – № 4 (91). – С. 57–70.

19. **Эртесян, А.Р.** Сравнительная характеристика физико-механических свойств базисных пластмасс (лабораторное исследование) часть 2. / А. Р. Эртесян . – Текст : непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал №2 (104) Часть 3. – 2021. – С. 64–67.

20. Research of abrasive tool manufacturing in single and small-scale production / D. A., Goloburdin, A.M. Kozlov, T. N. Ivanova, A.A.Kozlov. – Text : immediate // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2022 LNME). – P. 955–965.

21. **Голобурдин, Д.А.** Разработка фотополимер-абразивного композита для 3D-печати инструмента / Д.А. Голобурдин, А.М. Козлов, А.А. Козлов. – Текст : электронный // Воронежский научно-технический вестник. – 2022. – Т.3, № 3(41). – С.4–10. Режим доступа : URL : <http://vestnikvglta.ru/gallery/4-10.pdf>. (дата обращения : 15.11.2023).

Сведения об авторах:

Козлов Александр Михайлович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
kam-48@yandex.ru;

Голобурдин Дмитрий Алексеевич

аспирант кафедры технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
dimagoloburdin@yandex.ru

Козлов Андрей Александрович

кандидат технических наук,
доцент кафедры технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
soy4astnik@mail.ru

Information about the authors:

Kozlov Alexander Mikhailovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Mechanical
Engineering Technology,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
kam-48@yandex.ru;

Goloburdin Dmitry Alekseevich

Postgraduate student of the Department
of Mechanical Engineering Technology,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
dimagoloburdin@yandex.ru

Kozlov Andrey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Mechanical Engineering Technology,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
soy4astnik@mail.ru

DOI 10.53015/23049235_2023_4_64

УДК 621.01: 531.8 (075)

А.В. СУХАНОВ, А.В. СУХАНОВ

ИНЕРЦИОННЫЙ ВАРИАТОР

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В настоящей работе представлено описание конструкции и принцип работы инерционного вариатора, который может использоваться для передачи крутящего момента, замедления скорости вращения вала и в приводах самого различного технологического оборудования. Представленный в статье инерционный вариатор состоит из неподвижного корпуса, в котором установлены: ведущая шестерня, сателлиты, ведомая шестерня, водило, приводные шестерни, приводной вал и импульсный механизм, в основе которого заложена конструкция карданного механизма. С помощью планетарного механизма дифференциального типа осуществляется передача вращательного движения и крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой путём замедления скорости вращения водила, с помощью импульсного механизма, который создаёт тормозной момент, необходимый для

передачи крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой шестерне дифференциального механизма. С помощью изменения угла между вилками карданного механизма осуществляется регулирование величины тормозного момента на водиле и скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу. Преимуществом описанной конструкции вариатора является возможность регулировать скорости ведомой шестерни в зависимости от величины момента сопротивления на шестерне, высокий КПД устройства, низкие тепловые потери, высокая надёжность и долговечность устройства.

Ключевые слова: инерционный вариатор, планетарная передача, шестерня, дифференциальный механизм, крутящий момент, КПД.

A.V. SUKHANOV, A.V. SUKHANOV

INERTIAL CVT

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: This paper presents a description of the design and operating principle of an inertial variator, which can be used to transmit torque, slow down the speed of shaft rotation and in drives of a wide variety of technological equipment. The inertial variator presented in the article consists of a fixed housing in which the drive gear, satellites, driven gear, carrier, drive gears, drive shaft and impulse mechanism are installed, which is based on the design of the cardan mechanism. With the help of a differential type planetary mechanism, rotational motion and torque are transmitted from the drive gear to the driven gear by slowing down the speed of rotation of the carrier, using an impulse mechanism, which creates the braking torque necessary to transmit torque from the drive gear to the driven gear of the differential mechanism. By changing the angle between the forks of the cardan mechanism, the magnitude of the braking torque on the carrier and the rotation speed of the driven shaft are regulated depending on the magnitude of the moment of resistance on the driven shaft. The advantage of the described variator model is the ability to regulate the speed of the driven gear depending on the magnitude of the moment of resistance on the gear, increasing the efficiency of the device, reducing heat losses, improving the reliability and durability of the device.

Keywords: inertial variator, planetary gear, gear, differential mechanism, torque, efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует несколько вариантов конструкций вариаторов. Например, известен импульсный вариатор (патент RU 2148747 C1 F16H29/02), содержащий корпус, коническую пару, промежуточный вал с эксцентриками и опорой, ведомый вал с механизмами свободного хода, эксцентриковые втулки и пружины растяжения. Установленные на эксцентриках эксцентриковые втулки связаны через шатуны и коромысла с механизмами свободного хода и подпружинены пружинами растяжения. Пружина растяжения связана штифтами с эксцентриковой втулкой и опорой. Вариатор обладает возможностью саморегулирования скорости ведомого вала в зависимости от величины момента

сопротивления на валу. Также известен автоматический импульсный вариатор (патент RU 2162971 C2 F16H29/02), содержащий корпус, коническую зубчатую пару, промежуточный вал и ведомый вал с муфтами свободного хода. На промежуточном валу закреплены неподвижно ползуны, на которые подвижно установлены пазы подпружиненные диски. Диски связаны шатунами с подпружиненными коромыслами. Коромысла контактируют с боковыми плоскостями ведущих эксцентриков муфт свободного хода.

Недостатком вышеописанных вариаторов является сложность конструкции и использование муфты свободного хода, которая является ненадежным и недолговечным звеном.

Целью данной публикации является ознакомление с разработанной полезной моделью инерционного вариатора, обладающего следующими преимуществами: возможность регулирования скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу, повышение КПД устройства, снижение тепловых потерь, улучшение надёжности и долговечности устройства. Указанные преимущества достигаются в связи с тем, что вариатор снабжён импульсным механизмом, в основе которого заложена конструкция карданного механизма, в котором на шипах крестовины установлены рычаги, соединённые через пружины и кронштейны с грузами,

которые шарнирно установлены на шипах крестовины.

Долговечность предложенного устройства по сравнению с прототипом выше, так как вращающий момент ведущего вала трансформируется без преобразования в знакопеременный момент, в результате нет необходимости устанавливать муфту свободного хода. Это повышает и эффективность работы, так как отсутствуют потери энергии, связанные с работой механизма свободного хода.

На рис. 1 изображена кинематическая схема инерционного вариатора (ИВ).

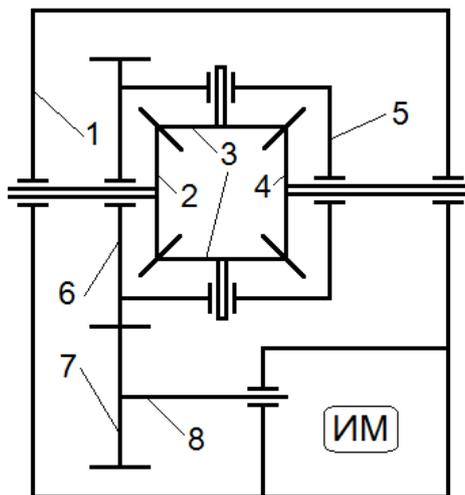


Рис. 1. Кинематическая схема импульсного вариатора

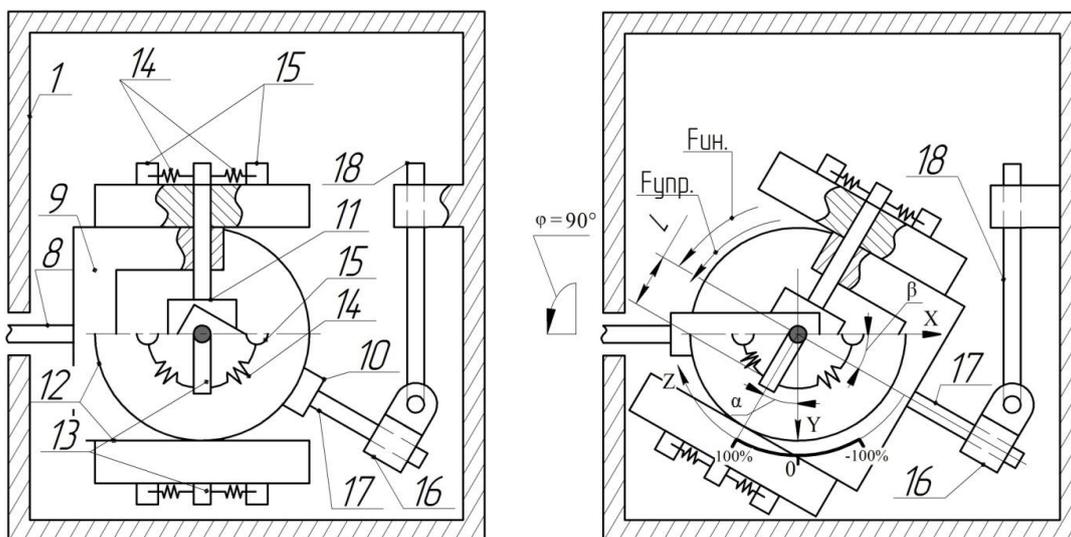


Рис. 2. Схема импульсного механизма

На рис. 2 изображена схема импульсного механизма (ИМ) с разрезом.

Устройство состоит из неподвижного корпуса 1, в котором установлены ведущая шестерня 2, сателлиты 3, ведомая шестерня 4, водило 5, приводные шестерни 6 и 7, приводной вал 8 (рис. 1, 2). Инерционный вариатор содержит импульсный механизм, который состоит из следующих деталей: вилки 9 и 10, крестовина 11, грузы 12, рычаги 13, пружины 14, кронштейны 15, ползун 16, ось 17, шток 18. Ведущая 2 и ведомая 4 шестерни шарнирно установлены в корпусе 1. Сателлиты 3 шарнирно установлены на водиле 5. Приводная шестерня 7 жёстко соединена с приводным валом 8, который жёстко соединён свилкой 9. Вилки 9 и 10 шарнирно соединены с крестовиной 11. Грузы 12 шарнирно соединены с шипами крестовины 11 жёстко крепятся рычаги 13. Пружины 14 одним концом крепятся к рычагам 13, а другим к кронштейнам 15, которые жёстко соединены с грузами 12. Ползун 16 шарнирно соединяется с осью 17 с возможностью свободного перемещения вдоль оси 17. Шток 18 шарнирно соединяется с ползуном 16 с возможностью вертикального перемещения в корпусе 1.

Работа инерционного вариатора заключается в следующем. Под

воздействием ведущего крутящего момента ведущая шестерня 2 начинает вращаться (рис. 1). От ведущей шестерни 2 крутящий момент передаётся на сателлиты 3. От сателлитов 3 поток мощности делится на два потока, один поток – на ведомую шестерню 4, а второй поток через водило 5, на котором крепятся сателлиты 3, передаётся через приводные шестерни 6 и 7 к приводному валу 8. От приводного вала 8 (рис. 2) вращение передаётся навилку 9, крестовину 11,вилку 10, ось 17.

При повороте вилки 9 на 90° крестовина 11 поворачивает рычаги 13 на угол α в направлении Z по часовой стрелке (рис. 2), который в данном положении соответствует своему максимальному значению и равен углу β – угол наклона оси 17 относительно горизонтальной оси X, т. е. угол между осями вилок 9 и 10. Вместе с крестовиной 11 поворачиваются рычаги 13, которые через пружины 14 и кронштейны 15 поворачивают грузы 12. Таким образом, вращательное движение вилки 9 преобразуется в качательное движение рычагов 13, которое затем преобразуется в колебательное движение грузов 12. Качательное движение рычагов 13 диссонирует с колебательным движением грузов 12, вследствие чего возникает тормозной момент M_T навилке 9.

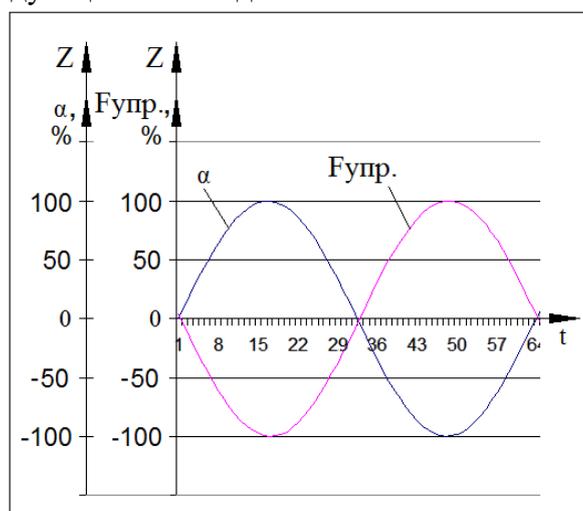


Рис. 3. Графики изменения угла α и силы упругости

На рис. 3 изображены графики изменения угла α и силы упругости $F_{упр}$ с течением времени t . Знак +/- на вертикальной оси (рис. 3) показывает вектор направления силы упругости $F_{упр}$ относительно направления Z (рис. 2), и вектор направления изменения угла α относительно направления Z . Тормозной момент M_T рассчитывается по следующей формуле: $M_T = L \times F_{упр}$, где $F_{упр}$ – сила упругости, которая воздействует на рычаг 13, L – плечо тормозного момента M_T на рычаге 13. При определённой скорости вращения вилки 9 создаётся ситуация, когда одна из величин (α и $F_{упр}$) всегда остаётся с отрицательным знаком, следовательно, создаваемый момент силой упругости $F_{упр}$ является тормозным моментом M_T .

От вилки 9 тормозной момент передаётся на приводной вал 8 и далее через приводные шестерни 6 и 7 на водило 5. Когда тормозной момент на водиле 5 превысит момент сопротивления на ведомой шестерне 4, ведомая шестерня 4 начнёт вращаться в противоположном направлении относительно направления вращения ведущей шестерни 2. Таким образом, вращательное движение передаётся от ведущей шестерни 2 к ведомой шестерне 4.

С помощью перемещения штока 18 (рис. 2) через ползун 16 поворачивается ось 17 на угол β относительно горизонтальной оси X , следовательно, увеличивается угол α , что приводит к увеличению тормозного момента, что в свою очередь приводит к увеличению передаваемого крутящего момента от ведущей шестерни 2 к ведомой шестерне 4 и изменению скорости вращения ведомой шестерни 4. Таким образом, с помощью перемещения штока 18 осуществляется регулирование величины тормозного момента. Если угол β равен нулю, то водило 5 свободно вращается, потому что тормозной момент отсутствует и,

следовательно, вращение от ведущей шестерни 2 к ведомой 4 не передаётся [1, 2, 3].

Методика расчёта валов для механических передач представлена в работах [4, 5]. Способы вычисления кинематических параметров механизмов рассмотрены в работах [6-9].

Рассмотренный импульсный вариатор применяется в машиностроении, в трансмиссиях транспортных средств для передачи крутящего момента, замедления скорости вращения вала и в приводах самого различного технологического оборудования. Инерционный вариатор содержит: неподвижный корпус, в котором установлены ведущая шестерня, сателлиты, ведомая шестерня, водило, приводные шестерни, приводной вал. ИВ содержит ИМ, в основе которого заложена конструкция карданного механизма. С помощью планетарного механизма дифференциального типа осуществляется передача вращательного движения и крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой путём замедления скорости вращения водила, с помощью импульсного механизма, который создаёт тормозной момент, необходимый для передачи крутящего момента от ведущей шестерни к ведомой шестерне дифференциального механизма. С помощью изменения угла между вилками карданного механизма осуществляется регулирование величины тормозного момента на водиле и скорости вращения ведомого вала в зависимости от величины момента сопротивления на ведомом валу.

ВЫВОДЫ

Преимуществом описанной конструкции вариатора является возможность регулировать скорости ведомой шестерни в зависимости от величины момента сопротивления на шестерне, высокий КПД устройства, низкие тепловые потери, высокая надёжность и долговечность устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Харитонов, С.А.** Автоматические коробки передач. Инструкция по эксплуатации, диагностике и техобслуживанию / С.А. Харитонов, С.А. Сологуб, М.В. Нагайцев. – Москва : Легион-Автодата, 2000. – 80 с. – Текст : непосредственный.
2. **Круташов, А.В.** Конструкция автомобиля. Коробки передач: учебное пособие / А.В. Круташов. – Москва : Юрайт, 2002. – 117 с. – Текст : непосредственный.
3. **Гордон, Дж.** Автоматические коробки передач и раздаточные коробки. Диагностика и ремонт / Дж. Гордон. – Москва : Алфамер Пабблишинг, 2004. – 392 с.
4. **Суханов, А.В.** Подбор сечения стального ступенчатого вала с заданной мощностью на шкивах / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 2 (51). – С. 77–84.
5. **Суханов, А.В.** Определение деформаций и напряжений при кручении статически неопределимого бруса / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 2 (51). – С. 91–99.
6. **Суханов, А.В.** Графоаналитический метод определения ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 1 (50). – С. 79–85.
7. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского многозвенного механизма второго класса / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 1 (47). – С. 77–87.
8. **Суханов, А.В.** Определение ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 62–68.
9. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского восьмизвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 68–76.

Сведения об авторах:

Суханов Андрей Владимирович
старший преподаватель
кафедры общей механики,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Суханов Антон Владимирович
студент кафедры технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sukhanov Andrey Vladimirovich
Senior Lecturer Of The Department Of
General Mechanics,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

Sukhanov Anton Vladimirovich
Student Department Of Mechanical
Engineering Technolog,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

П.И. ЗОЛОТУХИН, А.В. МОСКВИН

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫТЯЖКИ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Разработана программа для компьютерного расчета параметров технологии штамповки цилиндрической детали (отрезка, вырубка, вытяжка за одну или две операции, обрезка припуска).

Ключевые слова: листовая штамповка, технология, компьютерная программа.

P.I. ZOLOTUKHIN, A.V. MOSKVIN

COMPUTER-AIDED DESIGN OF AN EXTRUSION-BASED SHEET-METAL FORMING TECHNOLOGY

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: A program has been developed for computer-aided calculation of the parameters for a technology of forming a cylindrical part (cutting, blanking, drawing in one or two operations, allowance trimming).

Keywords: sheet-metal forming, technology, computer program.

ВВЕДЕНИЕ

На рис. 1 представлены технологические переходы штамповки цилиндрических деталей. Для автоматизации расчетов параметров технологии штамповки разработана компьютерная программа, блок-схема которой представлена на рис. 2. Алгоритм проектирования технологии отражен в

блок-схеме.

Одним из основных этапов разработки технологии является определение табличных (предельных, минимально возможных) коэффициентов вытяжки m_{11} и m_{12} соответственно

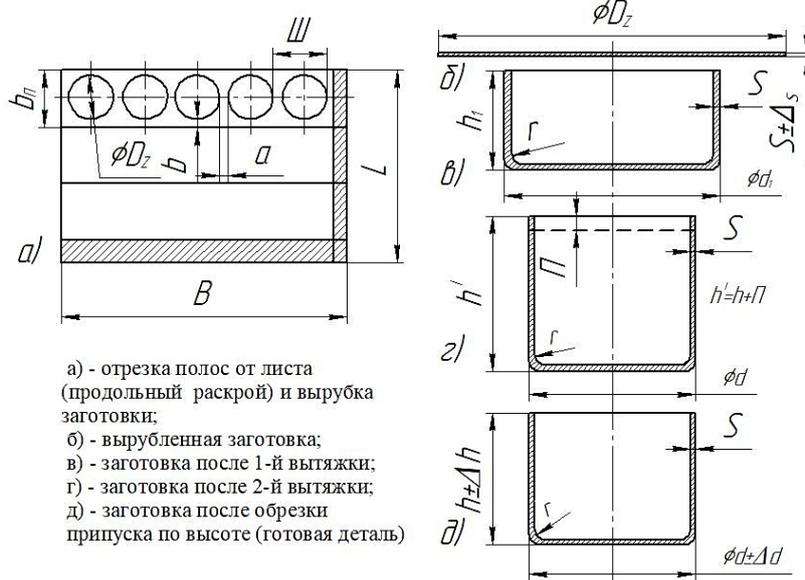


Рис. 1. Технологические переходы штамповки цилиндрической детали

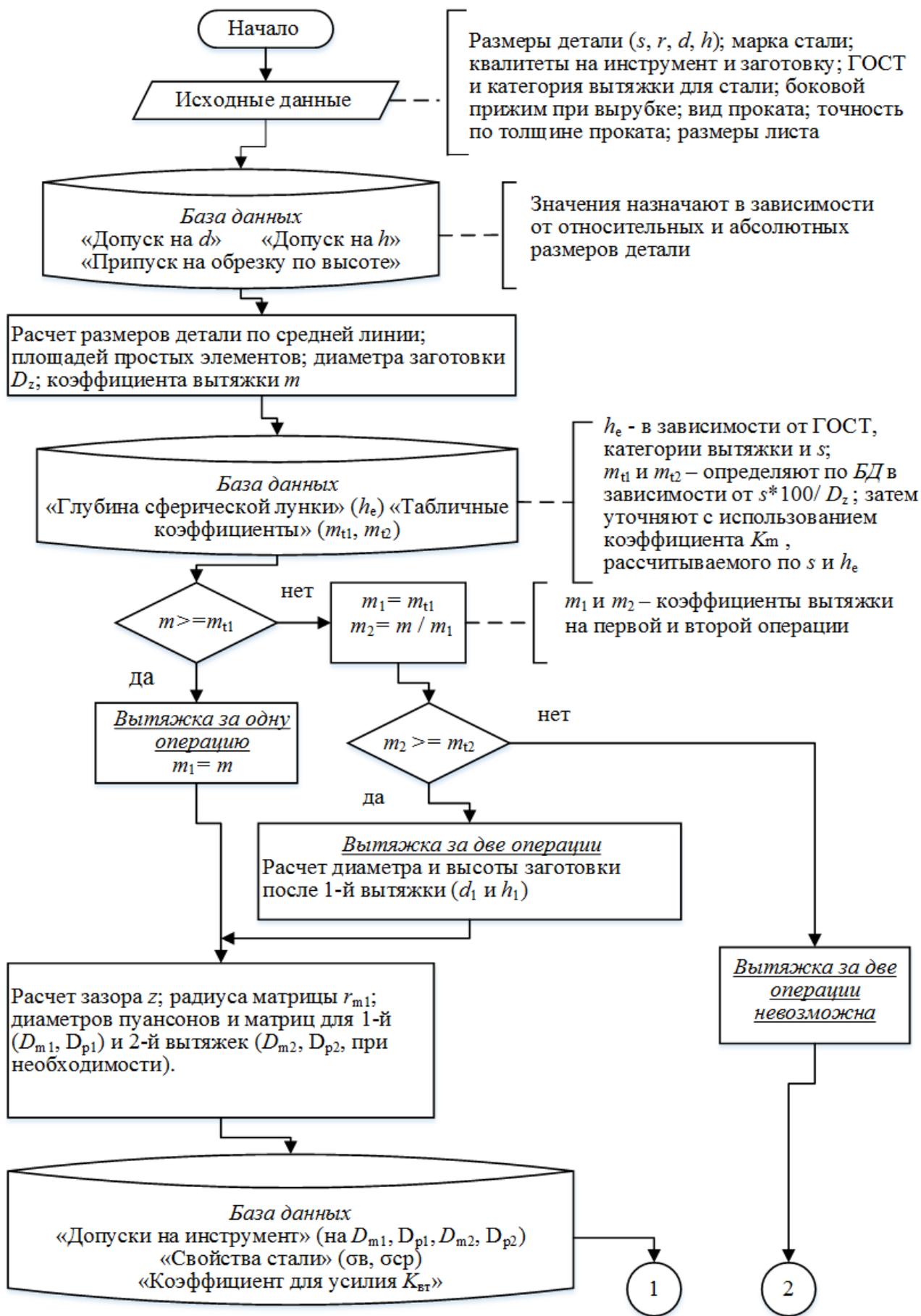


Рис. 2. Блок-схема программы

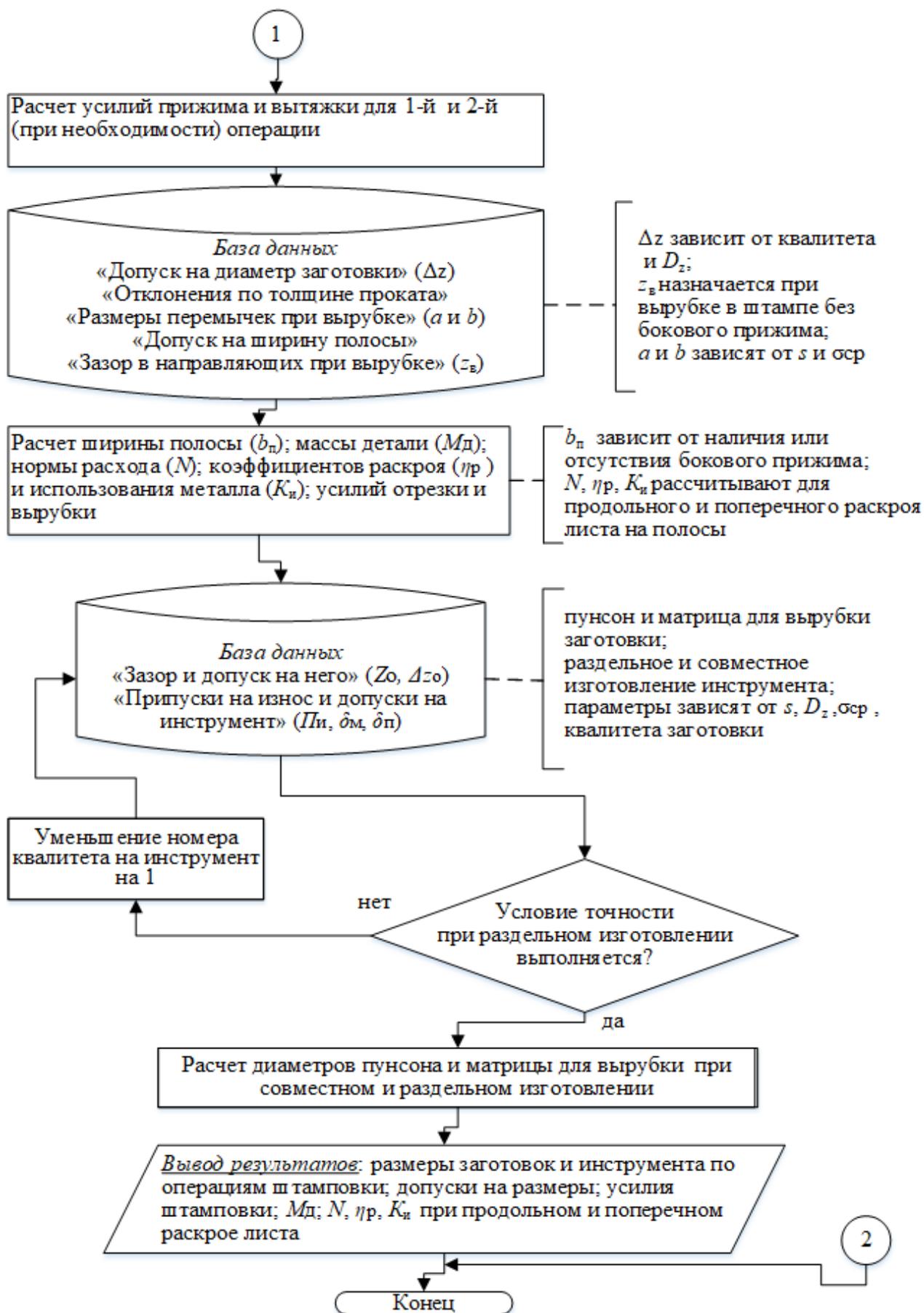


Рис. 2 (окончание). Блок-схема программы

на первой и второй операции. Значения m_{11} и m_{12} используют для определения количества операций вытяжки. В данной работе рассмотрена вытяжка за одну или две операции с прижимом заготовки без обусловленного утонения металла.

Анализ литературы [1 - 4] показал, что значения коэффициентов вытяжки зависят от следующих факторов: номера операции (1-я или 2-я вытяжка); наличия прижима при вытяжке; относительной толщины металла $(s/D_z) \cdot 100$ (s - толщина металла, D_z - диаметр заготовки для вытяжки (см. рис. 1)); марки стали; глубины сферической лунки при испытании по Эриксену h_e ; радиуса рабочей кромки матрицы r_m ; показателя анизотропии штампуемой стали R_{cp} .

Следует отметить, что при расчете параметров новой технологии невозможно корректно задать значение R_{cp} . Этот показатель определяют экспериментально и, как правило, он имеет разную величину

даже для одной конкретной партии металла [1].

По экспериментальным значениям показателя анизотропии R_{cp} можно уточнить проектные параметры при внедрении нового технологического процесса.

Приведенные в литературе [1 - 4] значения коэффициентов m_{11} и m_{12} являются обобщением многолетних производственных и теоретических данных. Данные разных авторов отличаются незначительно. В рассматриваемой работе использовали табличные коэффициенты m_{11} и m_{12} из справочника [2], так как представленная в этом справочнике методика позволяет корректно учесть максимальное количество технологических параметров.

В таблице приведены значения предельных (наименьших) коэффициентов при вытяжке с прижимом заготовки [2].

Таблица

Наименьшие значения коэффициентов вытяжки цилиндрических деталей без фланца ($s = 0,6-0,8$ мм; $h_e = 10-11$ мм) [2]

Коэф-ты вытяжки	Значения коэффициентов при относительной толщине заготовки $(s/D_z) \cdot 100$						
	0,06-0,15	0,15-0,30	0,30-0,60	0,60-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	>2,0
m_{11}	0,63-0,60	0,60-0,58	0,58-0,55	0,55-0,53	0,53-0,50	0,50-0,48	0,48-0,46
m_{12}	0,82-0,80	0,80-0,79	0,79-0,78	0,78-0,76	0,76-0,55	0,75-0,73	0,73-0,71

Примечание: меньшие значения коэффициента вытяжки соответствуют радиусу рабочей кромки матрицы $r_m = (8-15) \cdot s$; большие - $r_m = (4-8) \cdot s$

Для уточнения влияния на приведенные в табл. 1 значения m_{11} и m_{12} толщины металла s и глубины сферической лунки h_e в работе [2] предложено эти значения умножать на коэффициент K_m , определяемый по графику,

$$K_m = 1,903 - 0,073 \cdot h_e - 0,34 \cdot s + 0,018 \cdot h_e \cdot s,$$

которое использовали в программе для автоматизированного проектирования технологии штамповки.

Таким образом, сначала из табл.

представленному на рис. 3.

Данные, приведенные на рис. 3, были аппроксимированы с использованием метода наименьших квадратов. В результате получено уравнение регрессии (коэффициент корреляции $R = 0,96$):

выбирается значение m_{11} или m_{12} . Затем следует расчет K_m по приведенной выше формуле и умножение K_m на m_{11} или m_{12} .

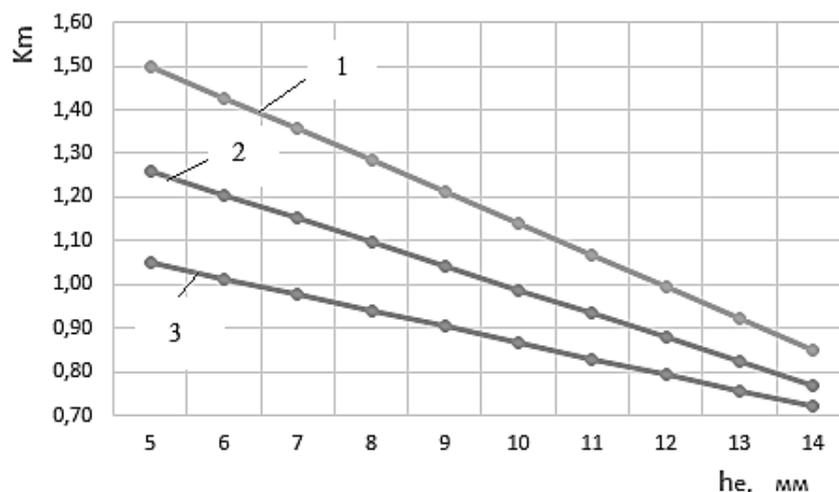


Рис. 3. График для определения коэффициента K_m [2]:

1 - $s = 0,5$ мм; 2 - $s = 1,0$ мм; 3 - $s = 2,0$ мм;

Рассмотрим пример определения количества операций с использованием значений коэффициентов вытяжки. Исходные и справочные данные: размеры готовой детали - $s = 0,8$ мм; $d = 38$ мм; $h = 46$ мм; $r = 3$ мм (см. рис. 1); марка стали - 0,8Ю; способность стали к вытяжке - СВ; глубина сферической лунки $h_e = 10,4$ мм

$$m = d' / D_z = (d - s) / D_z = (38 - 0,8) / 97,0 = 0,47,$$

где d' - диаметр детали по средней линии.

Относительная толщина металла:

$$(s / D_z) \cdot 100 = (0,8 / 97) \cdot 100 = 0,82.$$

Табличное значение коэффициента вытяжки на первой операции назначаем по табл. 1: $m_{t1} = 0,54$. Значение коэффициента K_m рассчитываем по формуле (1):

$$K_m = 1,903 - 0,073 \cdot 10,4 - 0,34 \cdot 0,8 + 0,018 \cdot 10,4 \cdot 0,8 = 1,02.$$

Уточненное значение

$$m_{t1} = 0,54 \cdot 1,02 = 0,55.$$

Так как условие $m \geq m_{t1}$ не выполняется, вытяжка за одну операцию невозможна. Примем на первой операции коэффициент вытяжки $m_1 = 0,58$ (больше табличного значения). Тогда на второй операции:

$$m_2 = m / m_1 = 0,47 / 0,58 = 0,80.$$

Табличный коэффициент на второй операции определяем по табл. 1 - $m_{t2} = 0,76$ и уточняем с использованием K_m : $m_{t2} = 0,76 \cdot 1,02 = 0,78$. Так как условие $m_2 \geq m_{t2}$ выполняется, вытяжка за две операции возможна.

Методика проектирования технологии штамповки и расчета размеров инструмента (пуансонов и матриц), с

(по ГОСТ 9045-93); припуск на обрезку по высоте $l = 4,5$ мм [2].

Диаметр заготовки для вытяжки D_z рассчитываем из условия равенства поверхностей заготовки после вытяжки и исходной заготовки: $D_z = 97,0$ мм. Расчетное значение коэффициента вытяжки [2]:

использованием которой создана компьютерная программа, основана на материале, рассмотренном в работе [2]. Из этой работы, а также из указанных выше ГОСТов, заимствованы таблицы со справочными данными.

Программа создана с использованием приложений Excel и Access. Код программы написан в редакторе VBA. При задании исходных данных необходимо учитывать следующие ограничения: 1) марки штамповой стали - 08Ю, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10; 2) способность стали к вытяжке (ГОСТы 9045-93 и 16523-97) - ВОСВ (весьма особо сложной), ОСВ (особо сложной), СВ (сложной), ВГ (весьма глубокой), Г (глубокой), Н (нормальной); 3) горячекатаный и холоднокатаный прокат толщиной 0,4...2,0

мм (ГОСТы 19903-2015 и 19904-90); 4) точность по толщине проката – нормальная или повышенная; 5) вытяжка с прижимом заготовки; 6) количество операций вытяжки – одна или две; 7) высота и диаметр штампуемой детали – соответственно до 260 мм и 300 мм.

База данных содержит 19 таблиц, созданных в приложении Access. Для обмена потоком информации между редактором VBA и Access используется программа Microsoft Office 16.0 Access database engine Object Library. Для ввода исходных данных и вывода результатов расчетов используются рабочие листы Excel.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Романовский, В.П.** Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 520 с. – Текст : непосредственный.

2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / В.Л. Марченко, Л.И. Рудман, А.И. Зайчук [и др.] / под редакцией Л.И. Рудмана. – Москва : Машиностроение, 1988. – 496 с. – Текст : непосредственный.

3. **Григорьев, Л.Л.** Холодная штамповка : Справочник / Л.Л. Григорьев, К.И. Иванов, Э.Е. Юргенсон / под редакцией Л.Л. Григорьевой. – Санкт-Петербург : Политехника, 2011. – 665 с. – Текст : непосредственный.

4. Ковка и штамповка : Справочник в 4-х томах. Т. 2. Листовая штамповка / А.Ю. Аверкиев, Ю.А. Аверкиев, Е.А. Антонов [и др.] / под редакцией С.С. Яковлева. – Москва : Машиностроение, 2010. – 732 с. – Текст : непосредственный.

5. **Золотухин, П.И.** Разработка элементов САПР ТП горячей объемной штамповки поковок удлиненной формы / П.И. Золотухин, И.Д. Карпайтис,

ВЫВОДЫ

Эта программа, как и ряд других [5-7], разработана на кафедре «Оборудование и процессы машиностроительных производств» ЛГТУ с участием студентов. Данные программы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Машиностроение» (профиль подготовки «Машины и технология обработки металлов давлением») и могут быть полезны специалистам в области кузнечно-штамповочного производства.

А.Н. Ефанов. – Текст : непосредственный // *Металлургия и машиностроение. Тенденции развития современной науки : сборник статей I Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых.* – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2020. – С. 80-83.

6. **Золотухин, П.И.**

Автоматизированное проектирование технологии штамповки осесимметричных поковок / П.И. Золотухин, Е.В. Мальцев, А.Ю. Подболотов. – Текст : непосредственный // *Летняя школа молодых ученых ЛГТУ – 2017 : сборник научных трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов ЛГТУ.* – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2018. – С. 14–18.

7. **Новиков, И.А.** Разработка элементов САПР ТП штамповки плоских деталей из листового металла / И.А. Новиков, П.И. Золотухин, И.Д. Карпайтис. – Текст : непосредственный // *Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов ЛГТУ.* – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2017. – С. 49–51.

Сведения об авторах:

Золотухин Павел Иванович

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой оборудования и
процессов
машиностроительных производств,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: zolotyhinpi@rambler.ru

Москвин Александр Викторович

магистрант кафедры оборудования и
процессов машиностроительных
производств,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: swap18@mail.ru

Information about the authors:

Zolotukhin Pavel Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Equipment and
Processes of Machine-building Industries,
Lipetsk State Technical University.

3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

e-mail: zolotyhinpi@rambler.ru

Moskvin Alexander Viktorovich

Master's student of group of the Departments
of Equipment and Processes of Machine-
building Industries,

Lipetsk State Technical University.

3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

e-mail: swap18@mail.ru

DOI 10.53015/23049235_2023_4_76

УДК 669.04:621.771

А.П. ЖИЛЬЦОВ, А.А. ХАРИТОНЕНКО, А.Л. ЧЕЛЯДИНА, Н.Е. КОЗЕНКО

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА МОТАЛКИ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассмотрены требования, предъявляемые к моталкам и разматывателям при производстве холоднокатаных полос. Рассмотрена схема нагружения редуктора в составе привода моталки, отмечена особенность конструктивной схемы: применение односторонней жёсткой опоры редуктора. Это приводит к возникновению вибрации в элементах привода, в частности в редукторе и моторной зубчатой муфте во время пуска и остановки двигателя. Рассмотрены условия и факторы для определения величины упругой податливости редуктора. Это влияет на смещение ведущего вала редуктора и воздействует на радиальное и угловое смещение валов в зубчатой муфте. Получена модель упругой податливости и построена область величины упругой податливости. Выявлен критический режим упругой податливости редуктора в зависимости от величин динамической и реактивной нагрузки. Предложено конструктивное решение по введению второй жёсткой опоры редуктора, что обеспечивает снижение величины биений. На основе "Компас 3D" выполнен прочностной расчёт. Обосновано и предложено использование дисковой упругой муфты с резинокордным материалом в качестве моторной при передаче крутящего момента от двигателя к редуктору. Предложенные технические решения обеспечивают повышение надёжности привода моталки и необходимое качество смотки полос.

Ключевые слова: моталка, привод, динамическая нагрузка, вибрация, редуктор, муфта.

IMPROVEMENT OF DRIVE ELEMENTS OF COLD-STRIP REEL

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses the requirements for coilers and uncoilers in cold-strip production. The scheme of loading the gearbox as part of the coiler drive is considered, a feature of the design scheme is noted: the application of a one-sided rigid gearbox support. This causes vibration in the drive elements, in particular in the gearbox and in the motor gear-type coupling when starting and stopping the engine. The conditions and factors to determine the elastic compliance of the gearbox are considered. This affects the displacement of the drive shaft of the gearbox and influences the radial and angular displacement of the shafts in the gear-type coupling. A model of elastic compliance is obtained and a region of elastic compliance is plotted. The critical mode of the gearbox elastic compliance depending on the values of dynamic and reactive load is determined. A design solution is proposed viz. to introduce a second rigid gearbox support which reduces the magnitude of the beats. Compass 3D served as the basis for strength calculations. The use of a disk elastic coupling with rubber-cord as a motor coupling in the transmission of torque from the engine to the gearbox was justified and proposed. The proposed technical solutions provide an increased reliability of the winder drive and the required quality of strip coiling.

Keywords: coiler, drive, dynamic load, vibration, gearbox, coupling.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации механического оборудования под действием неуравновешенных сил и моментов при неустановившемся движении масс в машинах возникают динамические нагрузки, приводящие к выходу из строя деталей узлов и механизмов, что снижает показатели надёжности машин и оборудования [1, 2, 3, 4]. Процессы, сопровождающиеся динамическими нагрузками, характерны для узлов и деталей различных технологических агрегатов (агрегат подготовки горячекатаных полос, дрессировочный стан, непрерывный травильный агрегат), оснащенных однотипными электромеханическими приводами для разматывания и смотки рулонов и другие технологические машины.

К оборудованию моталок и разматывателей и их приводам в условиях технологических агрегатов при обработке полос предъявляются высокие требования по обеспечению стабильности процессов разматывания и смотки рулонов [5, 6]:

- обеспечение натяжения полосы между подающими роликами и барабаном моталки;
- наличие индивидуального привода с

электродвигателем и системой плавного регулирования скорости для работы в 3-х режимах: режим разгона до номинальной скорости смотки, заправочный режим при захвате полосы барабаном моталки, режим стабилизации в период смотки;

- обеспечение плотности рулона без телескопичности (центрирование);
- обеспечение минимального прогиба барабана введением дополнительной (консольной) опоры концевой опоры барабана;
- наличие 2-х моталок однотипной конструкции для реализации непрерывности технологического процесса;
- обеспечение надежной работы элементов привода моталки с минимизацией отказов вследствие нарушений работоспособности.

Данные требования приведены, в основном, для моталок и разматывателей при их эксплуатации в цехах холодной прокатки полос, при этом следует отметить, что в процессе эксплуатации, прежде всего моталок, возникают нарушения работоспособности элементов привода моталок, что является причиной, во-первых, снижения показателей надежности (работоспособности)

элементов приводов и самих моталок, во-вторых, ухудшения качества смотки рулонов холоднокатаных полос.

В связи с вышеизложенным совершенствование элементов приводов моталок и размотывателей, направленное на повышение эффективности и надежности работы моталок и их приводов, а также повышение качества смотки, является актуальной задачей.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА МОТАЛКИ

В работе [7] проведен анализ условий нагружения элементов привода моталки полос на непрерывном травильном агрегате.

На рис. 1 приведена рассмотренная в работе [7] схема привода и воздействующих на элементы привода энергосиловых и скоростных параметров.

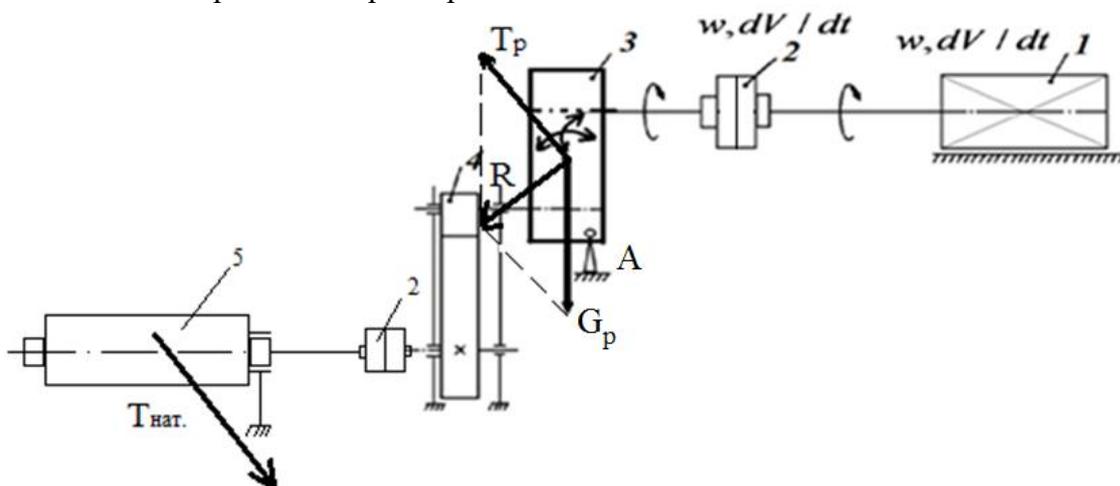


Рис. 1. Схема нагружения редуктора привода моталки:

1 – электродвигатель; 2 – зубчатая муфта; 3 – редуктор; 4 – зубчатая передача; 5 – барабан моталки

Существенным фактором при обеспечении требуемых режимов работы привода является определение диапазона величин упругой податливости (P_y) редуктора как одномассовой системы на жесткой и условно-податливой опорах, так величина упругой податливости определяет смещение валов в зубчатых муфтах по абсолютному смещению Δ и угловому γ .

Работа привода барабана (5) моталки обеспечивается электродвигателем SHC450VL2 (1), моторной и коренной зубчатыми муфтами (2), редуктором (3), зубчатой передачей (4). Редуктор (3) установлен на одной жесткой опоре «А». При этом трансмиссия по передаче $M_{кр}$ от выходного вала редуктора (3) к барабану моталки (5) выполняет роль второй опоры. Данная схема нагружения является причиной появления кратковременных вибрационных нагрузок во время пуска-остановки электродвигателя, что может привести к выходу из строя зубчатой муфты за счет существенной расцентровки. Условия возникновения динамических нагрузок от пуска до заправочного режима и перехода к стабильному режиму рассмотрены в работах [6,8].

Данный диапазон определен в работе [7] для нормального режима и критического, при котором величины Δ и γ превышают допусковые для зубчатых муфт по ГОСТ [9].

На основе расчетов величин P_y при различных значениях реактивной $T_{реакт}$ и динамической $Q_{дин}$ нагрузок получена модель в виде:

$$P_y = 0,28 + Q_{дин}^2 + 0,02 * T_{реакт}^2 + 0,01 * Q_{дин} * T_{реакт} ,$$

и на основе модели построена критериальная область величин упругой

податливости (рис.2) [7].

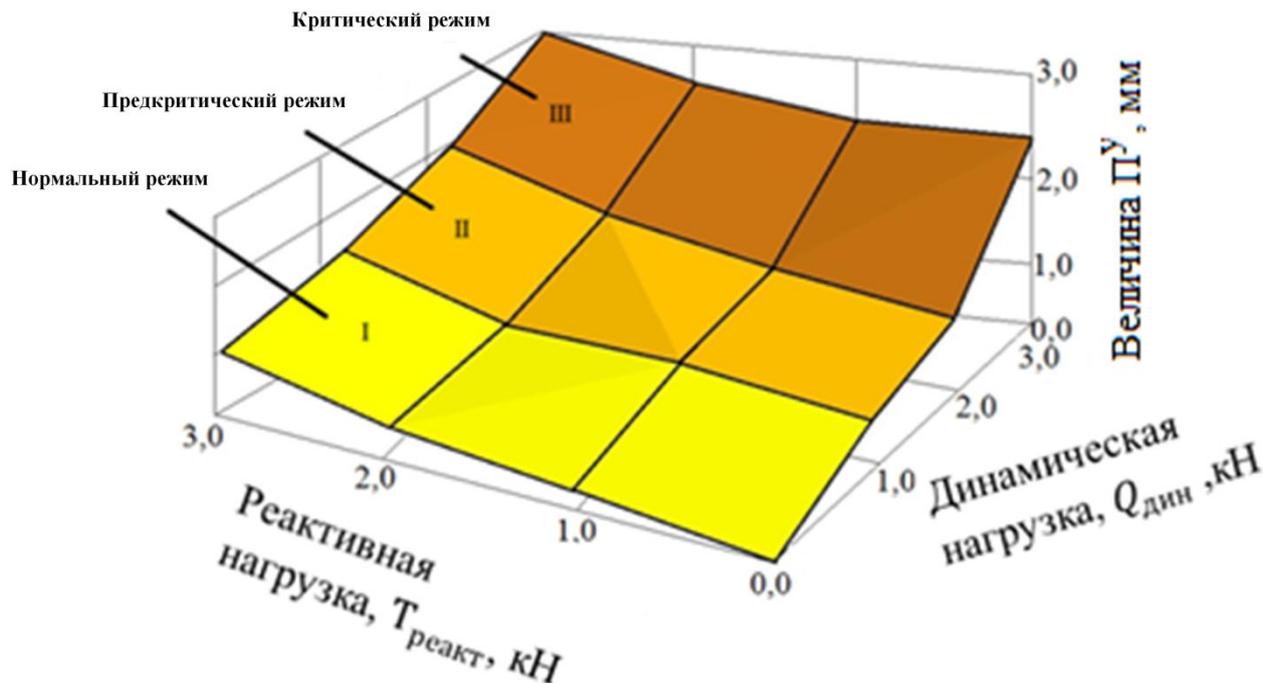


Рис. 2. Критериальная область величин упругой податливости

Анализ показывает (рис. 2), что при достижении завершающей фазы предкритического режима существенно повышается воздействие динамической составляющей нагрузки $Q_{дин}$ на величину упругой податливости P_y , значение которой при переходе в критический режим возрастает в $2,0 \div 2,2$ раза, что приводит к нарушениям в работе зубчатых муфт.

В связи с вышеизложенным практическая задача состоит в разработке технических решений, которые, с одной стороны, снижают уровень упругой податливости редуктора до значений, соответствующих нормальному режиму (в период разгона), а с другой стороны, обеспечивают применение типов муфт, обладающих необходимыми демпфирующими свойствами и способными обеспечивать необходимую работоспособность в условиях переменных нагрузок.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

При анализе условий нагружения элементов привода (редуктора) установлено, что наличие повышенных значений величины упругой податливости

редуктора при пуске и остановке двигателя и вследствие этого возникновение критического режима связано с конструктивной особенностью редуктора (наличие жесткой и условно податливой опоры), что приводит к существенным кратковременным динамическим нагрузкам. Поэтому для существенного снижения динамических нагрузок рациональным следует считать установку редуктора на двух жестких опорах. С учётом геометрических и силовых параметров выполнен прочностной расчет на основе программного продукта Компас 3D. Получено распределение напряжений для модели редуктора, максимальная величина наиболее нагруженной опоры составила не более 2,5 МПа, что обеспечивает необходимый запас прочности.

Следует отметить, что схема рассматриваемого привода (см. рис. 1) обладает рядом недостатков. Наличие редуктора и зубчатой пары для необходимого редуцирования при обеспечении постоянной скорости барабана моталки приводит к снижению показателей надёжности привода, прежде всего показателей безотказности,

долговечности и ремонтпригодности. Как отмечено выше, снижение показателей безотказности и долговечности связано с воздействием вибраций на элементы привода и появлением отказов зубчатой моторной муфты. Снижение показателей ремонтпригодности обусловлено значительным временем замены отказавших элементов привода во время аварийного или текущего ремонта. В связи с вышеизложенным рациональной может быть модернизация привода с установкой, например, планетарного соосного редуктора, однако этот вопрос требует дополнительного исследования.

В плане возможной модернизации привода рациональной может быть также замена моторной зубчатой муфты на другой тип. Действительно зубчатые муфты при всех их достоинствах не обладают необходимыми демпфирующими свойствами и плохо переносят ударно-переменные нагрузки, возникновение которых возможно при разбалансировке редуктора (значительные величины упругой податливости во время пуска и остановки двигателя). В работе [10] обоснованы параметры и

промышленное применение упругой муфты в приводах, характеризующихся возникновением ударно-переменных нагрузок.

Данная муфта (ПМЭЭДТ) (рис. 3) представляет собой конструкцию с эластичными элементами дискового типа, изготовленными из резинокордного материала, в котором кордные диски чередуются со слоями из резины [11].

В настоящее время имеется достаточное количество муфт, работающих в условиях динамических нагрузок, к которым, кроме зубчатых, можно отнести торообразные, лепестковые, с упругой звездочкой и др. Но каждый вид перечисленных муфт имеет различные недостатки [10]: для торообразных муфт характерны значительные диаметральные размеры, лепестковые муфты обладают недостаточной эксплуатационной надежностью вследствие обрывов и ослабления крепления лепестков, для муфт с упругой звездочкой характерна относительно малая компенсирующая способность.

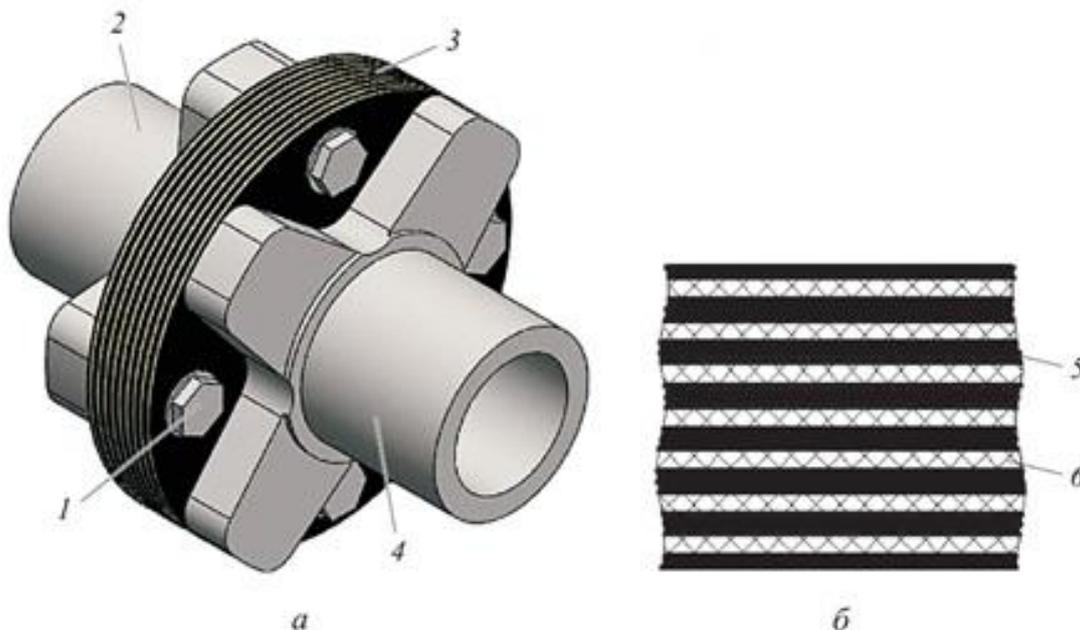


Рис. 3. Твердотельная модель упругой ПМЭЭДТ (а) из резинокордного материала (б): 1 – пальцы; 2, 4 – полумуфты; 3 – эластичный элемент; 5 – резина; 6 – кордная ткань

В предлагаемой муфте [11] демпфирующие свойства значительно

выше, чем у зубчатых, втулочно-пальцевых и муфт с упругой звездочкой.

При этом передаваемый крутящий момент в 10 раз больше, чем у торообразных, лепестковых и цепных муфт [10].

На рис. 4 показана муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа, представляющим собой пакет, включающий определенное количество дисков, состоящих из чередующихся слоев резины и кордной ткани с равным

соотношением их ширины. Крутящий момент передается через полумуфту 1 на эластичный элемент дискового типа 3 путем беззазорной установки в них четырех пальцев 4 и далее через эластичный элемент дискового типа 3 на полумуфту 2 при помощи связанных с ней четырех пальцев 4 [11].

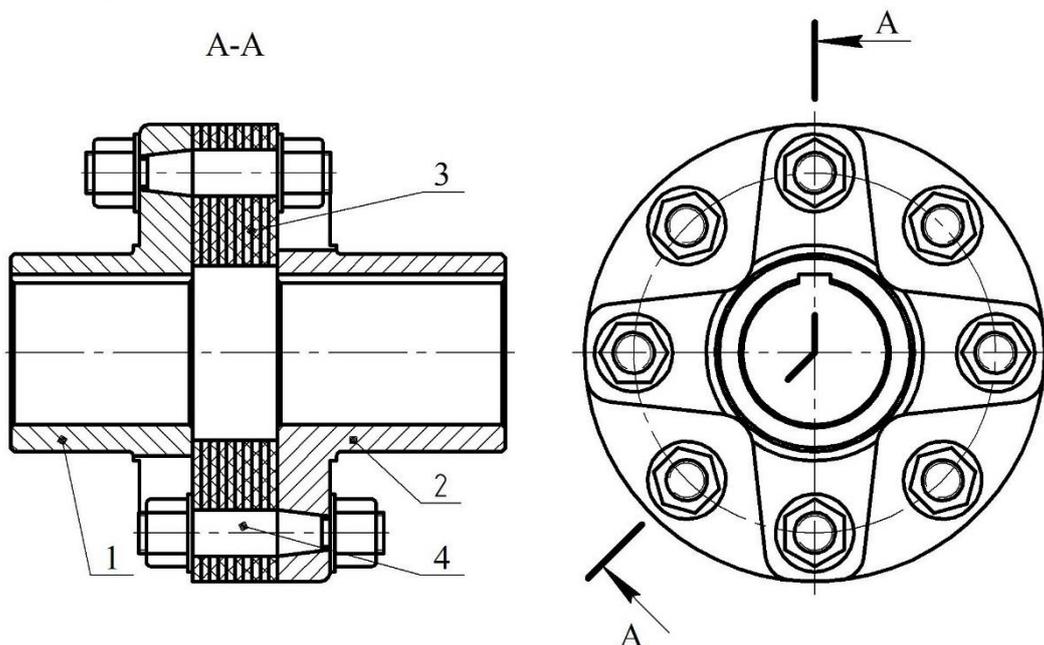


Рис. 4. Муфта упругая ПМЭЭДТ

В рассматриваемой муфте компенсация осевых, угловых и радиальных смещений валов и передача значительных крутящих моментов обеспечивается пакетом дисков, представляющих собой слои резины и кордной ткани. Пакет эластичных элементов позволяет также увеличить безотказность муфты, так как при нарушении целостности (выходе из строя) одного из дисков нагрузка перераспределяется на остальные.

Таким образом, предложенная муфта позволяет передавать большие крутящие моменты, обеспечивая демпфирующий эффект.

ВЫВОДЫ

1. Введение дополнительной условно жёсткой опоры редуктора существенно снижает величину его упругой податливости за счёт снижения уровня динамических нагрузок при разгоне двигателя.

2. Предложено применение дисковой упругой муфты с резинокордным материалом в качестве моторной при передаче крутящего момента от электродвигателя к редуктору.

3. Конструктивное изменение редуктора путём введения дополнительной условно жёсткой опоры и применение моторной упругой муфты ПМЭЭДТ вместо зубчатой обеспечивает повышение надёжности привода моталки и необходимое качество смотки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Hibbeler, R.C.** Engineering mechanics. Statics & dynamics / R.C. Hibbeler. – Text : immediate // Pearson. – 2016. – 1469 p.
2. Mechanics of Materials / F.P. Beer, E.R. Johnston, J.T. DeWolf, D.F. Mazurek. – Text : immediate // McGraw-Hill Education. – 2020. – 807 p.
3. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 / В.В. Веренев, В.И. Большаков, А.Ю. Путники [и др.]. – Текст : непосредственный. – Днепропетровск : ИМА-пресс, 2011. – 184 с.
4. **Ruina, A.** Introduction to statics and dynamics / A. Ruina, R. Pratap. – Text : immediate // Oxford University Press. – 2011. – 1029 p.
5. **Колесников, А.Г.** Технологическое оборудование прокатного производства: учебное пособие / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Мальцев. – Текст : непосредственный. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2014. – 158 с.
6. **Мещеряков, В.Н.** Совершенствование систем управления моталками прокатных станов холодной прокатки / В.Н. Мещеряков, С.В. Усов. – Текст: непосредственный // Современная металлургия начала нового тысячелетия. К 80-летию НЛМК (Программа «Кадры для регионов») : сборник научных трудов международной научно-практической конференции 17–21 ноября 2014 г. В 3 ч. Ч. 3. – Липецк : Изд-во ЛГТУ. – 2014. – 259 с.
7. **Жильцов, А.П.** Оценка влияния условий нагружения на работоспособность : элементов привода моталки полос на непрерывном травильном агрегате / А.П. Жильцов, Ю.К. Костров, П.В. Курило. – Текст : непосредственный // Вестник ЛГТУ. – 2019. – № 2 (40). – С. 33 – 41.
8. **Маслов, Е.А.** Алгоритм обработки информации о натяжении полосы для идентификации вибраций на станах бесконечной прокатки на основе вейвлет-преобразователя / Е.А. Маслов, К.А. Харахнин, А.В. Кожевников. – Текст : непосредственный // Производство проката. – 2010. – № 10. – С. 36–39.
9. **ГОСТ Р 50895-96.** Муфты зубчатые. Технические условия : Государственный стандарт российской федерации : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23 апреля 1996 г. N 289 6 введен впервые : дата введения 1997-07-01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ) : внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 351 "Механические приводы" – Москва: Издательство стандартов, 1996. – 26 с. – Текст : непосредственный.
10. **Жильцов, А.П.** Обоснование параметров и промышленное освоение упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа в приводе четырехвалковой дробилки / А.П. Жильцов, Р.С. Мележик, Д.А. Власенко [и др.]. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 12. – С. 3–13.
11. **Патент № 210721. Российская Федерация, МПК F16D 3/50 (2006.01).** Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа = Finger coupling with elastic disc type element № 2021113946 : завл. 17.05.2021 : опубл. 28.04.2022 / Р.С. Мележик, Д.А. Власенко, А.П. Жильцов, Я.Э. Крупнов. – 6 с. : ил. – Текст: непосредственный.

Сведения об авторах:

Жильцов Александр Павлович

кандидат технических наук, доцент,
профессор РАЕ,
профессор кафедры металлургического
оборудования,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
mo@stu.lipetsk.ru

Харитоненко Анатолий Анатольевич

канд. физико-математических наук, доцент
кафедры металлургического
оборудования,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
akhariton@gmail.com

Челядина Алла Леонидовна

старший преподаватель кафедры
металлургического оборудования,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
alisa.65@mail.ru

Козенко Наталья Евгеньевна

магистрант кафедры металлургического
оборудования,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
djljktq81@mail.ru

Information about the authors:

Zhiltsov Alexander Pavlovich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, RAE Professor, Professor of the
Department of Metallurgical Equipment,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
mo@stu.lipetsk.ru

Kharitonenko Anatoly Anatolyevich

Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, Associate Professor of the
Department of Metallurgical Equipment,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
akhariton@gmail.com

Chelyadina Alla Leonidovna

Senior lecturer of the Department of
Metallurgical Equipment,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
alisa.65@mail.ru

Kozenko Natalia Evgenievna

Master's student of the Department of
Metallurgical Equipment,
Lipetsk State Technical University.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
djljktq81@mail.ru

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Липецкого государственного технического университета» публикуются статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера.

Статья должна поступить на электронный адрес kaf-vm@stu.lipetsk.ru и сохранена в версии Microsoft Word 2003. Рукопись статьи (1 экземпляр) и сопроводительные документы должны быть высланы в редакцию. К сопроводительным документам относятся:

– рецензия, отражающая следующие пункты: актуальность представленной работы; характеристика объекта исследования; качество постановки целей работы и задач исследования; степень научной новизны исследования, практическая значимость работы; учебно-методическая ценность исследования, стиль изложения; степень разработанности темы научного исследования; структурность работы. (В случае если один из авторов является доктором наук, рецензия должна быть подписана доктором соответствующего профиля.);

– выписка из протокола заседания кафедры, на котором было принято решение о рекомендации публикации статьи в журнал «Вестник Липецкого государственного технического университета»;

– согласие на публикацию и гарантии того, что статья не будет больше нигде опубликована, подписанные автором.

Оформление статьи должно соответствовать следующим требованиям:

1. На первой странице должны быть указаны: УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, название учреждения, представляющего рукопись для опубликования.

2. Текст статьи набирается в формате *.doc шрифтом Times New Roman размером 12 pt через одинарный интервал, без отступов, отступ красной строки 0,5 см, выравнивание по ширине, без уплотнения. Поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2 см, в две колонки. Не использовать табуляций, автоматических списков. Не использовать курсив, жирный текст и подчеркивания.

Между цифровым значением величины и ее размерностью следует ставить знак неразрывного пробела. Переносы в словах не употреблять. Не использовать в тексте для форматирования знаки пробела.

3. Для набора формул применять редактор Microsoft Equation 3.0. Формулы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, без курсива, размером 12 pt, одинарным интервалом.

Большие формулы необходимо разбивать на отдельные части. Фрагменты формул должны быть независимы (при использовании редактора формул каждая строка – отдельный объект).

Нумерацию и знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

4. Таблицы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, размером 12 pt, одинарным интервалом. В случае если в тексте есть ссылка на таблицу, то пишется слово «табл.».

5. Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Библиографический список должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.0.100-2018. Ссылки на библиографический список в тексте приводятся в квадратных скобках. Перечень литературных источников должен содержать не менее 15 наименований.

6. Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим государственным стандартам.

7. К статье прилагаются: аннотации (200–250 слов); ключевые слова (не менее трех); имена и фамилии авторов, ученые звания, должности и адрес места работы, электронный адрес; на английском языке название статьи, аннотация, ключевые слова, имена и фамилии авторов.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ

DOI (присваивается редакцией)
УДК 656.078:338.2

Ю.Н. РИЗАЕВА, В.А. ЛОГИНОВ

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ВО ВРЕМЕНИ СПРОСЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к планированию поставок продукции. Предложен алгоритм сокращения потерь у потребителя и производителя при изменяющемся во времени спросе потребителя. Акцент сделан на современные требования в развитии отрасли за счет совершенствования планирования деятельности предприятий по показателям, которые являются функцией от спроса. Применение нового подхода к планированию поставок продукции заключается в учете изменяющегося во времени спросе потребителя. Математическое моделирование выполняется применительно к реальным эксплуатационным условиям. Планирование реализуется за счет разработанной математической модели и методики, направленных на сокращение общесистемных потерь. Применение разработанного подхода в практике работы предприятий позволит формировать общесистемные потери и использовать новое программное обеспечение для разработки и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: поставка продукции, спрос, потери потребителя, потери производителя, планирование поставок продукции.

Yu.N. RIZAEVA, V.A. LOGINOV

SUPPLY PLANNING AT TIME-VARYING CONSUMER DEMAND

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses approaches to product supply planning. An algorithm is proposed for reducing consumer and producer losses at time-varying consumer demand. Modern requirements are emphasized in the industry development by improving production planning according to indicators that are a function of demand. The new approach to supply planning is manifested in taking into account the time-varying consumer demand. Mathematical modeling is performed with respect to real operating conditions. Planning is implemented through the developed mathematical model and methodology aimed at reducing system-wide losses. The practical application of the developed approach will form system-wide losses and use new software to develop and make managerial decisions.

Keywords: product supply, demand, consumer losses, producer losses, product supply planning.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим процесс производства и поставки продукции в дискретные моменты времени $t=0,1, \dots, T$,

где T – период планирования [1, 2].

Спрос потребителя на продукцию в эти моменты времени задан и определяется функцией $q(t)$. Обозначим неизвестный размер поставки в момент времени как $x(t)$. При несовпадении поставки $x(t)$ и спроса $q(t)$ возникают общесистемные потери. При дефиците, то есть когда

$$d(t)=x(t)-q(t)<0,$$

общесистемные потери обуславливаются неудовлетворенностью спроса [3–5]. При превышении поставки над спросом, когда $d(t)>0$, потери вызваны дополнительными затратами на хранение избытка продукции.

Так как потери от превышения объема поставки продукции над спросом $d(t)>0$ меньше, чем потери от дефицита $d(t)<0$, то при одинаковом значении разности (в абсолютном значении) d , график функции потерь $f_1(d)$ будет иметь вид, как на рис. 1 (потери прямо пропорциональны разности d).

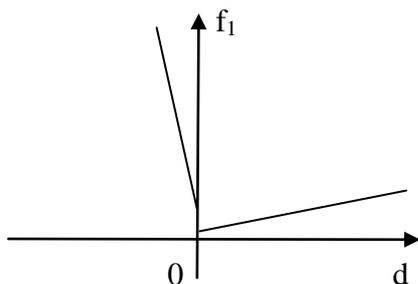


Рис. 1. График функции потерь потребителя

Функциональную зависимость, представленную на рис. 1, аппроксимируем:

$$f_1(d)=\begin{cases} a_1 d, & \text{если } d \geq 0 \\ b_1 d, & \text{если } d \leq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где a_1 и b_1 – удельные потери потребителя на единицу продукции. При этом $b_1 > a_1 > 0$.

Для поставщика продукции желательна постоянная интенсивность производства, то есть $x(t) = \text{const}$, когда

$$u(t)=x(t+1)-x(t)=0.$$

В случае $u(t)>0$ или $u(t)<0$ производитель несет потери из-за перестройки производства. Функция потерь производителя имеет вид, показанный на рис. 2.

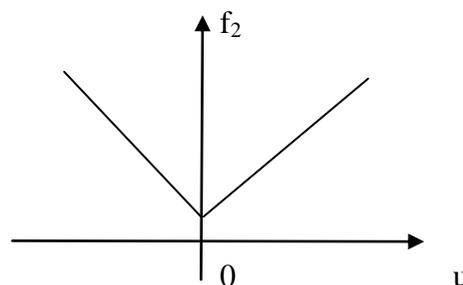


Рис. 2. График функции потерь производителя

В аналитическом виде аппроксимируем эту функцию в виде

$$f_2(u)=\begin{cases} a_2 u, & \text{если } u \geq 0 \\ b_2 u, & \text{если } u \leq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где a_2 и b_2 – удельные потери производителя на единицу продукции. Величины коэффициентов зависят от конкретных условий производства. Ясно только, что $a_2 > 0$, $b_2 > 0$ [6, 7].

Сформулируем задачу планирования поставки продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя: найти функцию поставки продукции $x(t)$, $t=1,2, \dots, T$, и динамику изменения этого объема поставки

$$u(t)=x(t+1)-x(t), \quad t=1,2, \dots, T-1,$$

чтобы минимизировать суммарные потери потребителя в течение планового периода T .

ВЫВОДЫ

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод о возможности применения данного алгоритма в планировании поставок продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя, при этом общесистемные потери сокращаются. Результаты исследования предназначены для практики работы предприятий на этапе определения показателя общесистемных потерь.

Сведения об авторах:

Ризаева Юлия Николаевна

доктор технических наук, заведующий кафедрой управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Логинов Владимир Анатольевич

кандидат экономических наук, доцент кафедры управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

v_loginov@lipetsk.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Логинов, В.А.** Устойчивость развития транспортных систем / В.А. Логинов, А.К. Карташова. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. В 2-х частях. Часть 1. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2017. – С. 538–541.
2. **Быстров, Н.В.** Обзор современных мировых тенденций развития асфальтобетонов / Н.В. Быстров. – Текст : непосредственный // Дороги России. – 2020. – № 1 (115). – С.90.
3. Интеллектуальные методы управления транспортными системами (2-изд.) / А.С. Сысоев, С.А. Ляпин, А.В. Галкин [и др.]. – Москва : Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2022. – 192 с. – Текст : непосредственный.

Information about the authors:

Rizaeva Yulia Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of

Vehicle Management

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Loginov Vladimir Anatolyevich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Management,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

v_loginov@lipetsk.ru

ISSN 2304-9235

ВЕСТНИК

**Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)**

№ 4 (53) 2023 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Scientific and technical journal «Vestnik LSTU»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации **ПИ № ФС77-57003**. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 25.02.2014 г.

Выходит 4 раза в год.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

*Адрес редакции: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-81-33.*

Липецкий государственный технический университет.
Отдел полиграфических работ и услуг.
Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-82-43.

Редакторы: М.Ю. Болгова, Г.В. Казьмина, Е.А. Федюшина

Перевод (англ.) Н.В. Барышев

Подписано в печать 20.12.2023. Выход в свет 22.12.2023.
Бумага офсетная. Формат 60x84 1/8. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 6,5. Тираж 500 экз.(1-й завод -50экз)
Заказ № 755. Цена свободная.
Отпечатано в отделе полиграфических работ и услуг
Липецкого государственного технического университета.
Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-82-43.