

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

ISSN:2618-8201

№ 1 (37)
2025

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

«Севастопольский государственный университет»

№ 1(37)

2025

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Севастополь 2025

*Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»*

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 2025 г. №1 (37)

*Сборник научных трудов. Издание основано в 2016 году. Периодичность - 4 номера в год.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации выдано Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Серия № ФС 77 – 64121 от 25.12.2015 г.*

*Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
и размещается в научной электронной библиотеке (Elibrary.ru)*

*Свидетельство о регистрации в национальном центре ISSN и присвоение международного стандартного номера
серийного издания (International Standard Serial Number) 2618-8201 от 06.07.2018 г.*

В сборнике научных трудов публикуются статьи по следующим научным специальностям:

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки;*
- 2.5.6. Технология машиностроения; 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы;*
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами;*
- 2.6.17. Материаловедение; 4.3.3. Пищевые системы.*

Главный редактор:

д.т.н., проф. Братан С.М.

Зам. главного редактора:

д.т.н., проф. Покинтелица Н.И.

Научный редактор:

к.т.н., проф. Харченко А.О.

Отв. секретарь:

к.т.н., доцент Возжзов А.А.

Техн. секретарь:

к.т.н., Стадник Т.В.

Редакционная коллегия

Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (г. Симферополь); Бохонский А.И., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Гусев В.В., д.т.н., проф. (г. Донецк); Дуюн Т.А., д.т.н., доц. (г. Белгород);

Карлов А.Г., к.т.н., доц. (г. Севастополь); Козлов А.М., д.т.н., проф. (г. Липецк);

Куликов Д.А., к.т.н., доц. (г. Москва); Лебедев В.А., к.т.н., проф. (г. Ростов-на-Дону);

Леонов С.Л., д.т.н., проф. (г. Барнаул); Лобанов Д.В., д.т.н., доц. (г. Чебоксары);

Малышева Г.В., д.т.н., проф. (г. Москва); Михайлов А.Н., д.т.н., проф. (г. Донецк);

Носенко В.А., д.т.н., проф. (г. Волжский); Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Осипов К.Н., д.т.н., доц. (г. Севастополь); Полтавец В.В., д.т.н., проф. (г. Донецк);

Соколов С.А., д.т.н., проф. (г. Донецк); Суслов А.Г., д.т.н., проф. (г. Брянск);

Федонин О.Н., д.т.н., проф. (г. Брянск); Юшина Ю.К., д.т.н., проф. (г. Москва);

Якубов Ч.Ф., к.т.н., доц. (г. Симферополь); Ярошенко А.А., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Яшонков А.А., к.т.н., доц. (г. Керчь).

Мнение авторов статей, представленных в сборнике научных трудов, может не совпадать с мнением редакции.

Все статьи проходят обязательное рецензирование и проверку сервисом «Антиплагиат».

Издание осуществлено на средства авторов и распространяется бесплатно.

Дата выхода в свет: 20.12.2025 г.

Тираж: 25 экз.

Адрес редакции: 299053, г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14, каб. 222, <http://sevsu.ru/nauka/pechatnye-izdaniya>;

Телефон редакции: 8(692)41-77-41 добавочный 1362; e-mail: vst_sevsu@mail.ru

Адрес издателей: ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», бульвар 50 лет Октября, д.7, Брянск, 241035, Российская Федерация; ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация.

Адрес типографии: г. Севастополь, ул. Курчатова 7.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Мирзоян Н.Ю., Харченко А.О.</i> Синтез технологической системы мелкоразмерной резбообработки в глухих глубоких отверстиях на основе морфологического анализа ...	4
<i>Карлов А.Г.</i> Системный подход к формированию нетривиального инженерного мышления детей и студентов для пополнения кадров, способных динамично создавать инновационные технологии.....	12
<i>Вожжов А. А., Дробитько А. И., Казак А.С.</i> Исследование факторов влияющих на производительность финишной абразивной обработки экструзивным потоком.....	20
<i>Братан С.М., Часовитина А.С., Харченко А.О.</i> Проектирование системы автоматического управления стабилизации положения стола резбонарезного станка с комбинированным МПС.....	27
<i>Сидоров Д.Е., Калицев В.Н.</i> Мониторинг износа режущих инструментов при финишной обработке методами высокоскоростной киносъёмки: комплексный анализ и перспективы внедрения в промышленности.....	32

РАЗДЕЛ II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Акимова О.В., Каминская Т.П., Попов В.В., Куликова Е.С., Волкова Л.В., Нефедова С.М.</i> Исследования структуры и поверхности промышленных пленок полиэтилентерефталата.....	38
---	----

РАЗДЕЛ III ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Прокопенко И.А., Максименко А.Е.</i> Усовершенствование технологии бисквитного полуфабриката для производства диетических мучных кондитерских изделий.....	47
---	----

РАЗДЕЛ I МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.7

СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕЛКОРАЗМЕРНОЙ РЕЗЬБООБРАБОТКИ В ГЛУХИХ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЯХ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Н.Ю. Мирзоян¹,
А.О. Харченко¹*

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлена морфологическая матрица технологической системы для внутренней резьбообработки в глухих глубоких отверстиях. Произведён синтез вариантов структуры технологической системы мелкоразмерной резьбообработки в глухих глубоких отверстиях. Построены графы возможных структурных вариантов свойств подсистем «заготовка», «станок», «приспособление», «инструмент». Определены суммарные качественные показатели для каждой из возможных структур подсистем и выбраны оптимальные варианты данных структур.

Ключевые слова: внутренняя резьба, морфологический анализ, подсистема, заготовка, станок, приспособление, инструмент.

SYNTHESIS OF A TECHNOLOGICAL SYSTEM OF SMALL-SIZE THREADING IN BLIND DEEP HOLES BASED ON MORPHOLOGICAL ANALYSIS

*N.Y. Mirzoyan¹,
A.O. Kharchenko¹*

¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

The morphological matrix of the technological system for internal threading in blind deep holes is presented. The synthesis of variants of the structure of the technological system of small-size threading in blind deep holes has been carried out. Graphs of possible structural variants of the properties of subsystems "billet", "machine", "device", "tool" are constructed. The total qualitative indicators for each of the possible subsystem structures are determined and optimal variants of these structures are selected.

Keywords: internal thread, morphological analysis, subsystem, workpiece, machine tool, device, tool.

Широкое применение мелкоразмерных резьб М2...М6 в машино- и приборостроении требует решения задачи повышения их точности при обработке глухих глубоких отверстий [1]. Так как процесс получения мелкоразмерных резьб в глухих глубоких отверстиях (МРвГГО)

является сложным многокомпонентным объектом, на который оказывают воздействие большое количество изменяющихся факторов, необходимо его рассматривать на основе системного подхода [2, 3]. Структурная схема процесса мелкоразмерной резбобработки в глухих глубоких отверстиях включает в себя отдельные элементы, взаимодействующие между собой: инструмент, заготовка, приспособление, станок, управляющие воздействия и внешняя среда, что можно представить с помощью выражения (1):

$$Z_{\text{ex}}(\tau) = Z_c(\tau) + Z_y(\tau) + Z_n(\tau) + Z_z(\tau) + Z_{cp}(\tau) + Z_u(\tau), \quad (1)$$

где $Z_i(\tau)$ – вектор параметров состояния соответствующей подсистемы.

Для морфологического анализа необходимо выполнить декомпозицию технологической системы процесса мелкоразмерной резбобработки в глухих глубоких отверстиях на подсистемы: станок «С», приспособление «П», инструмент «И», заготовка «З» [3]. На примере технологической системы резбобработки на базе станка с ЧПУ построим морфологическую матрицу (таблица 1).

Таблица 1. Морфологическая матрица технологической системы для внутренней резбобработки в глухих глубоких отверстиях

Подсистема – станок «С»		
№	Узел (признак)	Характеристика узла (признака)
1	Привод главного движения – X_1	Электрический – X_{11} ; пневматический – X_{12} ; гидравлический – X_{13} ; комбинированный – X_{14} .
2	Привод подач – X_2	Равномерная – X_{21} ; прерывистая – X_{22} ; самозатягиванием – X_{23} ; принудительная – X_{24} ; копирная пара – X_{25} ; гитара – X_{26} ; программное управление – X_{27} .
3	Направляющие элементы – X_3	Качения – X_{31} ; скольжения – X_{32} ; гидростатические – X_{33} .
4	Шпиндельный узел – X_4	Предохранительное устройство – X_{41} ; без предохранительного устройства – X_{42} .
5	Револьверная головка – X_5	Ось головки $\perp$ оси инструмента – X_{51} ; Ось головки $//$ оси инструмента – X_{52} ; Ось головки под $\angle$ к оси инструмента – X_{53} ; четыре позиции – X_{54} ; шесть позиций – X_{55} ; восемь позиций – X_{56} .
6	Многошпиндельная головка – X_6	Два шпинделя – X_{61} ; три шпинделя – X_{62} ; четыре шпинделя – X_{63} ; более 4-х – X_{64} ; разное расположение шпинделей – X_{65} ; диаметрально расположенные шпиндели – X_{66} ; сложное расположение шпинделей – X_{67} ; переналадка ручная – X_{68} ; переналадка механическая – X_{69} .
7	Стол – X_7	Неподвижный – X_{71} ; продольный – X_{72} ; продольно-поперечный – X_{73} ; круглый – X_{74} .

Подсистема – приспособление «П»		
1	Для зажима деталей – Y_1	Механизированное – Y_{11} ; автоматическое – Y_{12} .
2	Для позиционирования деталей – Y_2	Вручную – Y_{21} ; автоматически – Y_{22} .
3	Накопитель – Y_3	С палетами – Y_{31} ; магазинного типа – Y_{32} ; бункерный – Y_{33} ; лотковый – Y_{34} .
4	Манипулятор – Y_4	Есть – Y_{41} ; нет – Y_{42} .
Подсистема – инструмент «И»		
1	Количество инструментов – Z_1	Один – Z_{11} ; несколько – Z_{12} .
2	Тип инструмента – Z_2	Метчик – Z_{21} ; бесстружечный метчик – Z_{22} ; комбинированный метчик – Z_{23} .
3	Схема заборной части – Z_3	Профильная – Z_{31} ; генераторная – Z_{32} ; прогрессивная – Z_{33} .
4	Геометрия зубьев рабочей части – Z_4	Незатылованная – Z_{41} ; радиальное затылование – Z_{42} ; осевое затылование – Z_{43} ; пересечением резьб – Z_{44} .
5	Расположение рабочих вершин – Z_5	Равномерное – Z_{51} ; шахматное – Z_{52} ; сложное – Z_{53} .
6	Количество рабочих граней – Z_6	Три – Z_{61} ; четыре – Z_{62} ; шесть – Z_{63} .
7	Стружечные канавки – Z_7	Прямые – Z_{71} ; винтовые – Z_{72} ; криволинейные – Z_{73} .
8	Материал рабочей части – Z_8	Инструментальная часть – Z_{81} ; быстрорежущая сталь – Z_{82} ; твердый сплав – Z_{83} .
Подсистема – заготовка «З»		
1	Материал – W_1	Сталь конструкционная – W_{11} ; стали жаропрочные и нержавеющие – W_{12} ; цветные сплавы – W_{13} ; прочие труднообрабатываемые материалы – W_{14} .
2	Тип заготовки – W_2	Цилиндры, диски – W_{21} ; крепежные – W_{22} ; корпусные – W_{23} ; планки, пластины – W_{24} .
3	Количество отверстий – W_3	Одно – W_{31} ; несколько – W_{32} .
4	Класс точности – W_4	4Н5Н – W_{41} ; 5Н6Н – W_{42} ; 6Н – W_{43} ; 7Н – W_{44} ; 6G – W_{45} ; 7G – W_{46} .
5	Размер резьбы – W_5	Менее M2 – W_{51} ; M2...M4 – W_{52} ; M4...M6 – W_{53} .
6	Тип отверстия – W_6	Сквозное – W_{61} ; глухое – W_{62} ; глубокое – W_{63} .
7	Расположение отверстий – W_7	Рядное – W_{71} ; диаметрально – W_{72} ; смешанное – W_{73} .

После заполнения морфологической матрицы перейдем к синтезу вариантов структуры технологической системы мелкоразмерной резьбообработки в глухих глубоких отверстиях (МРвГГО). Методика поиска оптимальной структуры системы при заданных требованиях состоит в следующем. Вначале из множества признаков $n = 1, 2, \dots, N$ подсистемы «станок» (X), выделим наиболее приемлемые элементы для создания технологической системы (МРвГГО). При синтезе варианта технологической системы применимы различные типы перечисленных элементов, которые обеспечат правильное функционирование системы, но имеют различные характеристики (надёжность, габаритные размеры, масса, стоимость). Характеристики признаков из указанной таблицы 1 выбираем в качестве основы для построения графа на рисунке 1, характеризующем множество возможных вариантов подсистемы «станок» (X), которое равно числу путей в графе.

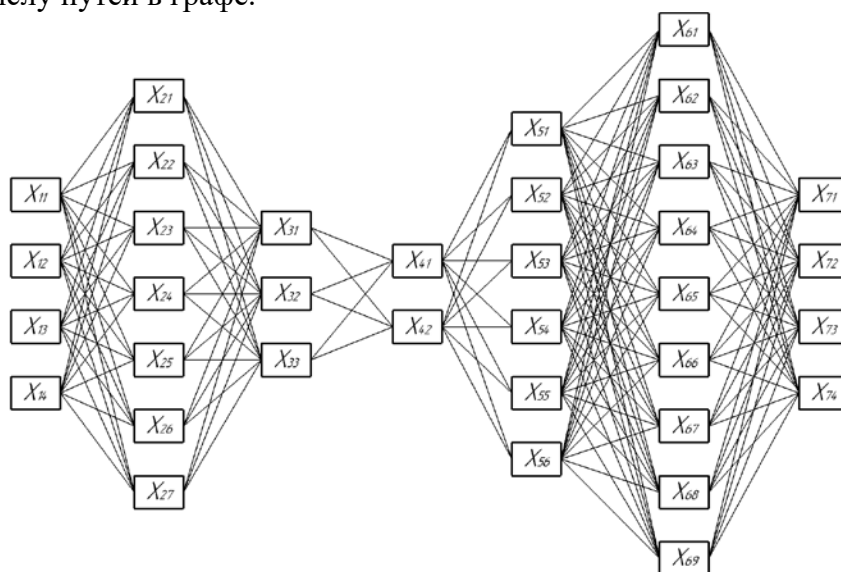


Рисунок 1. Граф возможных структурных вариантов подсистемы «станок» (X)

Выбираем технологический элемент «станок», проводя выбор требований на основе качественных показателей K_i^1 : настройка режимов обработки — K_1^1 : (0,5 — ручная, 0,75 — механизированная; 1,0 — автоматическая); способ смены инструмента — K_2^1 : (0,5 — ручной; 0,75 — механизированный; 1,0 — автоматический); наличие предохранительных устройств — K_3^1 : (0,5 — нет, 1,0 — есть); возможность многооперационной обработки — K_4^1 : (0,5 — нет; 1,0 — есть); система управления — K_5^1 : (0,5 — программное управление по циклу; 0,75 — ЧПУ (NC), 1,0 — ЧПУ типа CNC); возможность реализации на базе известных конструкций — K_6^1 : (0,5 — нет; 0,75 — частично; 1,0 — полностью).

С учётом большого количества вариантов синтез решения осуществляем, начиная с выбора вариантов подсистем, включая всё более и более существенные признаки. Кроме того, следует руководствоваться списком технических требований, определяющихся в первую очередь свойствами синтезируемой системы. Обозначение и расшифровка параметров X станка для технологической системы ВРвГГО приведены в морфологической матрице в таблице 1, характеристики элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа (рисунок 2), характеризующем множество возможных вариантов подсистемы «станок», которое равно числу путей в графе.

По формуле $K_c = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_i}{n}$ определяем суммарный качественный показатель для каждой из возможных структур. Наибольшее значение $K_c = 0,8$ принадлежит варианту станка:

$$C = X_{11} \rightarrow \begin{bmatrix} X_{22} \\ X_{24} \\ X_{27} \end{bmatrix} \rightarrow X_{31} \rightarrow X_{41} \rightarrow X_{51} \rightarrow X_{73}.$$

Выбранная структура «С» содержит узлы и характеристики, позволяющие с электрическим приводом главного движения, приводом прерывистой принудительной осевой подачи с программным управлением, с направляющими качения, предохранительным устройством шпиндельного узла, инструментальным магазином и продольно-поворотным столом обеспечить точные формообразующие движения для резбобработки в глухих глубоких отверстиях [4].

Зададимся конкретными свойствами такого элемента, как заготовка: размер резьбы – М4...М6; тип заготовки – корпус; количество отверстий – 1; тип отверстия – глухое, глубокое; класс точности – 4Н5Н; материал – сталь нержавеющая, сталь 45, алюминиевые сплавы. Обозначение и расшифровка параметров W заготовки для системы внутренней резбобработки в глухих глубоких отверстиях приведены в морфологической матрице в таблице 1, характеристики элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа (рисунок 2), характеризующем множество возможных вариантов подсистемы «заготовка», которое равно числу путей в графе.

Граф заданных свойств заготовки:

$$3 = \begin{bmatrix} W_{12} \\ W_{13} \end{bmatrix} \rightarrow W_{23} \rightarrow W_{31} \rightarrow W_{41} \rightarrow W_{53} \rightarrow \begin{bmatrix} W_{62} \\ W_{63} \end{bmatrix}.$$

Структура включает в себя заготовку из материалов (стали жаропрочные и нержавеющие – W_{12} ; цветные сплавы – W_{13}), тип – корпусные – W_{23} , с одним резьбовым отверстием – W_{31} , точность 4Н5Н – W_{41} , размером резьбы М4...М6 – W_{53} , тип отверстия – глухое – W_{62} и глубокое – W_{63} .

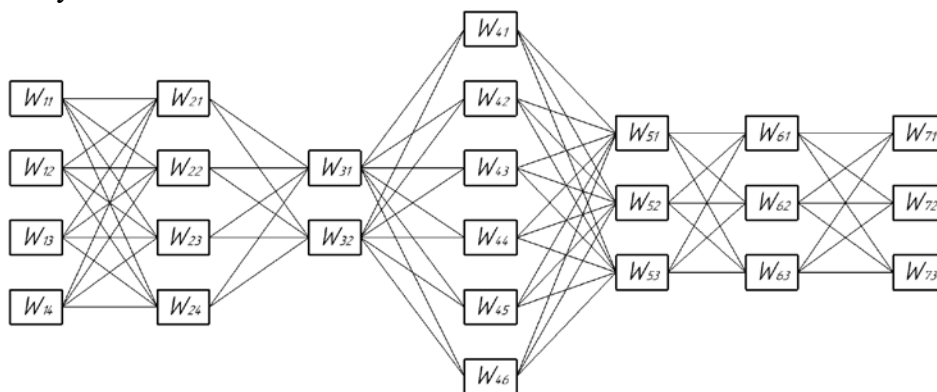


Рисунок 2. Граф возможных структурных вариантов свойств подсистемы «заготовка» (W)

Обозначение и расшифровка параметров Y приспособления для технологической системы МРВГГО приведены в морфологической матрице в таблице 1, характеристики

элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа (рисунок 3), характеризующем множество возможных вариантов подсистемы «приспособление», которое также равно числу путей в графе.

Качественные показатели K_i'' «приспособления» выбирали в соответствии со следующими техническими требованиями: способ загрузки и базирования – K_1^{11} : (0,5 – ручной; 0,75 – механизированный; 1,0 – автоматический); позиционирование – K_2^{11} : (0,5 – ручное; 0,75 – механизированное; 1,0 – автоматическое); возможность реализации на базе известных конструкций – K_3^{11} : (0,5 – нет; 0,75 – частично; 1,0 – полностью).

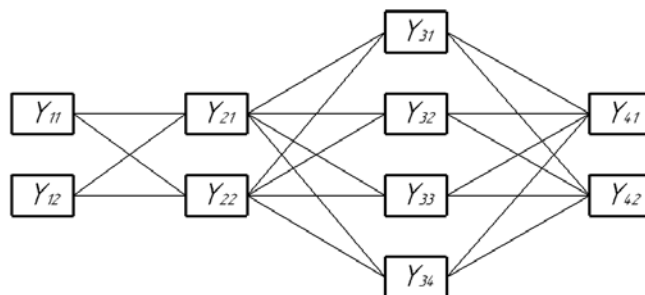


Рисунок 3. Граф возможных структурных вариантов подсистемы «приспособление» (Y)

По аналогии определяем суммарный качественный показатель для приспособления, наибольшую величину которого ($K_{II} = 1,0$) имеет структура:

$$II = Y_{12} \rightarrow Y_{22} \rightarrow Y_{34} \rightarrow Y_{41}.$$

Структура «II» включает в себя автоматические устройства зажима и позиционирования деталей, а также манипулятор для загрузки и разгрузки заготовок.

После этого выбираем по наибольшему качественному показателю K_i^{III} структуру «инструмента» на основании технических требований: стойкость K_1^{III} (0,75 – нормативная; 1,0 – повышенная); прочность K_2^{III} (0,75 – нормативная прочность стандартного инструмента; 1,0 – повышенная); регулирование геометрических параметров, переналадка K_3^{III} (0,5 – нерегулируемые; 0,75 – регулировка вручную; 1,0 – автоматическая). Обозначение и расшифровка параметров Z инструмента для технологической системы ВРвГГО приведены в морфологической матрице в таблице 1, характеристики элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа (рисунок 4), характеризующем множество возможных вариантов подсистемы «инструмент», которое также равно числу путей в графе.

Максимальный качественный показатель $K_{II} = 0,75$ получили три варианта «II» инструмента:

$$I_1 = Z_{11} \rightarrow Z_{21} \rightarrow Z_{32} \rightarrow Z_{42} \rightarrow Z_{51} \rightarrow Z_{61} \rightarrow Z_{72} \rightarrow Z_{83};$$

$$I_2 = Z_{11} \rightarrow Z_{23} \rightarrow Z_{31} \rightarrow Z_{44} \rightarrow Z_{51} \rightarrow Z_{61} \rightarrow Z_{71} \rightarrow Z_{82};$$

$$I_3 = Z_{11} \rightarrow Z_{23} \rightarrow Z_{31} \rightarrow Z_{44} \rightarrow Z_{51} \rightarrow Z_{61} \rightarrow Z_{73} \rightarrow Z_{82}.$$

Структуры I_1, I_2, I_3 имеют принципиальные конструктивные отличия прежде всего по способу формообразования резьбы (I_1 – методом снятия стружки; I_2 – методом пластической деформации; I_3 – сочетанием резания и пластического деформирования). Для выявления конструкций, приемлемых для широкого диапазона обрабатываемых материалов, необходимы дополнительные экспериментальные исследования и более точные критерии, учитывающие надежность и переналаживаемость.

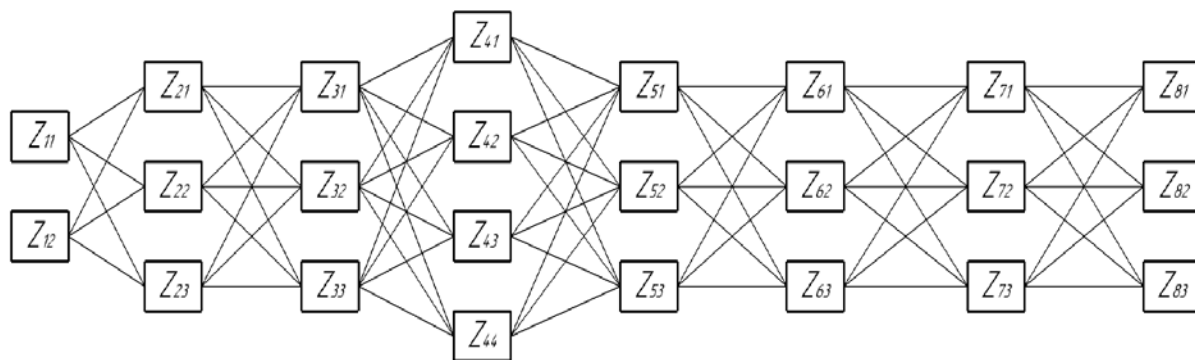


Рисунок 4. Граф возможных структурных вариантов подсистемы «инструмент» (Z)

На рисунке 5 приведены конструкции некоторых типов метчиков, в результате морфологического анализа признанные наиболее рациональными. Это режущий метчик структуры $И_1$ типа Т880 с винтовыми канавками (таблица 1, рисунок 5, а), а также варианты структур $И_2$, $И_3$, разработанные в СевГУ, рабочая часть которых получена пересечением многозаходных резьб с основной резьбой (авт. свид. SU 630036, 952490, 927426, рисунок 5, б, в) [5-7].

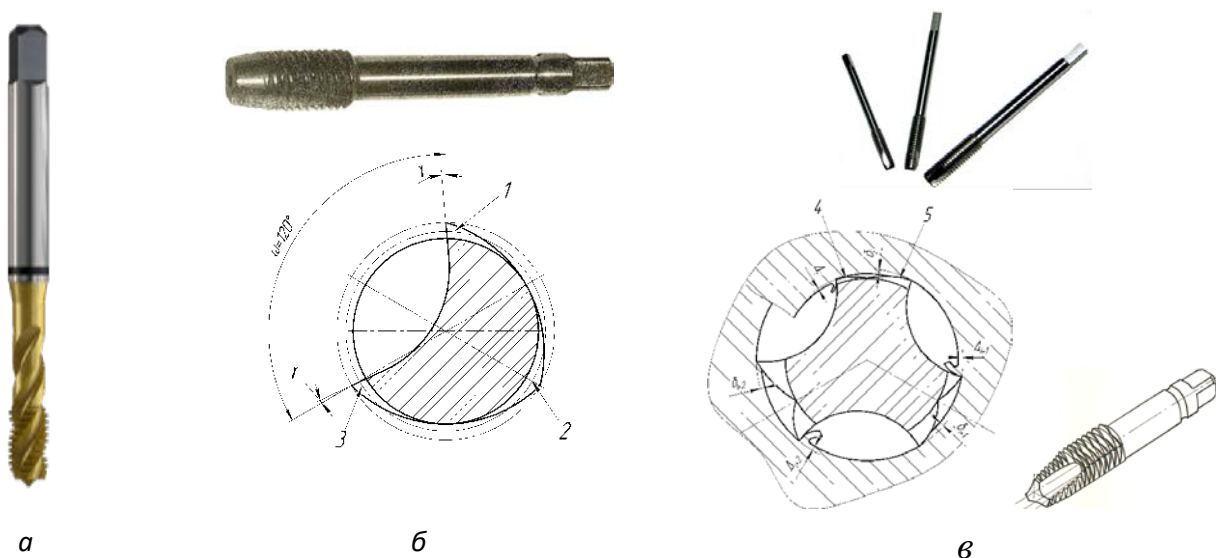


Рисунок 5. Рациональные структурные варианты подсистемы «инструмент» (Z) по результатам морфологического анализа

На этапе структурно-компоновочного синтеза можно ограничиться применением качественного критерия [8]. Морфологический анализ позволил выявить из сформированного множества вариантов для обработки МРВГГО три рациональных варианта (рисунок 6).

Таким образом, морфологический анализ позволил выявить из сформированного множества вариантов несколько рациональных структур (в данном случае – три). Для полной информации и объективной оценки предпочтительного для заданного варианта станка, приспособления и инструмента, необходим учет стохастических процессов, происходящих в системе в реальных условиях эксплуатации [9].

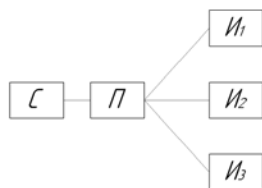


Рисунок 6. Граф возможных структурных вариантов технологической системы МРвГГО

Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза на уровне структурно-компоновочной оптимизации. Для дальнейшей оценки вариантов выбранных технологических систем для получения МРвГГО необходимо рассмотреть особенности возникновения отказов функционирования (эксплуатационную надежность) и параметрических отказов (технологическую надёжность) системы в реальных условиях функционирования.

Список литературы

1. Якухин В.Б. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Б. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
2. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
3. Братан С.М. Повышение точности формообразования мелкоразмерных резьб метчиками в алюминиевых сплавах / С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 164 с.
4. Методические указания к лабораторной работе «Изучение многооперационного обрабатывающего центра мод. МАХХmill 630» / Разраб. А.О. Харченко и др. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 39 с. – URI: <http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/11075>.
5. А.с. № 630036 SU. Способ изготовления метчика/ Канареев Ф.Н., Харченко А.О., Сергеева Н.М.; заявитель и правообладатель Севастопольский приборостр. ин-т.; опубл. 30.10.1978.
6. Пат. № 64951 UA. Способ изготовления метчика/ Канареев Ф.Н., Харченко А.О., Новиков П.А.; заявитель и правообладатель Севастопольский нац. техн. ун-т.; опубл. 25.11.2011.
7. Харченко А.О. Прогрессивные устройства и инструменты для мелкоразмерного резьбонарезания в отверстиях / А.О. Харченко, А.А. Харченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2023. № 2 (358). – С. 35-41. DOI:10.33979/2073-7408-2023-358-2-35-41.
8. Владецкая Е.А. Повышение эффективности сверления и резьбонарезания электроинструментом в условиях судостроения и судоремонта / Владецкая Е.А., Головин В.И., Харченко А.О., Владецкий О.В. Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 2-1 (60). С. 42-52.
9. Братан С. М. Обеспечение точности формообразования мелкоразмерных резьб в глухих глубоких отверстиях с позиций системного анализа / С. М. Братан, А. О. Харченко, Н. Ю. Мирзоян // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2024. – № 4(86). – С. 279-286.
10. Ольшанская И.В. Одноточная автоматизированная линия с промежуточными накопителями и различными видами простоев производственных ячеек / Ольшанская И.В., Федоренко С.Н. Информационные технологии. 2025. Т. 31. № 1. С. 16-23.
11. Obzherin Yu.E. Hidden markov model and states prediction of an autonomous wind-diesel complex / Obzherin Yu.E., Sidorov S.M., Fedorenko S.N. В сборнике: E3S Web of

Conferences. Rudenko International Conference "Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems" (RSES 2022). EDP Sciences, 2023. С. 01023.

УДК 658.512.2(075.8)

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ НЕТРИВИАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ ДЕТЕЙ И СТУДЕНТОВ ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ КАДРОВ, СПОСОБНЫХ ДИНАМИЧНО СОЗДАВАТЬ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А.Г. Карлов¹

¹*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия*

АННОТАЦИЯ

Обоснована целесообразность системного подхода к формированию основ инженерного мышления как у студентов, так и у школьников и дошкольников. Чтобы успешно решить проблемы импортозамещения во всех отраслях промышленности РФ, нужны инженерные кадры, которые способны быстро адаптироваться к решению любых сложных междисциплинарных проблем. Такие инженеры способны создавать глобально конкурентоспособные инновационные технологии и технические системы.

Ключевые слова: теория решения изобретательских задач; ОТСМ - Общая теория сильного мышления; Инновационная экосистема; МПиО – метод проб и ошибок; АРИЗ – алгоритм решения изобретательских задач; Функционально-ориентированное мышление; Серийный инноватор.

A SYSTEMATIC APPROACH TO DEVELOPING NON-TRIVIAL ENGINEERING THINKING IN CHILDREN AND STUDENTS TO REPLENISH A STAFF CAPABLE OF DYNAMICALLY CREATING INNOVATIVE TECHNOLOGIES

A.G. Karlov¹

¹ *Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

The expediency of a systematic approach to the formation of the foundations of engineering thinking among both students, schoolchildren and preschoolers is substantiated. To successfully solve the problems of import substitution in all industries of the Russian Federation, we need engineering personnel who are able to quickly adapt to solving any complex interdisciplinary problems. Such engineers are able to create globally competitive innovative technologies and technical systems.

Keywords: Theory of inventive problem solving; OTSM - General theory of strong thinking; Innovation ecosystem; MTaE – trial and error method; ARIZ – algorithm for solving inventive problems; Functionally oriented thinking; Serial innovator.

Введение. Одна из самых распространённых ошибок в практике обучения детей до 10 лет – это стремление дать обучающимся как можно больше разнообразных знаний конкретного

характера. При этом со многими фактами дети либо стихийно уже знакомы, либо не заинтересованы в их усвоении. Таким образом, одними из важнейших образовательных задач на современном этапе должны быть не столько сообщение новых конкретных знаний, сколько систематизация имеющихся, отработка умений самостоятельно добывать (достраивать) и свободно использовать информацию в процессе созидательной деятельности. Именно прогнозы, самостоятельные достройки, ведут к становлению творческого мышления и устойчивому познавательному интересу детей [1].

О проблемах и новых подходах к процессам развития креативного мышления начинающих изобретателей на базе ТРИЗ-ОТСМ-технологий многие авторы отмечают в своих публикациях уже давно. Среди авторов, которые не одно десятилетие писали об этом, хотелось бы отметить Мастера ТРИЗ Николая Хоменко. Многим специалистам в этой области знаний известны разработанные Н. Хоменко модели общей теории сильного мышления (ОТСМ). Модели эти и их развитие получили своё продолжение в рамках проекта «Джонатан Ливингстон» [2].

Хоменко Н.Н. был одним из учеников Г.С. Альтшуллера, автора теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Г.С. Альтшуллер одобрил деятельность и результаты работы Хоменко Н.Н. в направлении развития ТРИЗ в виде ОТСМ (Общей теории сильного мышления). [3,6]. Н.Н. Хоменко, как эксперт и тренер, принимал участие в решении множества комплексных междисциплинарных проблемных ситуаций. Среди его клиентов такие гранды мирового бизнеса, как: Samsung, LG-Electronics, Европейское аэрокосмическое агентство (EADS), Bosh-Siemens, Bombardier, European Institute for Energy Research и другие.

Примерно двадцать пять лет назад была поставлена задача создать программу подготовки магистров, способных быстро и успешно решать изобретательские задачи инвариантно к профилю первоначального технического образования. Один из первых проектов программы подготовки Магистров Инновационного Проектирования был реализован впервые в 2006 г. в Университете INSA (г. Страсбург, Франция). Научным руководителем этой уникальной программы «Продвинутый Мастер Проектирования Инноваций» (Advanced Master in Innovative Design) для специалистов и руководителей проектных отделов и научно-исследовательских центров с 2004 по 2009 г. был Мастер ТРИЗ из Минска Н.Н. Хоменко. Программа была аккредитована международной ассоциацией вузов Conference Des Grand Ecoles. Это был первый опыт в мире в области образования, который позволил обеспечить образовательный и научный уровень Магистра Проектирования Инноваций.

Мастер ТРИЗ Шпаковский Н.А., который развивал и продолжал создание современных алгоритмов и программных продуктов, основанных на технологиях ОТСМ-ТРИЗ, вместе с Хоменко Н.Н. стал одним из первых наших соотечественников, которых пригласили корейские компании Samsung и LG ещё в 1997 году. Хоменко Н.Н. стал первым русскоязычным специалистом, который прочёл трёхмесячный курс основ ОТСМ-ТРИЗ технологий для корейских инженеров. Совместно со Шпаковским Н.А. Хоменко Н.Н. заложил основы подготовки инженерного состава Samsung и LG, которые позволили этим известным во всём мире компаниями сделать рывок в создании своих инновационных продуктов и технологий. В результате, после окончания работы этих экспертов в области ОТСМ-ТРИЗ технологий, только в компании Samsung количество ежегодно полученных патентов возросло в 14 раз!

Автор этой статьи является учеником Хоменко Н.Н. и Шпаковского Н.А. Для обобщения и распространения накопленного в мире опыта применения на практике творческого наследия Альтшуллера Г.С. и его учеников автор этой статьи совместно со Шпаковским Н.А. подготовил и издал в 2019 году учебное пособие «Идеи, изобретения, инновации в сфере автоматизации технологий и технических систем» [3].

Шпаковский Н.А. автор многочисленных монографий, учебников и учебных пособий, в которых подробно и доходчиво отражен его личный опыт решения сотен проблем для различных промышленных компаний мира. Он создал компанию [4,5] Target Invention (г. Минск, Беларусь). Под научным руководством Шпаковского Н.А. был создан отечественный русскоязычный программный продукт Solving Mill 2.0. Теоретической основой софта является ОТСМ-ТРИЗ. Методологической основой этого софта стал алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС), автором которого тоже явился Шпаковский Н.А.

Целью настоящего исследования является выявление, анализ и обоснование целесообразности применения системного подхода к формированию нетривиального инженерного мышления не только у студентов и специалистов, но и у детей.

В мире бизнеса, который продвигает инновации, все устаревает очень быстро, особенно знания. Поэтому, как считают многие авторитетные учёные и известные инноваторы, многое, чему нас учат в школах и университетах, со временем оказывается никому не нужным. По мнению многих экспертов, знание в области ОТСМ-ТРИЗ — это такое знание, которое не устаревает и помогает человеку творчески мыслить.

Многие компании в мире, бренды которых хорошо всем известны, активно берут на вооружение инструменты, повышающие креативность сотрудников и уровень инновационности бизнеса. О том, что может дать бизнесу ТРИЗ объясняет в своем интервью один из ведущих в мире специалистов по ТРИЗ Владимир Петров [7]. Его опыт в практической генерации инновационных решений для бизнеса неоспорим. Он Мастер ТРИЗ, занимается ТРИЗ с 1972 года. Совместно с основателем ТРИЗ Генрихом Альтшуллером проводил учебные семинары в качестве второго преподавателя. Участвовал в организации школ ТРИЗ в СССР, Израиле, Болгарии, Чехословакии, Вьетнаме. Прочитал более 50000 часов лекций по ТРИЗ для взрослой и детской аудиторий. Воспитал более 6000 учеников, включая таких известных специалистов по ТРИЗ как, Борис Злотин, Семен Литвин, Игорь Викентьев, Павел Ливотов и др.

Если говорить о распространении этого опыта в Западной Европе, то в 1997 году ученик Петрова В.М. – Павел Ливотов начал систематическое обучение ТРИЗ и проведение проектов в Германии, а затем и в других немецкоговорящих странах.

В Нидерландах ученик Петрова В.М. Валерий Сушков активно взялся за эту деятельность [8]. В.М. Петров полагает, что творческое мышление – «медленное» мышление. В бизнесе далеко не всегда есть время на поиск самого креативного решения. Известно что, для 90–95% управленческих задач достаточно обычных шаблонных ходов. Этому учат на семинарах и тренингах в различных бизнес-школах. Суть профессионализма в этом аспекте – умение быстро выбирать из багажа знаний подходящий шаблон. Оставшиеся проблемы (5–10%) – новые нетривиальные задачи. Пытаясь придумать что-то новое, менеджер всегда наталкивается на противоречие: при улучшении одних параметров системы неизбежно ухудшаются другие. Часто на практике желание сократить сроки разработки приводит к ухудшению качества такого проекта. Как сократить срок разработки, не ухудшив качество продукта? ТРИЗ как раз и позволяет решать подобные проблемы намного эффективнее и быстрее, чем это делается традиционными методами.

ТРИЗ уже активно применяется десятками глобальных компаний. Среди них такие, как Airbus, Ford Motor, LG, Intel, NASA, Shell. Например, в корпорации Samsung есть позиция «Инженер ТРИЗ», а официальная стратегия компании – обучить ТРИЗ каждого инженера и бизнес-лидера компании. По мнению Валерия Сушкова [8], можно выделить 16 навыков, которые отличают мышление сильного инноватора от «стандартного», не инновационного образа и стиля мышления. Большинство из них пересекаются с основными концепциями ТРИЗ. Это теория и практика есть обобщение опыта сильных инноваторов. К множеству подобных

навыков относят: системное, «многоэкранное» мышление вместо узкофокусированного (предметно-ориентированного) мышления; прорывное мышление против компромиссного мышления; абстрактное мышление при поиске решений вместо специализированного мышления; радикальное обострение требований при постановке задачи вместо незначительных модификаций; нелинейное мышление против линейного; разнообразие мышления вместо узкоспециализированного мышления; ресурсное мышление против затратного мышления; функционально-ориентированное мышление против объектно-ориентированного мышления; эволюционное мышление вместо случайного мышления; долгосрочное мышление вместо краткосрочного мышления; аналитическое мышление вместо прыжкового мышления; структурированное мышление вместо хаотического мышления; творческое воображение против приземленного мышления; умение увидеть проблему и корректно её сформулировать; конкретная цель вместо обобщенной цели; потоковое мышление вместо одноразового мышления.

В своих публикациях В. Сушков [8] показывает, что научиться мыслить инновационно и находить сильные решения важно не тогда, когда это получается, а когда это нужно.

А если на пути инноватора встречаются противоречия – мы можем научиться их устранять. Как это делает компания Samsung Electronics, которая, активно используя ТРИЗ в качестве одного из основных ингредиентов своей инновационной стратегии, за 10 лет увеличила свой оборот в 5 раз и сегодня занимает второе место в мире по количеству патентов [8].

В настоящее время все чаще обсуждают вполне реальную тему: новая профессия - серийный инноватор. На каком основании возникает такая уверенность у экспертов?

Для последних 200 лет индустриальной эпохи была справедлива следующая кривая инвестиций (см. рис. 1.1.) [9,10]:

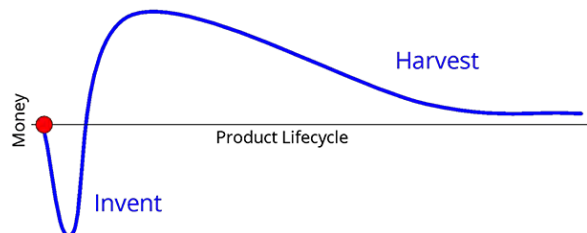


Рисунок. 1.1. Кривая инвестиций в XIX-XX веках.

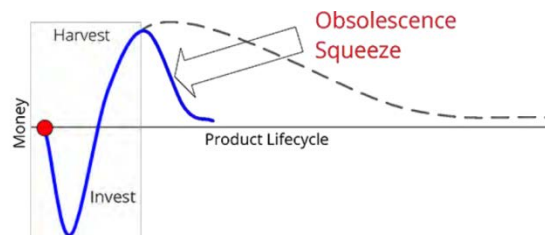


Рисунок. 1.2. Ускорение экономического устаревания в XXI веке.

Капиталовложения делались с целью получения нового источника дохода, когда владелец мог на протяжении долгих лет получать прибыль с активов. Из-за того, что такой большой период приходился на этап сбора «урожая», успех был напрямую связан с операционной эффективностью. Прибыль являлась результатом увеличения производительности при сохранении достойного уровня качества. Эта модель применима и к нашей нынешней экономике. Показанной выше кривой следует весь современный бизнес, и даже личные жизни людей. Мы инвестируем в образование, чтобы расширить собственные возможности и всю жизнь пожинать плоды наших знаний.

Идеи в мире также множатся с экспоненциальной скоростью. Количество патентов, количество изученных геномов и количество исписанных страниц (возможно, это и является мерой количества идей в мире) – все это растет по экспоненте. Сегодня мы узнаем новое в 1000 раз быстрее, чем 20 лет тому назад. Совершенствование и развитие инструментов способствует

снижению стоимости изобретения. Сегодня ребенок может сделать то, на что когда-то требовалась целая исследовательская лаборатория.

Когда стало проще инвестировать в инновационные идеи, рухнул один из самых крупных барьеров, препятствующий развитию рынка изобретений. Из-за уменьшения стоимости провала появились возможности продвигать более рискованные проекты. Нельзя будет сделать все так, как было, происходящие изменения нельзя отменить. Не будет никакой «отключающей» технологии, которая внезапно вернет высокую стоимость инноваций или спрячет от мира армию образованных умов. Растущая сила инновационной экосистемы все быстрее приближает крах современной экономики. Доунс и Ньонс выяснили, что «раньше подрывным инновациям требовалось больше десятилетия, чтобы хоть как-то повлиять на существующие индустрии. Теперь это время уменьшилось вдвое и продолжает сокращаться» [Л. Доунс и П. Ньонс, Big Bang Disruption, 2014, стр. 21]. Результатом является ускорение экономического устаревания (см. рис. 1.2).

Время на получение прибыли от инвестиций в изобретение и время на доведение операционной деятельности «до ума сокращается. Чем быстрее на рынке появляются все новые и новые конкуренты, тем быстрее сокращается жизненный цикл любой идеи. Инновация по-прежнему будет обладать рыночным потенциалом, но то время, которое имеет организация или предприниматель на то, чтобы собрать потенциальную прибыль, сильно снижается. Этот факт подмывает складывавшуюся за два века модель индустриальной экономики. Совершенствование влияет на доходность – увеличение ценности инновации ведет к более высокому заработку или более быстрой адаптации продукта.

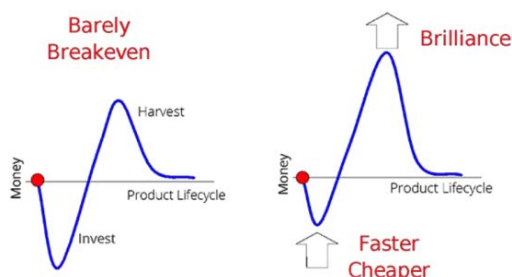


Рисунок. 2.1. В XXI веке минимизация участка кривой в нижней части графика

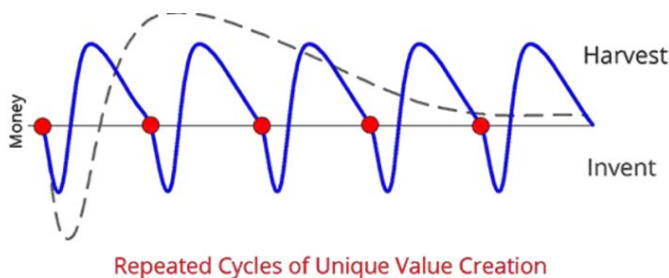


Рисунок. 2.2. Новая бизнес-кривая

В любом случае, пик кривой становится выше. Выводы из этих посылок: изобретение должно создаваться быстро и иметь невысокую цену – участок кривой, расположенный в нижней части графика, должен быть как можно меньше. Уменьшая стоимость разработки и, наоборот, повышая её скорость, появляется возможность сопоставить стоимость изобретения с коротким периодом получения прибыли. Уменьшая стоимость разработки и, наоборот, повышая её скорость, можно компенсировать стоимость изобретения в течение короткого периода получения прибыли. Появляется основание для новой экономической модели. Вместо того, чтобы коллекционировать идеи и каждый раз оптимизировать операционные показатели, возникает нужда постоянно генерировать новые идеи. Новая бизнес-кривая будет выглядеть примерно так как на рис. 2.2 [9,10].

Такая ситуация требует совершенно иного подхода к бизнесу. Инновация станет основным видом деятельности: она больше не будет связана с единичным улучшением продукта или побочной работой по расширению его функционала. Чтобы процветать, нам придется: постоянно создавать уникальные и оригинальные проекты, интересные рынку – быстро и по умеренной цене. Наше фундаментальное понимание инновационной работы и

теории инноваций все еще неполное. Актуальным становится процесс постоянно изыскивать недостающие здравые идеи. В мире очень мало системных последовательных методик обучения инновационному мышлению специалистов компаний.

Становится очевидным, что нужна системная работа по развитию навыков инновационного мышления у детей, подростков, студентов из которых и вырастут новые таланты для зарождающейся новой экономики инноваций. Один из упомянутых ресурсов для решения многих указанных выше задач – ТРИЗ. Со временем ТРИЗ вырастала из коротких штанишек технологии решения технических задач в нечто большее — Общую Теорию Сильного Мышления – ОТСМ [6,11].

Если объяснить коротко то, что следует понимать под ОТСМ? Часто эксперты утверждают, что невозможно создать универсальный инструмент для решения проблем. По правилам ТРИЗ это означает, что где-то хорошо спрятано противоречие. Когда его удалось выявить в чистом виде, опять же по правилам ТРИЗ, то оно выглядело примерно так: чтобы быть универсальными, правила алгоритма решения задач должны быть максимально общими, не привязанными к конкретной предметной области. Но общие правила дают общие решения, бесполезные в реальной практике. Это значит, что правила должны быть очень конкретными, привязанными к конкретной проблемной ситуации. Но тогда они потеряют свою универсальность.

ОТСМ развивается, преодолевая это противоречие. Решение этого противоречия получено с помощью классической ТРИЗ: надо, чтобы правила сами по себе были максимально общими, и, чтобы, применяя их системно, можно было решать конкретные проблемные ситуации. Еще одна отличительная особенность ОТСМ от ТРИЗ в том, что она работает с сетями проблем и развивается, предлагая конкретный инструментарий. Сегодня ОТСМ более формализована, чем классическая ТРИЗ. ОТСМ предлагает существенно пересмотреть парадигму решения проблем: начать переход от решения отдельных проблем к управлению потоком проблем, в котором приходится жить человеку или его фирме. ОТСМ-подход во многом облегчает применение классической ТРИЗ за пределами техники. Этот подход использует язык представления знаний, облегчающий совместную работу специалистов разных профессий, потому что он предлагает однородные модели для представления и обработки самых различных знаний. Этим и вызывается интерес в мире к таким разработкам [6,11]. И классическая ТРИЗ, и ОТСМ очень просты по логике. Но логика эта идет вразрез с господствующими сегодня в обществе стереотипами как относительно творчества и решения нетиповых проблем, так и относительно того, чему и как надо учить. И на смену стереотипов, мешающих освоить ТРИЗ, на те, которые помогают, уходит большая часть времени взрослого человека во время обучения. Дети же учатся сразу наиболее эффективным приемам мышления, наработанным в ТРИЗ и ОТСМ. У них формируются умения, которые современная система образования почти не развивает и даже порой не подозревает о них. Все взрослые являются пленниками устаревшей системы образования которая, по сути, является системой подготовки кадров для всех организаций. Это одно из проявлений того, как быстро меняется мир и как медленно адаптируется к нему общество.

Опыт и особенности работы по формированию нетривиального инженерного мышления детей разного возраста.

Будущее России зависит во многом от того, как мы сегодня воспитываем, чему и как обучаем детей. Уровень жизни нашей страны, прогресс в развитии оборонно-промышленного сектора, отраслей промышленности, аграрного сектора в недалеком будущем зависит от эффективности и темпов пополнения кадров, способных динамично создавать инновационные технологии.

И молодое пополнение инженерных кадров, учёных, квалифицированных рабочих, способных мыслить нетривиально при решении сложных проблем следует готовить, основываясь на фактах, что лучшие в мире серийные инноваторы родились и начинали созидать в СССР и России. Что и ТРИЗ и ОТСМ сформировали и распространили по всему миру наши соотечественники.

Не удивительно, что Федеральным государственным образовательным стандартом дошкольного образования (ДО) определены целевые ориентиры обучающихся на завершении этого этапа образования. Согласно Федеральной образовательной программе ДО, необходимо формирование не только предпосылок к учебной деятельности, включающих в себя любознательность, устойчивый познавательный интерес, высокий уровень воображения, наличие коммуникативных навыков и других качеств личности интегративного характера, но и вооружение обучающихся основам изобретательства, конструктивной работы.

При этом формулируется невиданная ранее задача для дошкольников. Планируется заложить фундамент, способствующий формированию основ инженерного мышления.

В современном образовании идёт активный поиск инновационных технологий, позволяющих эффективно решать поставленные задачи при максимальном использовании ресурсов самих детей в тоже время с минимальными временными и эмоциональными затратами педагога. Методы становления основ инженерного мышления дошкольников являются актуальными и перспективными в данном направлении [1].

Под научным руководством Мастера ТРИЗ, к.п.н. Сидорчук Т.А. в РФ разработана и внедряется технология формирования основ инженерного мышления у детей 3-7 лет. Технология эта создана на основе адаптированных методов теории решения изобретательских задач (ТРИЗ – автор Г.С. Альтшуллер, 1946 г.), общей теории сильного мышления (ОТСМ – автор Н.Н. Хоменко, 1994 г.) и комплекса методов развития творческого воображения (методы РТВ – мировой фонд). Коллективом авторов разработан и апробирован способ перехода методов активизации мышления и воображения в содержание дошкольного образования. Дети присваивают способы комбинаторики, преобразования признаков объектов, систематизации, классификации, у них формируются определённые познавательные способности, проявляются возможности научить кого-то работать на их основе, что позволяет формировать основы инженерного мышления. Фактически технологические цепочки трансформируются из методов в содержание работы с детьми. Алгоритмы при систематическом использовании усваиваются достаточно быстро и позволяют ребёнку организовать собственную проектную работу созидательного плана [1].

Подрастающий человек должен обладать такими способностями, которые позволят ему в будущем не только успешно социализироваться, но и быть готовым к активной, значимой для общества, творческой деятельности продуктивного характера.

Такая деятельность характеризуется понятием «инженерия». Как подчёркивает Сидорчук Т.А., мы понимаем инженерное мышление как процесс мыслительной деятельности, включающий в себя оперирование моделями поиска и обработки информации, прогноза развития рукотворных систем, работу с открытыми задачами (формулировка, построение решения и реализация). Творческая работа по конструированию будущего мира характеризует деятельность инженера, требует особого склада мышления [1].

Поэтому подготовку подрастающего человека к такой деятельности необходимо осуществлять с дошкольного возраста и продолжать в начальной школе, т.к. основы мышления человека закладываются в период 5-10 лет.

Но мы не можем говорить о полноценном инженерном мышлении в силу того, что это понятие присуще профессиональной деятельности взрослого человека. Тем не менее, общее понимание инженерного мышления в том, что это высший процесс не только отражения

функциональной принадлежности объектов, взаимосвязей и взаимозависимостей, но целенаправленная спланированная деятельность, направленная на достижение определённого социально значимого, прогнозируемого результата [1].

Сидорчук Т.А. творчески подходит к формированию программ технология формирования основ инженерного мышления у детей. Она провела и продолжает проводить десятки семинаров для педагогов дошкольного образования как в Ульяновске, так и во многих городах РФ и за рубежом. Совместно с Хоменко Н.Н. она подготовила и опубликовала несколько монографий на эту тему. Причём и книги изданы не только в России, но и за рубежом Книги переведены на английский, корейский и японский языки. Это свидетельствует о значительном интересе к обсуждаемой в статье теме развития нетривиального инженерного мышления у дошкольников и школьников.

Реализуя свои авторские программы и технологии формирования основ инженерного мышления у детей, Сидорчук Т.А. с коллегами постоянно находит новые решения возникающих при этом проблем. Проводится образовательная работа по формированию у детей мыслительных операций моделирования, конструирования и создание условий усвоения ребёнком алгоритмов системного мышления, функционального анализа, решения изобретательских задач, создания фантастических объектов и организации собственной проектной деятельности [1,12,13,14,15].

Выводы:

1. Актуальность проблем создания системы подготовки отечественных инженерных кадров к творческой созидательной деятельности для обеспечения процессов импортозамещения и создания условий непрерывности создания инновационных продуктов и технологий не вызывает сомнений.

2. Реализация таких процессов в РФ может ускориться, если активно внедрять в учебный процесс опыт и творческое наследие отечественных инноваторов и авторов ОТСМ-ТРИЗ технологий.

3. Следует учесть при этом опыт и позитивные результаты творческой деятельности задач формирования нетривиального инженерного мышления не только студентов и специалистов отечественных предприятий, но и детей как школьного, так и дошкольного возраста.

4. Это позволит создать многоступенчатую системную технологию обучения нетривиальному инженерному мышлению специалистов, способных к творческой и эффективной созидательной деятельности.

Список литературы

1. Сидорчук Т.А. Формирование основ инженерного мышления у дошкольников: методическое пособие. – М.: КТК «Галактика», 2025. – 224 с.: ил.

2. Сидорчук Т.А., Хоменко Н.Н., Карлов А.Г. О проблемах и новых подходах к процессам развития креативного мышления начинающих изобретателей на базе ТРИЗ-ОТСМ-технологий в рамках проекта «Джонатан Ливингстон». Сборник научных статей "Причинные аспекты развития живых систем - IX". Под ред. В.П. Гоча. - Севастополь: Издатель Карпин, 2006, с. 302-309.

3. Альтшуллер Г.С. Поиск новых идей: от озарения к технологии: (Теория и практика решения изобретательских задач). /Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И. Филатов. - Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1989. – 382 с.

4. Карлов А.Г., Шпаковский Н.А. Идеи, изобретения, инновации в сфере автоматизации технологий и технических систем: учебное пособие (учебное пособие) - М.: Центр каталог, 2019. – 536 с. – (Вузовский учебник).
5. Шпаковский Н.А. ОТСМ-ТРИЗ. Подходы и практика применения. — М.: Инфра-М, 2018 г. 348 с.
6. N. Khomenko. «General Theory on Powerful Thinking (OTSМ): Digest of Evolution, Theoretical Background, Tools for Practice and Some Domain of Application». Tokyo, 2010. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: // <http://jlpj.org>
7. Петров В.М. Фундаментальные основы Теории решения изобретательских задач. Учебное пособие. ТельАвив, 2003 – 583 с.
8. Валерий Souchkov, Карл Koltze. Systematische Innovation: TRIZ-Anwendung in der Produkt- und Prozessentwicklung Taschenbuch – 4. November 2010 (В. Сушков, Карл Koltze. Систематические инновации: применение ТРИЗ в развитие продукта и процесса).
9. WEB ресурс: <http://www.xtriz.com/>
10. WEB ресурс: <http://geektimes.ru/company/friifond/blog/259020/>
11. Про ТРИЗ без коротких штанишек. Журнал «Секреты управления персоналом», №2, 2005, Минск. – С.127–134.
12. Гуткович И.Я., Сидорчук Т.А. Формирование системного мышления дошкольников. – АО «Первая Образцовая типография», филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ», 2015.– 80 с.
13. Семенова Н.В., Сидорчук Т.А. Обучение дошкольников способам работы с проблемами. Методическое пособие для педагогов. – АО «Первая Образцовая типография», филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ», 2021. – 160 с.
14. Хоменко Н.Н., Сидорчук Т.А. Проблемные ситуации и творческие задания как средство формирования исследовательских навыков обучающихся// Сборник методических материалов для педагогов дошкольных учреждений. – Ульяновск, ИПК ПРО, 2008: 66 с.
15. Sidorchuk T. Khomenko N. Thoughtivity for Kids. – USA, GOAL/QPC. 2006. – 264 с.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСТРУЗИВНЫМ ПОТОКОМ

*Вожжов А. А.¹,
Дробитько А. И.¹,
Казак А.С.¹*

¹*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ известных схем абразивно-экструзионной обработки и кинематика взаимодействия для данного типа обработки. Представлена расчетная схема истечения абразивного состава являющегося бингамовской жидкостью для рассматриваемой схемы обработки и ряд расчетных зависимостей между градиентом скорости и касательным напряжением, что позволяет исследовать зависимость удельного съема от размера зерна абразива и создаваемого давления потока. Представлены различные схемы реализации

рассматриваемого метода обработки такие как ультразвуковая, гравитационная и электромагнитная, которые перспективны и являются объектом дальнейших исследований.

Ключевые слова: абразивно-экструзионная обработка, финишная обработка, поток, съем, режимы резания.

STUDY OF FACTORS INFLUENCING THE PRODUCTIVITY OF FINISHING ABRASIVE PROCESSING BY EXTRUSION FLOW

Vozhzhov A. A.¹,

Drobitko A. I.¹,

Kazak A.S.¹

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation*

ABSTRACT

An analysis of known abrasive-extrusion machining schemes and the interaction kinematics for this type of machining is conducted. A computational model for the flow of an abrasive composition, representing a Bingham fluid, is presented for this machining scheme, along with a number of calculated relationships between the velocity gradient and shear stress, allowing one to study the dependence of specific removal on abrasive grain size and the generated flow pressure. Various implementation schemes for this machining method, such as ultrasonic, gravity, and electromagnetic, are presented; these are promising and are the subject of further research.

Key words: abrasive extrusion machining, finishing, flow, removal, cutting modes.

Введение. Повышение надежности деталей является комплексной проблемой. Которая осложняется тем, что работоспособность деталей и узлов машин определяется рядом критериев, в зависимости от эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов. Особенную сложность вызывает чистовая обработка мелкогабаритных деталей, внутренних труднодоступных полостей, удаление заусенцев, притупление острых кромок и глубоких отверстий малого диаметра. В настоящее время остро стоит задача увеличения срока службы деталей, обеспечения высокого уровня надежности, взаимозаменяемости, возможности автоматизации процесса сборки. Чистовая обработка и доводка подобных деталей в настоящее время, в большинстве случаев выполняется вручную. Одним из возможных технологических процессов, позволяющих эффективно комплексно решать эти задачи, является абразивно-экструзионная обработка (АЭО).

Анализ технологических возможностей известных механических методов показал, что некоторые из них дают возможность удаления крупных заусенцев, но не позволяют обработать сложные, в том числе, фасонные поверхности и внутренние полости [1,3-5].

Методы химической и электрохимической обработки характеризуются высокой универсальностью, но принцип удаления металла основан не на согласованных формообразующих движениях, а на определенных физико-химических явлениях, что не позволяет прогнозировать размерную точность. Для реализации данного метода требуется довольно сложное, дорогое в эксплуатации оборудование.

Абразивная обработка с использованием свободного абразива, в котором отсутствует схема передачи сил микрорезания, позволяет сочетать удаление заусенцев и чистовую обработку поверхности. Однако подобные абразивные методы, в большинстве случаев позволяют обрабатывать только наружные поверхности.

Наряду с необходимостью высокоточной обработки сложных профилей зубчатых колес, существует группа деталей широкой номенклатуры, таких как детали гидро и пневмо оборудования, детали штампов и матриц, детали форсунок и фильер и т.п., где необходимо сочетать высокое качество поверхности с отсутствием заусенцев и острых кромок, что создает благоприятные условия эксплуатации, повышает долговечность оборудования.

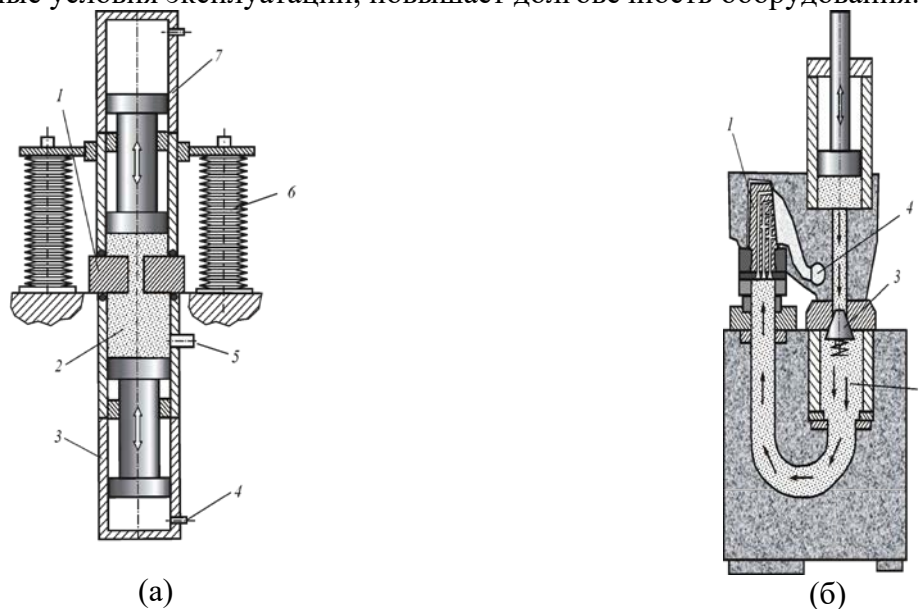


Рисунок 1. (а) Схема абразивно-экструзионной обработки с реверсивным (двухсторонним) потоком абразивной среды. (б) Схема абразивно-экструзионной обработки с однонаправленным потоком абразивной среды [1]

В мировой практике известны устройства абразивно-экструзионной обработки, данные станки успешно применяются для обработки сложных отверстий и полостей (скрежывающихся, ступенчатых, глубоких отверстий малого диаметра), в большинстве случаев рассматриваются схемы одностороннего и двухстороннего течения рабочей среды.

Схема работы устройства с двухсторонним движением рабочей среды представлена на рисунке 1,а, где: 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – вязко-эластичная абразивная среда; 3 – нижний цилиндр; 4 – масло от гидросистемы; 5 – подача абразивной среды; 6 – устройство подъема верхнего цилиндра; 7 – верхний цилиндр.

Обработка происходит за счет реверсируемого потока среды. Два вертикально расположенных цилиндра обеспечивают перемещение абразивной смеси вверх и вниз через полость детали, причем наибольшему абразивному воздействию подвергаются ее выступающие элементы. Углубления и глухие полости также могут быть обработаны при помощи специальной оснастки. Обычно обработка происходит за определенной заранее заданное количество циклов, от которого зависит качество финишной обработки.

Однонаправленное устройство АЭО представлена на рисунке 1,б, где: 1 – деталь; 2 – вязко-эластичная абразивная среда; 3 – обратный клапан; 4 – выход абразивной среды в бак. Устройство оснащено поршнем с гидравлическим приводом, совершающим возвратно-поступательное движение, и камерой для рабочей среды, модифицированной для приема и однонаправленной экструзии среды через полости обрабатываемой детали. Цилиндр направляет поток среды из камеры через внутренние полости заготовки, в то время как рабочая среда собирается в специальный сборщик по мере ее выдавливания из внутренних каналов.

Камера рабочей среды снабжена портом доступа для периодического приема среды из сборщика в камеру. После заполнения камеры рабочей среды операция возобновляется.

Схема с однонаправленным потоком абразивной среды является более гибкой. Упрощается действия по замене абразивной среды, снятию и установке детали. Что увеличивает производительность и снижает трудоемкость процесса.

Основными параметрами, влияющими на производительность процесса АЭО, являются: давление рабочей среды, величина (дисперсность) и процентное содержание (концентрация) абразивного зерна в рабочей среде, его физико-механические характеристики, а также количество циклов обработки, геометрические характеристики обрабатываемого канала, его радиус и длина, площадь и периметр поперечного сечения, и исходные физико-химические свойства поверхностного слоя.

Для эффективного использования данного метода стоит вопрос детального изучения кинематика процесса истечения абразивного состава через отверстие, а также механизм резания при этом.

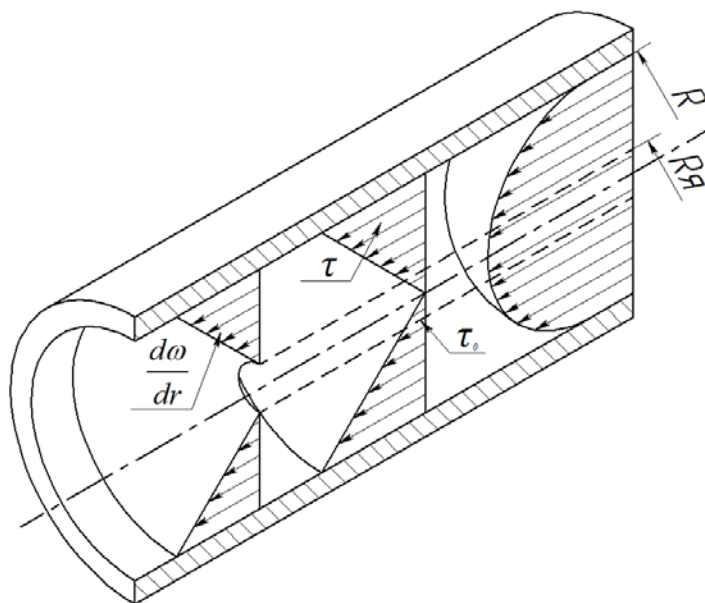


Рисунок 2. Схема движения абразивной среды в отверстии

Для математического описания подобных течений используется уравнение Шведова-Бингама, оно применяется при описании течения бингамовских жидкостей в канале, где возможно образование одновременно двух областей: вязкого (сдвигового) течения и пластического течения [1].

В гидродинамике касательное напряжение (сила сопротивления, отнесённая к единице площади) прямо пропорционально градиенту скорости. Для бингамовских пластических жидкостей (вязкопластичных жидкостей) зависимость между касательным напряжением (напряжением сдвига) и градиентом скорости (скоростью сдвига) нелинейная.

Течение наблюдается только при приложении напряжения сдвига, превышающего предел текучести. При меньших касательных напряжениях жидкости не текут, а испытывают только упругие деформации, как твёрдые тела. Важную роль также играет профиль течения рассмотренный на рисунке 3, из-за сил трения скорость у стенок меньше чем в ядре потока, что негативно влияет на скорость обработки поверхностей.

Основным компонентом абразивного состава могут являться смеси абразивных зерен и связки. В качестве связки могут быть использованы силиконовые каучуки, относящиеся к

классу кремнеорганических полимеров, которые характеризуется стойкостью к тепловому воздействию и старению, что является причиной выбора данного материала для изготовления абразивных паст.

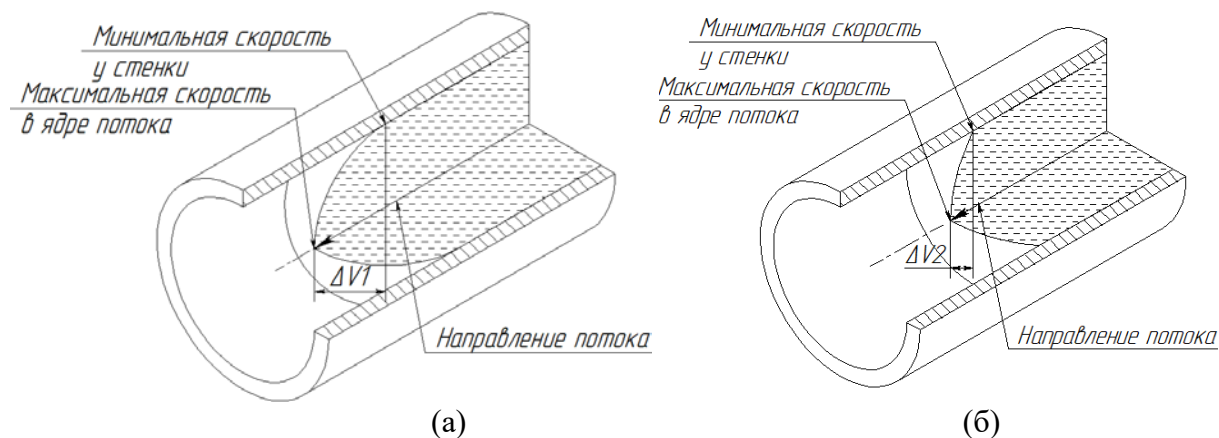


Рисунок 3. Профили течений (а) параболический профиль, (б) равномерный профиль

Силоксановые цепи являются высоковязкими жидкостями, по их свойствам могут быть отнесены к неньютоновским высоковязким жидкостям – бингамовским пластическим жидкостям, для которых зависимость между касательным напряжением τ и градиентом скорости $d\omega/dr$ можно выразить.

$$\tau = f\left(\frac{d\omega}{dr}\right) \quad (1)$$

Из условия течения бингамовских жидкостей можно представить: уравнение кривой течения:

$$\tau = \tau_0 + \mu_{nl} \cdot \frac{d\omega}{dr}. \quad (2)$$

где: τ_0 - начальное напряжение сдвига или предел текучести; μ_{nl} - постоянная; называемая пластической вязкостью.

Для потока, движущегося в цилиндрической трубе можно записать:

$$-\frac{d\omega}{dr} = f(\tau). \quad (3)$$

Максимальное напряжение будет у стенки трубы:

$$\tau_{cm} = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot l}. \quad (4)$$

где: ΔP - разность давления на концах перемещаемого объема; R - радиус трубы; l - длина выделенного цилиндра в потоке жидкости.

Уравнение распределения скорости у стенки трубы (Рис.2) для данного случая:

$$v = \frac{\Delta P(R^2 - r^2)}{4l\mu_{nl}} - \frac{\tau_0(R - r)}{\mu_{nl}}. \quad (5)$$

При этом максимальная скорость ядра потока может быть определена:

$$v_{я\max} = \frac{\Delta P(R^2 - r_{я}^2)}{4l\mu_{пл}}. \quad (6)$$

Замечено, что с возрастанием длины канала радиус ядра уменьшается. Вследствие чего так же ухудшается условия резания. Абразивные зерна, находящиеся вблизи входа в канал, прижаты к обрабатываемой поверхности с большим усилием, чем на выходе. При этом на обрабатываемой поверхности происходит упругое деформирование, пластическое оттеснение материала и микрорезание с отделением стружки. Резание металла происходит в форме микроскобления. При этом с использованием методики представленной в [2] позволяет исследовать зависимость удельного съема от зернистости абразива, давления и скорости экструзии можно рассчитать, рисунок.4.

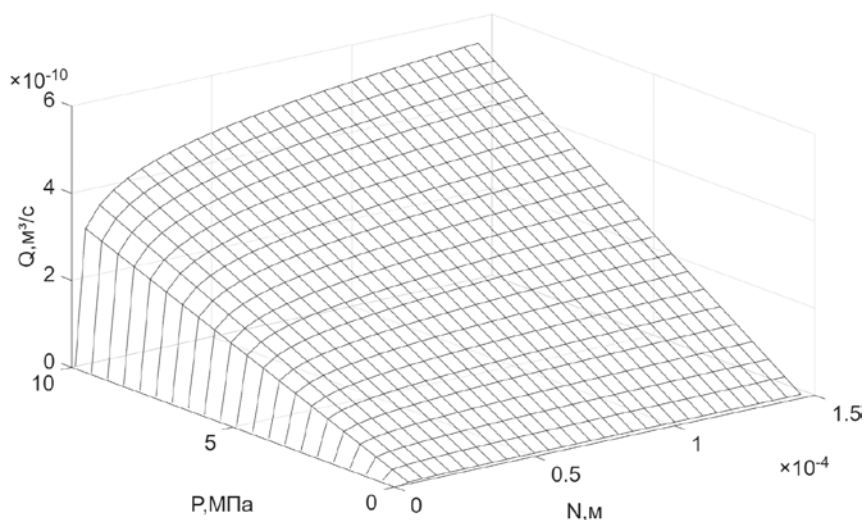


Рисунок 4. Зависимость удельного съема от зернистости абразива и давления экструзии

В дальнейших исследованиях предполагается рассмотреть схемы приложения направленного перемещения детали в процессе обработки детали, в том числе могут быть рассмотрены схемы ультразвукового (а), эл.магнитного (б), гравитационного (в), приложения сил перемещающих объект обработки в объеме абразива в связке, рисунок 5.

В результате контактирования обрабатываемой поверхности с абразивными частицами при их повороте под действием сил трения происходит частичное скалывание отдельных вершин зерен, зерна притупляются (обкалываются) и радиусы округления вершен увеличиваются.

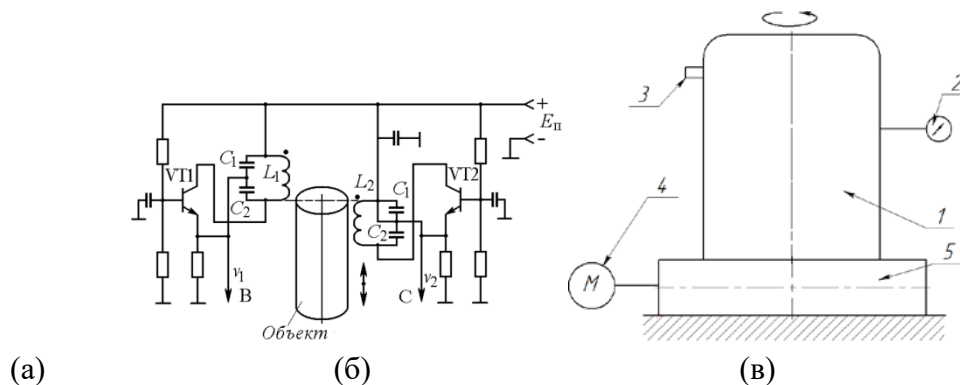


Рисунок 5. Возможные схемы приложения сил при обработке

Контактирование таких абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью принимает другой характер.

При этом могут быть выделены два этапа процесса резания:

- резание вершинами зерен;
- резание микровыступами вершин зерен.

Исследование качества поверхностного слоя, процесс формирования его физико – механических свойств поверхности обрабатываемой детали является темой дальнейших исследований.

Для успешного математического моделирования необходимо определить основные факторы, влияющие на процесс: давление в зоне обработки, зернистость абразива, концентрация абразива в пасте, скорость течения пасты, что предполагается определить экспериментально, так же в ходе эксперимента интересно уточнить влияние этих факторов на шероховатость, микротвердость, остаточные напряжения, удельный съем.

Вывод. Представлены преимущества абразивно-экструзионной обработки для рассматриваемых деталей. Экструзионное шлифование позволяет комплексно решать задачи чистовой обработки внутренних труднодоступных отверстий и полостей (ступенчатых, глубоких отверстий малого диаметра), и наружных фасонных поверхностей. Может быть применено для удаления заусенцев и скругления острых кромок, не оставляет вторичных заусенцев. Позволяет обрабатывать несколько отверстий и деталей одновременно. Позволяет резко повысить производительность, исключить ручной труд.

Список литературы

1. Гукасян А.В. Модель слоистого течения вязкопластичной Бингамовской жидкости в канале экструдера // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 58–63.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. - Севастополь: СевНТУ, 2012. - 304 с. - ISBN 978-617-612051-3.
3. Вожжов А.А. Процедуры формирования параметров качества при механической обработке деталей. / А.А. Вожжов, Д.В. Ярохина. Производственно-технический журнал «Главный механик». Москва: Панорама, 2020. – №9. – С. 17-23
4. Моделирование съема припуска в зоне контакта при внутреннем шлифовании хрупких неметаллических материалов / С.М. Братан, С.И. Рощупкин, А.О. Харченко, А.С. Часовитина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2021. - Т 23, № 2. - С. 31-39. - DOI: 10.17212/1994- 6309-2021-23.2-31-39.
5. Братан, С. М. Расчет высокопроизводительных циклов шлифования валков холодной прокатки на основе оптимизации цикла по радиальному усилию / Братан С.М., Головин В.И., Новоселов Ю.К., Дымченко И.А. Научные технологии в машиностроении. 2023. № 10 (148). С. 30-38.
6. Братан С.М. Моделирование влияния относительных вибраций инструмента и заготовки на съем материала при внутреннем шлифовании / Братан С.М., Часовитина А.С. Научные технологии в машиностроении. 2022. № 9 (135). С. 3-9.
7. Хекерт Е.В. Влияние внешних факторов на технологическую систему высокоточного станка в условиях плавающих мастерских / Хекерт Е.В., Владецкая Е.А., Братан С.М., Харченко А.О. Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 2-4 (52). С. 33-37.
8. Bratan S. Evaluation of effectiveness of cutting fluids for belt grinding of long-length products of titanium alloys / Bratan S., Stadnik T., Golovin V. В сборнике: Materials Today:

Proceedings. 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020. Elsevier Ltd, 2021. С. 2013-2018.

9. Bratan S. New calculation methodology of the operations number of cold rolling rolls fine grinding / Bratan S., Ságová Z., Sága M., Yakimovich B., Kuric I. Applied Sciences (Switzerland). 2023. Т. 13. № 6. С. 3484.

10. Братан С.М. Моделирование съема припуска в зоне контакта при внутреннем шлифовании хрупких неметаллических материалов / Братан С.М., Рощупкин С.И., Харченко А.О., Часовитина А.С. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2021. Т. 23. № 2. С. 31-39.

11. Братан С.М. Вероятностная модель удаления поверхностного слоя при шлифовании хрупких неметаллических материалов / Братан С.М., Рощупкин С.И., Харченко А.О., Часовитина А.С. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2021. Т. 23. № 2. С. 6-16.

УДК 621.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ СТОЛА РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО СТАНКА С КОМБИНИРОВАННЫМ МПС

***С.М. Братан¹,
А.С. Часовитина¹,
А.О. Харченко¹***

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Российская Федерация.

АННОТАЦИЯ

Разработана функциональная схема системы стабилизации положения стола, функциональная схема системы управления электроприводом и структурная схема системы стабилизации на положения стола резьбонарезного станка с комбинированным МПС с возможностью одновременного изменения длины штанг и координат опорных шарниров.

Ключевые слова: механизмы параллельных структур, система управления, поворотный стол.

DESIGNING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR STABILIZING THE POSITION OF A THREADING MACHINE TABLE WITH A COMBINED MPS

***S.M. Bratan¹,
A.S. Chasovitina¹,
A.O. Kharchenko¹***

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

ABSTRACT

A functional diagram of the table position stabilization system, a functional diagram of the electric drive control system and a structural diagram of the table position stabilization system of a

threading machine with a combined MPS with the possibility of simultaneously changing the length of the rods and the coordinates of the support hinges have been developed.

Keywords: mechanisms of parallel structures, control system, turntable.

Введение. Идея конструирования оборудования, имеющего в своём составе МПС, предполагает исполнение кинематических цепей как пространственных стержневых ферм, имеющих малую массу подвижных элементов для работы оборудования в режиме сверхвысоких скоростей, а также, для ускорения исполнительного органа. Подобные концепции проектирования оборудования с изменением расположения исполнительного органа, позволяют значительно увеличить производительность оборудования и производства, а также уменьшить время выполнения заданных операций.

В группе технологического оборудования с МПС заложена возможность автоматического управления перемещением (ускоренное-замедленное), смены вспомогательных и установочных перемещений, а также рабочих подач исполнительного органа (ИО), при достижении инструментом установленной координатной опорной точки.

На основе структурно-компоновочного синтеза выявлен наиболее рациональный вариант резбонарезного станка с комбинированным МПС с возможностью одновременного изменения длины штанг и координат опорных шарниров – дельта (кватро) -глайд-под (комбинация дельта (кватро)-глайда и дельта-пода) (рисунок 1) [1-4].

При изменении длин кинематических звеньев – штанг 1 и координат опорных шарниров 2 инструмент – метчик 3, размещенный в шпинделе 4 резбонарезной головки 5, может занимать различные вертикальные и угловые положения, совмещаясь с осью обрабатываемого отверстия, в зависимости от конфигурации детали. Каждое кинематическое звено механизма, выполненное в виде штанги переменной длины 1, имеет также приводы поступательного действия 6 (гидро-, пневмопривод или шаговый электропривод) для перемещения опорных шарниров 2. Если обрабатываемое изделие имеют сложную несимметричную конфигурацию, то станок оснащается поворотным столом, для контроля угла поворота используется система автоматического управления (САУ).

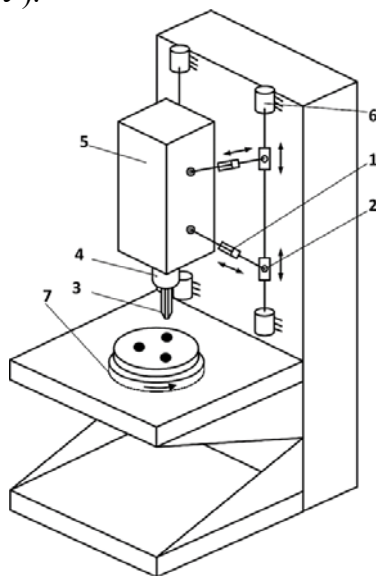


Рисунок 1. Компоновка резбонарезного станка с комбинированным МПС

Основная часть. Для повышения точности обработки выполняется проектирование системы автоматического управления стабилизации положения стола, функциональная схема которой изображена на рисунке 12, где приняты следующие обозначения:

- φ_0 – задающий угол (сигнал);
- ε – ошибка регулирования (сигнал рассогласования);
- u – сигнал управления;
- δ – угол отклонения стола;
- φ – угол рыскания.

На данном рисунке изображен основной контур системы управления, который состоит из:

- поворотного стола – объект управления;
- энкодера, в данном случае он эквивалентен датчику обратной связи и задающему устройству, которые создают ошибку управления ε ;
- регулятор – прибор, трансформирующий ошибку управления ε в управляющий сигнал u по заданному закону управления;
- электропривод, реализовывающий функции системы управления (функциональная схема представлена на рисунке 3), служит для поворота стола на угол δ .

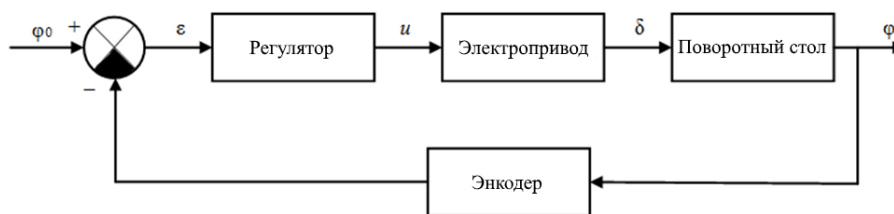


Рисунок 2. Функциональная схема системы стабилизации положения стола

Принцип действия системы стабилизации положения стола можно описать с помощью функциональной схемы, изображенной на рисунке 2.

На энкодере выставляется угол, соответствующий требуемому (ранее заданному), далее на выходе энкодера формируется напряжение, пропорциональное сигналу ошибки ($\varepsilon = \varphi_0 - \varphi$). Это напряжение подается на вход регулятора.

Регулятор – это устройство, реализующее закон управления, т.е. воспроизводящее заданную зависимость (функцию), которая трансформирует сигнал ошибки в сигнал управления. Этот сигнал является задающим для электропривода. Полученный сигнал управления u сравнивается с сигналом обратной связи, исходящего от датчика угла поворота стола. Таким образом формируется сигнал ошибки ε_2 и поступает на силовой регулятор, где выполняется усиление по мощности.

Далее в зависимости от угла поворота стола δ , стол разворачивается вокруг своей вертикальной оси, проходящей через центр масс. Текущий угол поворота φ измеряется энкодером и сравнивается с задающим φ_0 . Вышеописанный процесс $\varepsilon(t) \rightarrow 0$ будет продолжаться до тех пор, пока ошибка регулирования не будет равняться нулю ($\varepsilon = 0$).

В случае, если система в стационарном режиме, т.е. стол находится в требуемом стационарном положении ($\varphi = const = \varphi_0$) процесс будет протекать следующим образом. Пусть на стол действует возмущение (вибрации в цеху), которое отклонило продольную ось стола на угол $\Delta\varphi$ влево. $\Delta\varphi$ будет измерен энкодером, преобразовав в напряжение в величину φ и будет вычтен из задающего угла φ_0 . После чего рассчитывается ошибка регулирования ε и

в зависимости от знака этой разности, стол поворачивается в сторону для уменьшения отклонения.

На рисунке 3 представлена функциональная схема управления электроприводом, состоящая из следящего привода.

В следящий привод входит контур системы стабилизации скорости и углового контура (управление по углу поворота стола), где приняты следующие обозначения:

Р1 – Регулятор 1;

ПИ – Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор;

ТП – Тиристорный преобразователь;

ДПТ – Двигатель постоянного тока;

ТГ – Тахогенератор;

δ – угол отклонения руля;

u – управляемый сигнал, пропорциональный требуемому углу поворота стола;

$\omega_{зад}$ – задающий сигнал определяющий скорость исполнительного ДПТ;

ω – угловая скорость ДПТ.

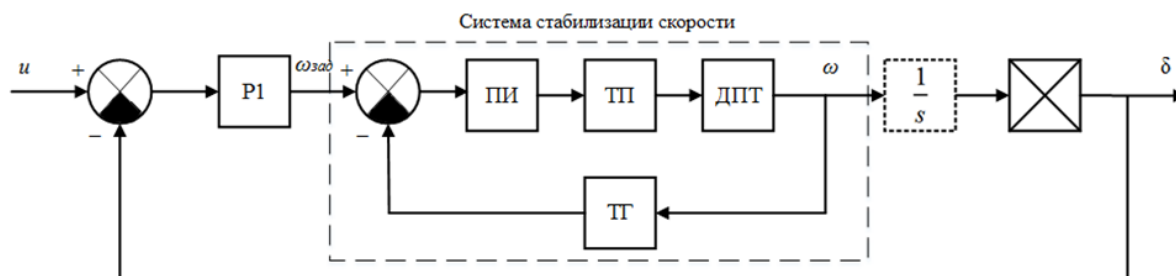


Рисунок 3. Функциональная схема системы управления электроприводом

Математическая модель углового движения стола в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, может быть представлена в виде линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\left. \begin{aligned} \dot{\phi} &= \omega_y, \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T_s} \cdot \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta, \end{aligned} \right\},$$

где:

ϕ – угол рыскания (угол отклонения продольной оси стола, совпадающей с осью OX , от оси $OX_{зад}$, определяющей заданное направление движения);

ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси;

δ – угол поворота относительно положения равновесия;

T_s – постоянная времени стола как объекта управления (ОУ);

K – постоянный коэффициент, имеющий размерность rad/c .

Применяя преобразование Лапласа к системе, описанной выше, при нулевых начальных условиях, можно найти передаточную функцию положения стола как объекта управления от угла поворота стола к углу рыскания, которую можно записать в виде:

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Привод приближенно моделируется как интегрирующее звено, охваченное единичной отрицательной обратной связью:

$$R_0(s) = \frac{1}{T_R s},$$

где следующие обозначения:

T_R — постоянная времени электропривода для предварительного моделирования.

Для измерения угла рыскания используется энкодер, математическая модель которого записывается в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией:

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1},$$

где следующие обозначения:

T_{oc} — постоянная времени энкодера.

Определив передаточные функции отдельных элементов, составим структурную схему системы стабилизации положения стола, изображенную на рисунке 4.

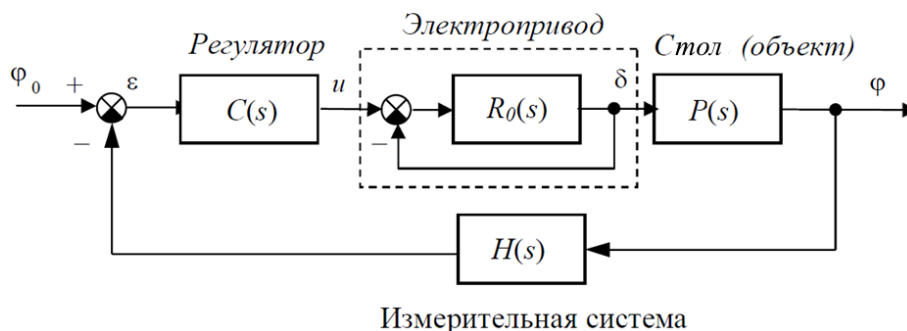


Рисунок 4. Структурная схема системы стабилизации на положения стола

Вывод. Для контроля угла поворота поворотного стола резбонарезного станка с комбинированным МПС с возможностью одновременного изменения длины штанг и координат опорных шарниров – дельта (кватро) -глайд-под (комбинация дельта (кватро)-глайда и дельта-пода) были разработаны: функциональная схема системы стабилизации положения стола, функциональная схема системы управления электроприводом и структурная схема системы стабилизации на положения стола для последующего расчета показателей качества спроектированной системы.

Список литературы

1. Харченко, А. О. Механизмы параллельных структур (МПС) в гибридных компоновках резбонарезного оборудования / А. О. Харченко, А. А. Харченко, А. С. Часовитина // Вестник современных технологий. – 2021. – № 2(22). – С. 33-38.
2. Часовитина, А. С. Гибридная компоновка резбонарезного станка для гибкого автоматизированного производства / А. С. Часовитина, А. О. Харченко // Современные

технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 19–22 мая 2020 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2020. – С. 40-44.

3. Харченко, А. О. Структура резьбообрабатывающего модуля с механизмами параллельной кинематики / А. О. Харченко, А. С. Часовитина // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2020. – № 4-2(342). – С. 95-102. – DOI 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-95-102.

4. Часовитина, А. С. Комбинированный механизм параллельной структуры (МПС) многооперационного станка / А. С. Часовитина, А. О. Харченко // *Современные технологии: проблемы и перспективы: Сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 20–23 мая 2019 года* / Главный редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2019. – С. 105-109.

5. Вожжов, А.А. Оценка величины деформации при действии радиальной составляющей силы резания на операции внутреннего шлифования / А.А. Вожжов, А.Г. Колесов, О.А. Бунин// *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*. – 2025.– № 2 (88). – С. 374-378.

УДК 621.9.025:778.3 + 621.9.048:004.932

**МОНИТОРИНГ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ ФИНИШНОЙ
ОБРАБОТКЕ МЕТОДАМИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КИНОСЪЁМКИ:
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Д.Е. Сидоров¹,
В.Н. Калицев¹*

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье представлен детальный анализ современных методов диагностики состояния режущих инструментов с особым акцентом на технологии высокоскоростной киносъёмки (HSI). В условиях ужесточающихся требований к точности обработки и необходимости повышения эффективности производственных процессов, вопрос своевременного мониторинга износа режущего инструмента приобретает особую актуальность. Проведённый анализ множества научных публикаций за последнее десятилетие позволил систематизировать существующие подходы к оценке износа, выявить ключевые преимущества оптических методов диагностики и сформулировать перспективные направления развития данной технологии. Особое внимание уделено практическим аспектам внедрения HSI в реальные производственные условия, включая экономическое обоснование и анализ окупаемости.

Ключевые слова: высокоскоростная видеосъёмка, мониторинг состояния инструмента, финишная обработка, компьютерный анализ изображений, промышленная диагностика, прецизионное производство.

MONITORING THE WEAR OF CUTTING TOOLS DURING FINISHING PROCESSES USING HIGH-SPEED VIDEOGRAPHY: A COMPREHENSIVE ANALYSIS AND IMPLEMENTATION PROSPECTS IN INDUSTRY

D.E. Sidorov¹,

V.N. Kalitsev¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

ABSTRACT

This article presents a detailed analysis of modern methods for diagnosing the condition of cutting tools, with particular emphasis on high-speed imaging (HSI) technologies. In the context of increasingly stringent precision requirements and the need to enhance production process efficiency, the issue of timely cutting tool wear monitoring becomes especially relevant. The analysis of numerous scientific publications over the past decade has enabled the systematization of existing wear assessment approaches, identification of key advantages of optical diagnostic methods, and formulation of promising development directions for this technology. Special attention is given to practical aspects of HSI implementation in real production environments, including economic justification and return-on-investment analysis.

Keywords: high-speed videography, tool condition monitoring, finishing processes, computer image analysis, industrial diagnostics, precision manufacturing.

Введение. Актуальность проблемы. Современное машиностроение сталкивается с целым рядом вызовов, связанных с необходимостью обеспечения высочайшей точности обработки при одновременном повышении эффективности производственных процессов. В условиях глобализации рынка и ужесточения конкуренции, российские промышленные предприятия особенно остро ощущают необходимость внедрения передовых технологий контроля качества обработки. Финишная обработка деталей, где допуски могут достигать микронных величин, предъявляет особые требования к состоянию режущего инструмента.

Как показывают исследования, проведённые в НИИ "Инструмент" (Москва, 2023), до 27% случаев брака при финишной обработке связано именно с несвоевременным выявлением критического износа режущего инструмента. При этом экономические потери от каждого такого случая в аэрокосмической отрасли могут достигать 500-700 тысяч рублей, учитывая стоимость обрабатываемых материалов и временные затраты.

Современное состояние вопроса. Традиционные методы мониторинга состояния инструмента, такие как вибрационный анализ, измерение сил резания или акустическая эмиссия, хотя и доказали свою эффективность в определённых условиях, обладают рядом существенных ограничений применительно к задачам финишной обработки. Главным образом, эти ограничения связаны с:

1. Недостаточной чувствительностью к начальным стадиям износа
2. Опосредованным характером измеряемых параметров
3. Высокой зависимостью результатов от условий обработки
4. Сложностью интерпретации получаемых данных

В этом контексте методы оптической диагностики, и, в частности, высокоскоростная киносъёмка, предлагают принципиально новый подход к решению проблемы мониторинга состояния инструмента, обеспечивая:

- Прямую визуализацию режущей кромки
- Возможность количественной оценки износа
- Высокое временное разрешение
- Неинвазивность измерений

Цели и задачи исследования. Основной целью данного исследования является комплексный анализ возможностей технологии высокоскоростной киносъёмки для решения задач мониторинга износа режущих инструментов при финишной обработке. В рамках достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести систематический анализ существующих научных публикаций по теме исследования
2. Разработать классификацию методов HSI-диагностики
3. Оценить эффективность различных алгоритмов обработки изображений
4. Проанализировать экономические аспекты внедрения технологии
5. Сформулировать рекомендации по практическому применению

Теоретические основы метода высокоскоростной киносъёмки. Физические принципы метода. Высокоскоростная киносъёмка как метод исследования быстропротекающих процессов основана на фундаментальных принципах оптики и кинематики. Применительно к задачам диагностики износа режущих инструментов, ключевое значение имеют следующие физические аспекты:

1. Разрешающая способность системы - определяет минимальный размер деталей инструмента, которые могут быть достоверно идентифицированы на полученных изображениях. Согласно критерию Рэлея, разрешающая способность d может быть выражена как:

$$d = 1,22 * \lambda / (n * \sin\theta)$$

где λ - длина волны света, n - показатель преломления среды, θ - апертурный угол.

2. Глубина резкости - особенно важный параметр при съёмке трёхмерных объектов, каковым является режущий инструмент в процессе работы. Глубина резкости Δz может быть рассчитана как:

$$\Delta z = (n * \lambda) / (NA^2) + (e / (M * NA))$$

где NA - числовая апертура, M - увеличение системы, e - размер пикселя матрицы.

3. Динамический диапазон - определяет способность системы регистрировать как яркие, так и тёмные участки объекта одновременно.

Аппаратные компоненты системы HSI. Современная система высокоскоростной киносъёмки для промышленного применения включает несколько ключевых компонентов:

1. Высокоскоростная камера с параметрами:
 - о Частота кадров: 10 000-100 000 fps
 - о Разрешение: 1280×1024 пикселей и выше
 - о Чувствительность: не менее ISO 10000
 - о Глубина цвета: 12-16 бит
2. Система освещения:
 - о Импульсные светодиодные источники
 - о Лазерная подсветка для специальных применений
 - о Синхронизация с камерой

3. Оптические компоненты:

- o Макрообъективы с переменным увеличением
- o Телецентрические линзы для минимизации искажений
- o Светофильтры для работы в специфических условиях

4. Система обработки данных:

- o Высокопроизводительные вычислительные модули
- o Специализированное программное обеспечение
- o Системы хранения больших объёмов данных

Метрологические аспекты. Особое внимание при использовании HSI для диагностики износа должно уделяться вопросам метрологического обеспечения. Ключевые аспекты включают:

1. Калибровку системы с использованием эталонных мер
2. Учёт температурных деформаций компонентов
3. Компенсацию вибрационных воздействий
4. Обеспечение стабильности условий освещения
5. Верификацию алгоритмов обработки изображений

Анализ существующих исследований. Обзор методологических подходов.

Проведённый анализ научных публикаций позволил выделить три основных методологических подхода к применению HSI для диагностики износа:

1. Прямая оценка геометрических параметров режущей кромки:

- o Измерение ширины площадки износа (VB)
- o Оценка радиуса при вершине
- o Анализ микросхватов

2. Косвенные методы, основанные на:

- o Анализе формы и цвета стружки
- o Оценке динамики процесса резания
- o Термографических измерениях

3. Комбинированные подходы, сочетающие:

- o HSI с акустической эмиссией
- o HSI с вибродиагностикой
- o HSI с силовыми измерениями

Сравнительный анализ технологий. Для наглядного представления преимуществ и ограничений HSI по сравнению с традиционными методами мониторинга был проведён детальный сравнительный анализ (Таблица 1).

Кейсы промышленного внедрения. Анализ практического опыта внедрения HSI на промышленных предприятиях выявил несколько успешных кейсов:

1. Авиастроительный завод (г. Самара):

- o Снижение брака при обработке лопаток турбин на 22%
- o Экономический эффект - 3,2 млн руб./год

2. Автомобильный завод (г. Тольятти):

- o Увеличение стойкости инструмента на 18%
- o Сокращение времени переналадки на 30%

3. Завод точного машиностроения (г. Москва):

- o Повышение точности обработки на 15%
- o Снижение себестоимости операции на 12%

Таблица 1. Сравнительные характеристики методов диагностики износа

№ п.п.	Параметр	HSI	Вибрационный анализ	Акустическая эмиссия	Силовые измерения
1.	Чувствительность, мкм	1-5	20-30	15-25	30-50
2.	Временное разрешение	<0,1 мс	1-5 мс	0,1-1 мс	10-50 мс
3.	Прямая визуализация	Да	Нет	Нет	Нет
4.	Влияние на процесс	Отсутствует	Минимальное	Минимальное	Существенное
5.	Стоимость оборудования	Высокая	Средняя	Высокая	Низкая

Перспективы развития технологии. Технические аспекты. Основные направления совершенствования технологии HSI включают:

1. Разработку специализированных камер с:
 - о Увеличенным динамическим диапазоном
 - о Повышенной светочувствительностью
 - о Встроенными системами обработки изображений
2. Создание интеллектуальных систем освещения:
 - о Адаптивных к условиям обработки
 - о С автоматической регулировкой интенсивности
 - о Многоспектральных
3. Развитие методов обработки данных:
 - о Применение нейросетевых алгоритмов
 - о Использование методов глубинного обучения
 - о Разработка специализированных программных комплексов

Экономические аспекты. Анализ экономической эффективности внедрения HSI показывает:

1. Срок окупаемости оборудования:
 - о Для крупных предприятий - 1,5-2 года
 - о Для средних предприятий - 2,5-3 года
2. Основные статьи экономии:
 - о Снижение затрат на инструмент (15-25%)
 - о Уменьшение потерь от брака (20-40%)
 - о Сокращение времени переналадки (25-35%)

Организационные вопросы. Для успешного внедрения технологии необходимо:

1. Разработать отраслевые стандарты применения

2. Создать методики аттестации персонала
3. Организовать центры компетенций
4. Разработать программы поддержки внедрения

Вывод. Проведённое исследование демонстрирует, что технология высокоскоростной киносъёмки открывает новые перспективы для решения актуальных задач мониторинга износа режущих инструментов в процессах финишной обработки. Уникальное сочетание высокой чувствительности, возможности прямой визуализации и комплексного анализа процессов износа выгодно отличает данный метод от традиционных подходов к диагностике.

Современное развитие технологии требует комплексного совершенствования как аппаратных компонентов, так и алгоритмов обработки получаемых данных, параллельно с решением задачи снижения стоимости решений. Успешное внедрение HSI-методов в промышленную практику невозможно без создания соответствующей нормативной базы, подготовки квалифицированных специалистов и системной организационной поддержки на уровне предприятий.

Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке отечественных аналогов оборудования, создании специализированных программных комплексов для обработки данных и проведении масштабных промышленных испытаний в реальных производственных условиях. Особое значение приобретает междисциплинарный подход, объединяющий достижения в области оптических технологий, компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Реализация этих направлений позволит существенно повысить эффективность процессов финишной обработки и обеспечить новый уровень контроля качества в машиностроительном производстве.

Список литературы

1. Иванов А.А., Петров С.Н. (2022). "Высокоскоростная видеодиагностика износа инструмента" // Вестник машиностроения, №3, 45-52.
2. Сидоров В.М., и др. (2021). "Методы оптического контроля при точении жаропрочных сплавов" // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 87(5), 60-68.
3. Astakhov, V.P. (2018). "Energy-based wear models in machining" // International Journal of Mechanical Sciences, 140, 125-134.
4. Chen, L., et al. (2022). "U-Net segmentation of tool wear in high-speed milling" // IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(5), 3045-3054.
5. Denkena, B., et al. (2019). "HSI for wear detection in aerospace machining" // CIRP Annals, 68(1), 81-84.
6. Kumar, M., et al. (2021). "Machine vision for micro-scale tool wear measurement" // Precision Engineering, 68, 210-223.
7. Liu, Y., et al. (2023). "Real-time tool wear monitoring in turning using HSI and infrared thermography" // International Journal of Machine Tools and Manufacture, 185, 103-115.
8. Sato, R., et al. (2020). "Cost-benefit analysis of HSI in automotive production" // Journal of Manufacturing Systems, 56, 112-125.
9. Usui, E., et al. (2016). "Predictive modeling of tool wear via HSI" // Wear, 350-351, 23-31.
10. Wang, G., et al. (2021). "High-speed imaging-based tool wear monitoring using deep learning" // Journal of Manufacturing Processes, 64, 123-135.
11. Zhang, X., et al. (2020). "Optical flow-based vibration analysis for tool condition monitoring" // Mechanical Systems and Signal Processing, 142, 106-118.

12. Братан С.М. Повышение производительности циклов шлифования валков холодной прокатки путем оптимизации режимов графоаналитическим методом / Братан С.М., Новоселов Ю.К., Харченко А.О., Рошупкин С.И. Черные металлы. 2023. № 12.

13. Kharchenko A. Investigation of the operational and technological reliability of the small-size internal threading process / Kharchenko A., Vladetskaya E. В сборнике: Materials Research Proceedings. Сер. "Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment" 2022. С. 410-420.

14. Kharchenko A. Progressive threading of small holes based on mechanisms of parallel structures (MPS) / Kharchenko A. В сборнике: Materials Today: Proceedings. 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020. Elsevier Ltd, 2021. С. 2038-2042.

15. Владецкий О.В. Анализ виброустойчивости механообрабатывающего технологического оборудования плавучей мастерской в судостроении / Владецкий О.В., Хекерт Е.В., Владецкая Е.А., Харченко А.О. Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 2-4 (52). С. 15-22.

РАЗДЕЛ II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.763

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

*О.В. Акимова¹,
Т.П. Каминская¹,
В.В. Попов¹,
Е.С. Куликова²,
Л.В. Волкова³,
С.М. Нефедова³*

¹*Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва 119991*

²*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия, Москва 123182*

³*Московский политехнический университет, Россия, Москва 107023*

АННОТАЦИЯ

В работе исследовано влияние термического и лазерного воздействия на структуру и поверхность промышленных пленок ПЕТ. Показано, что указанная обработка образцов приводит к различиям в состоянии пленок ПЕТ. Так, термическая обработка, разбивает выступы, сформированные на поверхности пленок при их изготовлении, «сглаживает» поверхность, но при этом возникают на поверхности полосы сдвиговой деформации и существенно уменьшается прозрачность образца. Сопоставление рентгеновских данных и результатов исследования поверхности образца указывает на неравномерное латеральное возрастание степени кристалличности образца.

Ключевые слова: промышленные пленки ПЭТ; термическая обработка, прозрачность свойства поверхности.

STUDY OF THE STRUCTURE AND SURFACE OF INDUSTRIAL FILMS OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

**O.V. Akimova¹,
T.P. Kaminskaya¹,
V.V. Popov¹,
E.S. Kulikova²,
L.V. Volkova³,
S.M. Nefedova³**

¹*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow 119991*

²*National Research Center “Kurchatov Institute”, Russia, Moscow 123182*

³*Moscow Polytechnic University, Russia, Moscow 107023*

ABSTRACT

This paper examines the effects of thermal and laser treatment on the structure and surface of industrial PET films. It is shown that these treatments lead to differences in the state of the PET films. While thermal treatment breaks up the protrusions formed on the film surface during manufacturing, smoothing the surface, it also creates shear bands and significantly reduces the transparency of the sample. A comparison of X-ray data and surface examination results indicates an uneven lateral increase in the degree of crystallinity of the sample.

Keywords: Industrial PET films; heat treatment, transparency, surface properties.

Введение. В настоящее время полиэтилентерефталат (ПЭТ) широко востребован для выполнения ряда технических задач, а именно для фотоэлектрических солнечных панелей [1], вспомогательных средств при производстве упаковки, маркировки промышленного оборудования и ламинирования [2], упаковки для пищевой промышленности и медицины [3,4]. Столь широкая область востребованности обусловила необходимость модификации свойств ПЭТ-пленок с целью расширения их возможностей. Решение этой актуальной проблемы взаимосвязано с состоянием микроструктуры ПЭТ и возможностью влияния на нее. Сложная структурная организация полукристаллических полимеров, коими являются ПЭТ, является связующим звеном между длинноцепочечными молекулами и свойствами макроскопической системы. Один из способов влияния на это звено является управление степенью кристалличности ПЭТ: при охлаждении расплавленного полимера промежуточные участки длинных молекул стремятся образовать небольшие упорядоченные области, так называемые зародыши кристаллизации. Существует гомогенное и гетерогенное развитие зародышей кристаллизации. Второе энергетически более выгодно системе. Как известно, на скорость и тип кристаллизации влияют особенности молекул полимера и температура кристаллизации [5]. Высокий интерес к особенностям кристаллизации полимерных цепей в литературных источниках [5-7] отражает коммерческую значимость взаимосвязанности свойств полимерных материалов со степенью кристалличности.

В [8] были исследованы особенности изменения структуры ПЭТ при термообработке полимерных пленок в присутствии кислорода. Было установлено, что процесс термообработки приводит к незначительной потере массы полимера. Также было выявлено, что прогрев плёнки при температурах выше 200⁰С приводил к потере её эластичности, что во многом определяется процессами термоокислительной деструкции. С учетом полученных результатов [8], в настоящей работе была поставлена задача прецизионного определения параметров кристалличности промышленных пленок ПЭТ фирм folex IMAGING и LOMOND, а также влияние термического воздействия на эти параметры и поверхность образцов. Поставленная задача продиктована тем, что степень кристалличности аморфных полимеров и состояние поверхности во многом определяют их функциональные характеристики, улучшение которых является важной технологической проблемой.

Образцы и методы исследования.

Образцы представляли собой пленки ПЭТ толщиной 120 мкм. Термическая обработка пленок осуществлялась в термокамере при 180⁰С в течение 30 минут. Воздействие излучением лазера выполнено при длине волны 405 нм, плотность мощности излучения составила 0.8 Вт/см², время экспозиции в параллельном пучке 30 минут.

Методы рентгеновского рассеяния с использованием синхротронного излучения – мощный инструмент для многомасштабной характеристики структуры поликристаллических твердых тел [9]. В настоящей работе образцы в исходном состоянии, после термообработки и лазерного облучения исследованы на просвет методом рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения (угол дифракции 18°, расстояние образец-детектор 25 см).

Экспериментальные результаты (рис. 1) были получены в настоящей работе с использованием оборудования станции Белок/РСА Курчатовского синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» [9] в геометрии скользящего пучка на пропускание. Энергетический диапазон станции 5–20 кэВ. Длина волны в эксперименте составила 0.75 Å, расстояние образец-детектор – 250 мм, температура 300 К, угол наклона детектора к первичному пучку 18°.

Микроструктура поверхности образцов охарактеризована на модернизированном оптическом микроскопе МКД-Р фирмы ЛОМО с видеокамерой, соединенной с компьютером и с использованием сканирующего зондового микроскопа SMENA-A (Solver Platform, ЗАО "НТ-МДТ", Россия). При получении изображения поверхности на оптическом микроскопе оптический луч был направлен к поверхности образцов перпендикулярно. Снимки обрабатывались программой Tour View 3.7 For Digital Camera. Измерения методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) проведены в полуконтактном режиме при комнатной температуре с применением стандартных кантилеверов HA_NC ETALON длиной 80–110 мкм с резонансными частотами 130–250 кГц и радиусом закругления острия менее 10 нм.

Результаты и обсуждение

(а)-Рентгеновская дифракция

Двумерные дифрактограммы исследуемых образцов подтвердили наличие в аморфной структуре ПЭТ кристаллических включений, возникших при изготовлении пленок ПЭТ (рис. 1 (а)) и изменение степени кристалличности при тепловом (рис. 1 (б)) и лазерном воздействиях (Рис. 1 (в)).

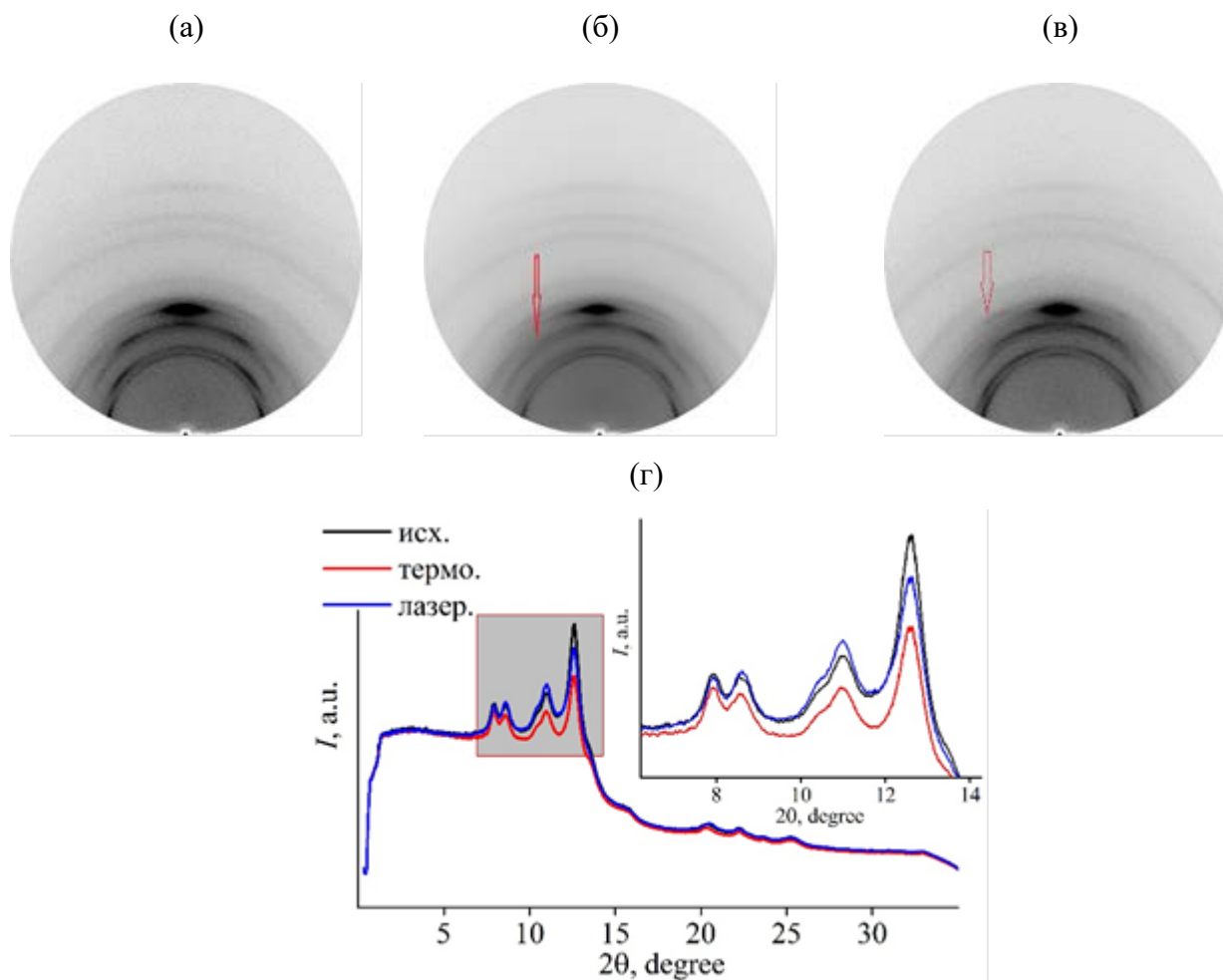


Рисунок 1. Картины дифракции: (а)-двумерная дифракционная картина для исходного образца, (б)-двумерная дифракционная картина для образца, прошедшего термическую обработку, (в)-двумерная дифракционная картина для образца, прошедшего лазерную обработку, (г)-картина дифракции вида I.

Картина интенсивности рассеяния вида I (получена из двумерного распределения интенсивности рассеяния с применением программного обеспечения [10] (рис. 1). Известно, что положение максимумов интенсивности диффузного рассеяния зависит от химического состава материала и определяет радиус первой координационной сферы, который можно оценить согласно уравнению Эренфеста (формула (1)) [11]:

$$2 \sin \theta R = 1,23 \lambda \quad (1)$$

«Предпик», который на дифрактограмме расположен левее основного пика (рис. 1(г)), обычно выявляется при использовании высокоразрешающих дифракционных методов, и отражает степень выраженности композиционного ближнего порядка. Раздвоение «предпика» свидетельствует о том, что радиус первой координационной сферы варьируется от 6.2 Å до 6.7 Å, т.е. аморфная фаза представляет собой суперпозицию двух аморфных фаз с разным компонентным составом и/или различиями в ближнем порядке. Возможен и вариант с наличием микрокристаллических зон с отклонением от общего состава материала, о чем свидетельствует наличие острого пика второго и третьего порядка. Схожесть функции парного распределения исходного сплава и образцов после термообработки свидетельствуют, что в

аморфном состоянии полиэтилентерефталата сохраняется ближний порядок, при котором структурные корреляции присутствуют на расстоянии двух-трех координационных сфер. Стоит обратить внимание на то, что лазерное воздействие увеличило долю кристалличности в образце, в то время как термическое ее уменьшило. Уменьшение в целом рассеянного излучения образца после термообработки может быть связано с перестройкой полимерных цепей. Полученная дифракционная картина (рис. 1) свидетельствует, что термическая обработка образца оказала более значимое влияние и на количественное соотношение аморфных фаз в образце.

(б)-Поверхность образцов-метод оптической микроскопии

На рис. 2 приведены изображения поверхности образцов, полученные с площади $\approx 0.1 \text{ мм}^2$ с помощью оптического микроскопа, объектив ЛОМО 91048. Видно, что в аморфной фазе исходного образца присутствуют нанокристаллические формирования (рис. 2 (а)). Их форма чаще близкая к сферической, поэтому они получили название-сферолиты [5]. Анализ распределения формирований по площади проведен с помощью аналитической программы ImageJ [12]. Получено, что средняя площадь поверхности подобных формирований составляет в исходном состоянии пленки ПЕТ $27 \pm 12 \text{ мкм}^2$. После термообработки и лазерного воздействия проведение подобного анализа на наш взгляд, нецелесообразно, так как кристаллические формирования более не имеют четких границ и окружены некой переходной областью (рис. 2). Однако следует отметить интенсивное развитие очагов кристаллизации, более выраженное при термическом воздействии, что наблюдаем и визуально: увеличение кристалличности полимерного образца ведет к потере прозрачности и хрупкости. В нашем случае образцы, прошедшие термическую и лазерную обработку, действительно понизили свою прозрачность, термически обработанный образец в большей степени (рис. 2 (г)).

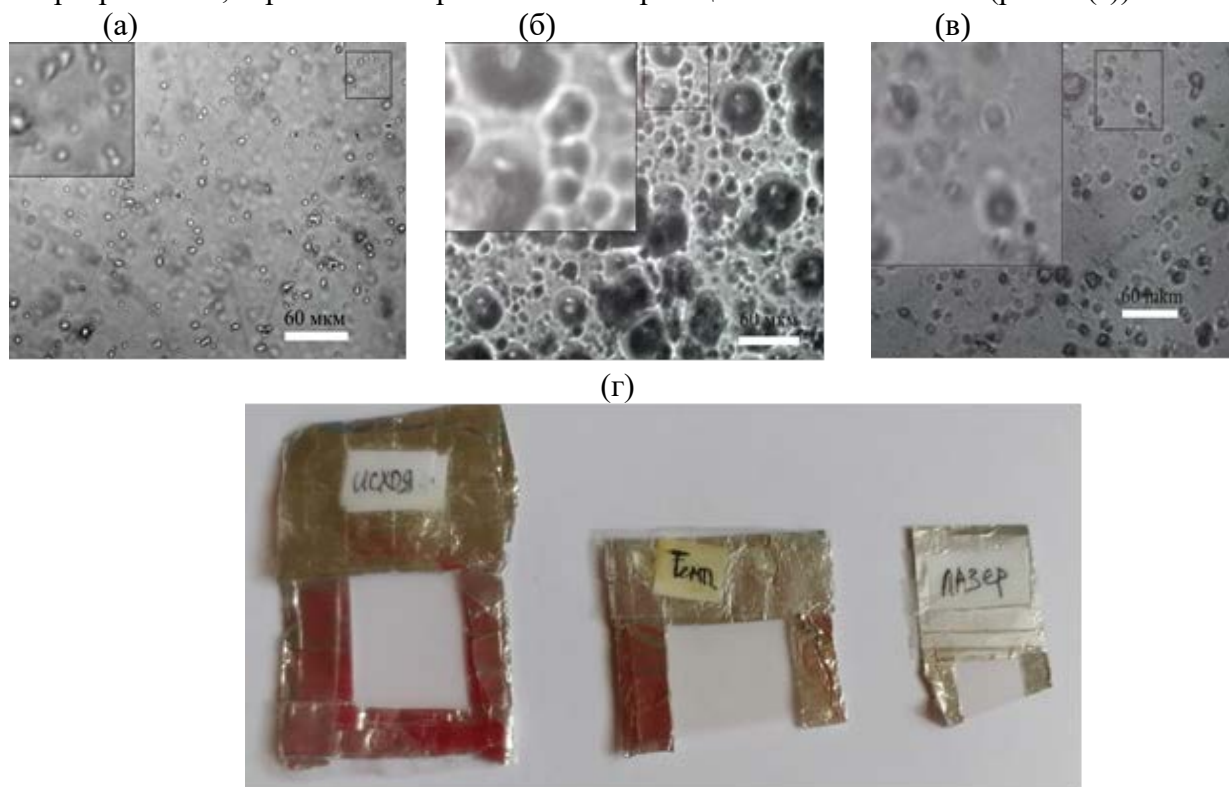


Рисунок 2. Изображения поверхности пленок ПЕТ (а)-исходный образец, (б)-образец, прошедший термическую обработку, (в)-образец после лазерного воздействия, (г)-фотография исследуемых образцов.

(с)-Поверхность образцов-метод атомно-силовой микроскопии

Исходный образец: 2D-АСМ топографическое изображение поверхности (рис. 3 (а)) свидетельствует о редких колокообразных выступах материала высотой до 600 нм и об участках практически гладкой поверхности с редкими углублениями до 25 нм и выступами до 14 нм (рис. 3 (б)).

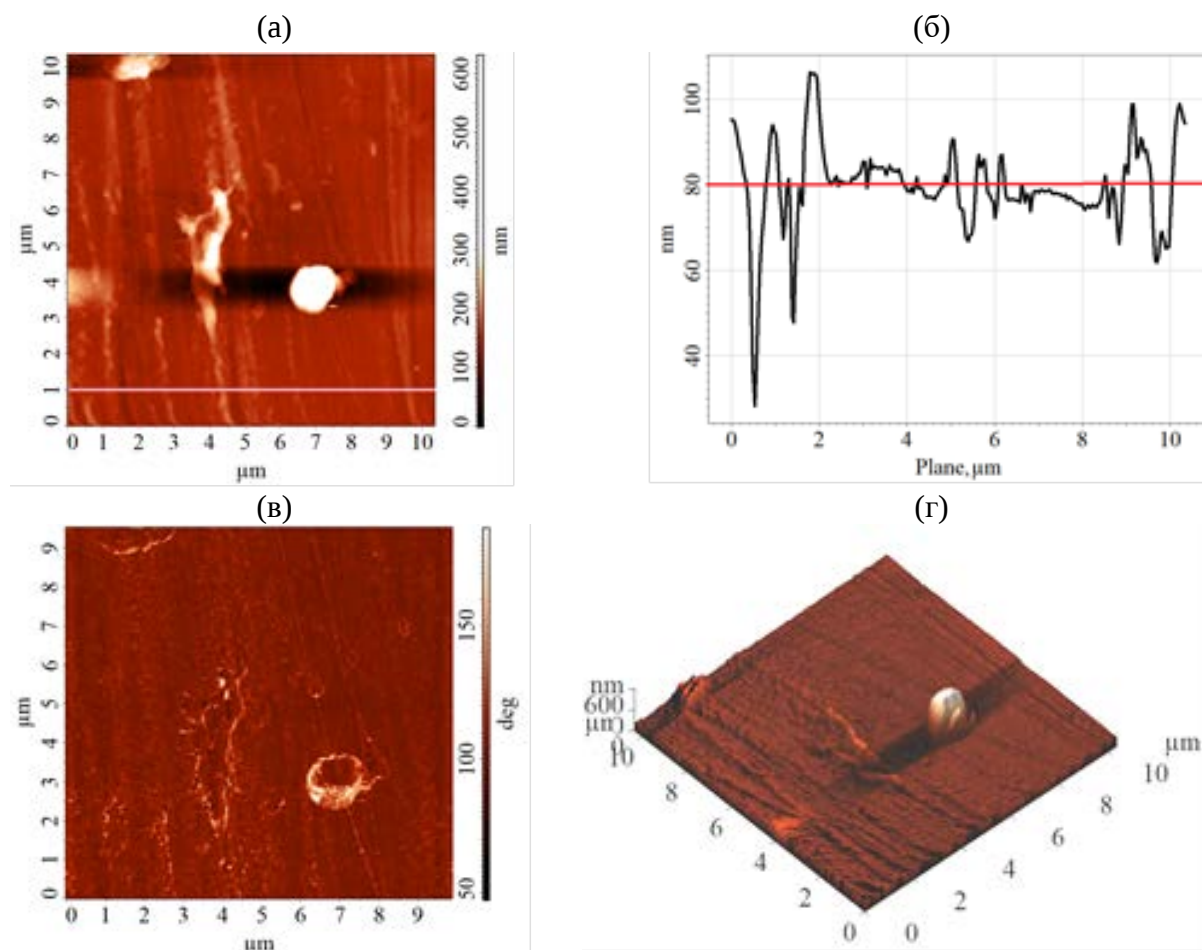


Рисунок 3. АСМ изображения поверхности исходного образца: (а)-топографическое изображение, (б)-профиль плоскости сечения, (с)-фазовое изображения поверхности, (д)-трехмерное изображение поверхности.

Наблюдаются небольшие вариации высоты с периодом в 25 нм. Фазовое 2D-АСМ изображение поверхности (рис. 3 (в)) свидетельствует о локальных изменениях механических показателей твердости поверхности, связанных с ее небольшой, в пределах 20 нм, волнистостью, возникшей, возможно, из-за разной плотности упаковки молекул аморфного материала при изготовлении пленки (рис. 3 (г))-трехмерное изображение поверхности).

После термического воздействия наблюдается возрастание числа полос, что свидетельствует об активизации сдвиговой деформации (рис. 4 (а)). Фазовое изображение поверхности показывает участки изменения электронной плотности (рис. 4 (б)). Произошло разбиение колоколообразных выступов при термической обработке образца, и они

преобразовались в плато (рис. 4 (в)). Средняя глубина углублений поверхности составляет 5 нм, максимальное ее значение 20 нм (рис. 4 (г)).

После лазерного воздействия на поверхности пленки ПЭТ число полос, свидетельствующих о сдвиговой деформации, существенно возросло (рис. 5 (а)).

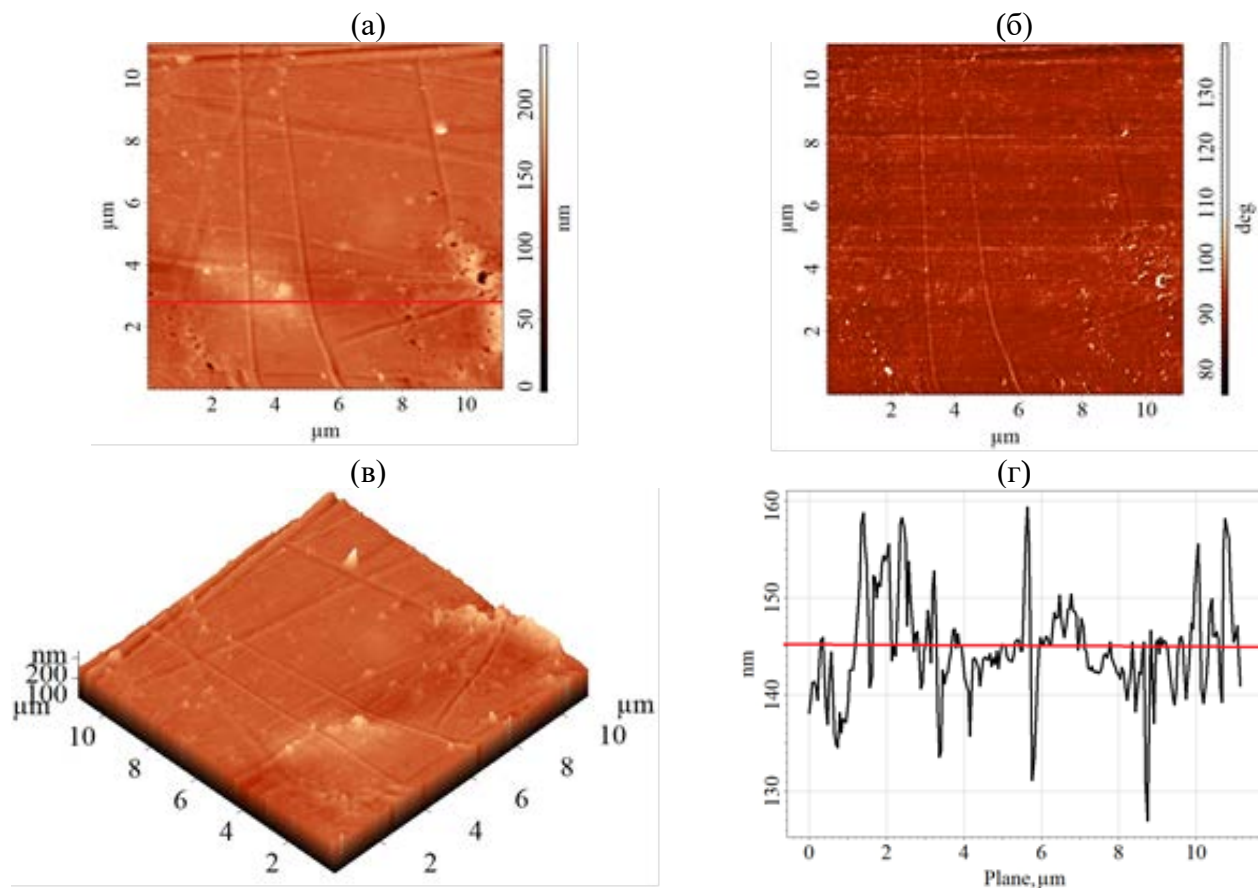


Рисунок 4. Модифицированная термическим воздействием поверхность пленки ПЭТ: (а)–топографическое изображение, (б)–фазовое изображения поверхности, (в)–трехмерное изображение поверхности, (г)–профиль плоскости сечения.

Фазовое изображение поверхности (рис. 5 (б)) показывает более существенные вариации электронной плотности по границам полос скольжения в сравнении с термически обработанным образцом. Глубина микроворонки при этом по-прежнему осталась в пределах 25 нм (рис. 5 (в)). Если после термического воздействия минимальное расстояние между полосами скольжения составило 2 мкм, то в случае лазерного воздействия наблюдаем уменьшение подобной величины до 0.5 мкм. Границы полос стали более выраженными (рис. 5).

Закключение

В результате лазерной обработки наблюдается «сглаживание поверхности», образуются более многочисленные полосы сдвига по сравнению с исходным образцом и образцом, прошедшим термическую обработку. Воздействие лазером на структуру образца ПЭТ более равномерное по глубине пленки. В данном варианте обработки полосы сдвига имеют значительно более выраженные широкие границы.

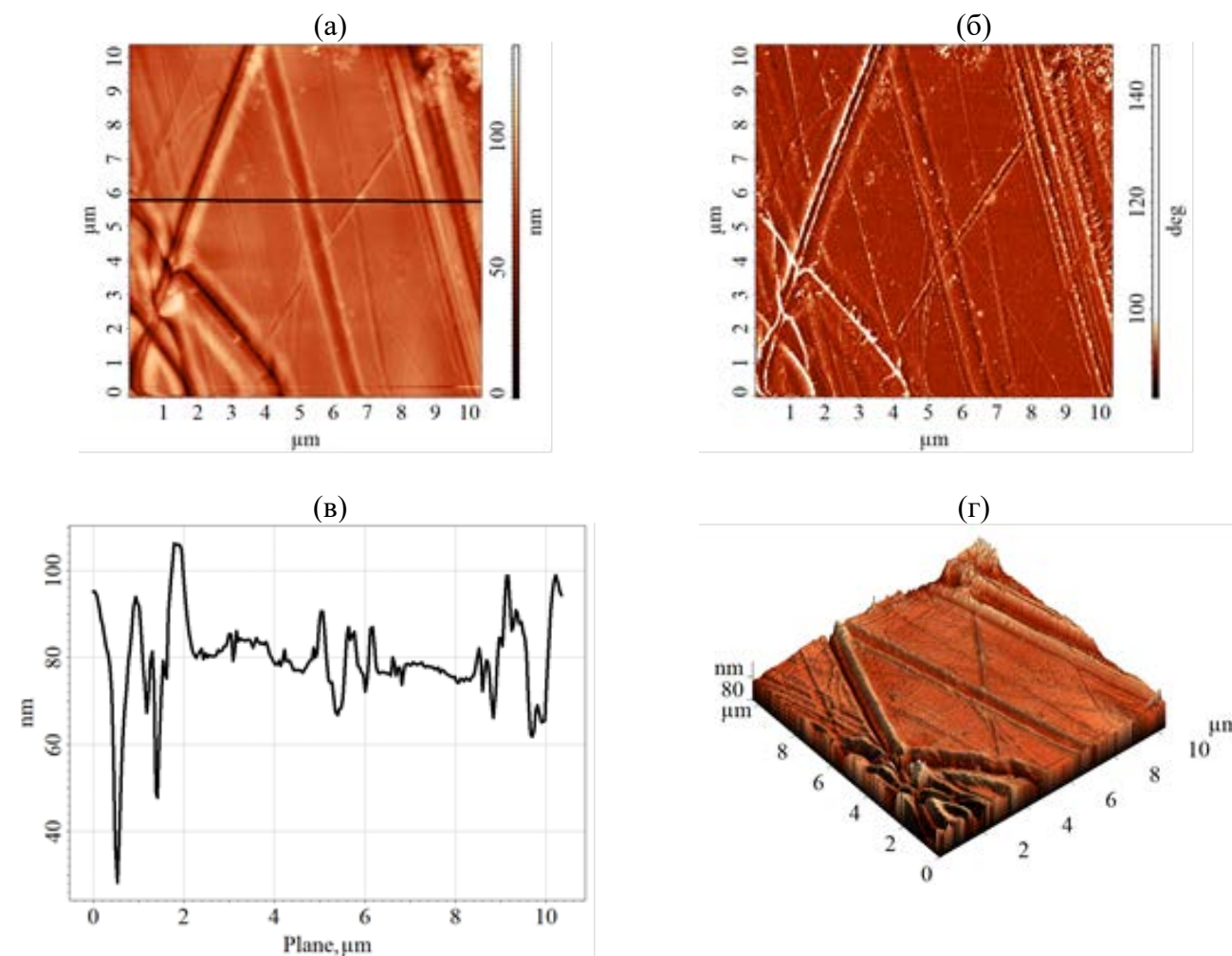


Рисунок 5. Модифицированная лазерным излучением поверхность пленки ПЭТ:
(а)–топографическое АСМ изображение, (б)–2D АСМ фазовое изображение поверхности,
(в)–профиль плоскости сечения, обозначенной на рис. 5 (а), (г)–трехмерное изображение
поверхности

Полученные в настоящей экспериментальной работе результаты расширяют диапазон сведений о структуре и поверхности промышленных пленок ПЭТ и их изменениях при термическом и лазерном воздействии, что актуально в свете развития концепции влияния на физические свойства полимеров посредством изменения их степени кристалличности.

Рентгеновские (нейтронные) дифракционные (спектроскопические/томографические) исследования проводились с использованием уникальной научной установки “Курчатовский источник синхротронного излучения “КИСИ-Курчатов” (уникальная научная установка “Нейтронный исследовательский комплекс на базе реактора ИК-8” / уникальное научное оборудование Курчатовского комплекса для синхротронно-нейтронных исследований). Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М.В. Ломоносова, Московского политехнического университета и Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Список литературы

1. Jibrin Alhaji Yabagi, Muhammad Hasnain Jameel, Abdullah Hasan Jabbar, Mohammed Isah Kimpa, Rami Qays Malik, Sim Pei Xin, Ndanusa Babakatcha, Muhammad Bello Ladan, Maytham Qabel Hamzah, Mohd Arif Agam, M. M. Hessien and Gaber A. M. Mersad, Effect of laser irradiated silver doped polystyrene/ polyethylene terephthalate (PET) thin film for solar cell applications, *RSC Adv.*, 2022, 12, 32949 <https://doi.org/10.1039/d2ra04777b>
2. Jimei Wu, Xingshui Zhao, Mingyue Shao, Qiumin Wu, Xiaoqing Xing, Nonlinear vibration characteristics of thermo-viscoelastic coupling of moving PET films with temperature-dependent elastic modulus, *Results in Physics*, 63 (2024) 107871 <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2024.107871>
3. Li-Han Rong, Xiang Cheng, Jin Ge, Olivia K. Krebs, Jeffrey R. Capadona, Eugene B. Caldon, Rigoberto C. Advincula, SI-PET-RAFT Polymerization via Electrodeposited Macroinitiator Thin Films: Toward Biomedical and Sensing Applications, *Appl. Polym. Mater.* 4 (2022) 9, 6449–6457 <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c00868>
4. Seyedeh Leila Nasiri, · Mohammad Hossein Azizi, · Farnaz Movahedi, · Nahid Rahimifard, · Hamid Tavakolipour, Potential perspectives of CMC-PET/ZnO bilayer nanocomposite flms for food packaging applications: physical, mechanical and antimicrobial properties, *Journal of Food Measurement and Characterization* 15 (2021) 3731–3740 <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00880-3>
5. A. Keller, G. R. Lester and L. B. Morgan, Crystallization Phenomena in Polymers. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* (1954) 247, <https://doi.org/10.1098/rsta.1954.0009>
6. S.G. Hovenkamp, Kinetic aspects of catalyzed reactions in the formation of polyethylene terephthalate, *J. Polymer Sci. Part A-1: Polymer Chemistry*, 9 (1971) 3617-3625, <https://doi.org/10.1002/pol.1971.150091218>
7. M. Muthukumar, Nucleation in Polymer Crystallization. *Advances in Chemical Physics*, 128 (2004) 1-63.
8. Скобелева В.С., Волкова Л.В. Исследование спектральных свойств ароматических полимеров при термической обработке. Материалы Всероссийской конференции «Наука-Общество – Технологии-2021» М: Московский Политех, (2021) 329-332.
9. R.D. Svegorov, P.V. Dorovatovskii, V.A. Lazarenko, Belok/XSA Diffraction Beamline for Studying Crystalline Samples at Kurchatov Synchrotron Radiation Source, *Crystal Research Technol.* 55 (2020) 1900184, <https://doi.org/10.1002/crat.201900184>
10. R.D. Svetogorov, Dionis: Diffraction Open Integration Software, Certificate of State Registration of Software no. 2018660965
11. A.R. Yavari, On the structure of metallic glasses with double diffraction halos, *Acta Metallurgica*, 36 (1988) 1863-1872 [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(88\)90254-4](https://doi.org/10.1016/0001-6160(88)90254-4)
12. Collins T.J. ImageJ for microscopy, *J. Bio Techniques*. 43 (2007) 25—30. [doi:10.2144/000112517](https://doi.org/10.2144/000112517)
13. Gavrish V. Investigation of the influence of nanomodifying additives on the strength properties of concrete / Gavrish V., Chayka T., Baranov G., Gavrish O. В сборнике: Materials Today: Proceedings. 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020. Elsevier Ltd, 2021. С. 1433-1436.
14. Чайка Т.В. Влияние высокодисперсного порошка смеси WC и TiC на свойства композиционных материалов / Чайка Т.В., Гавриш В.М., Павленко В.И., Черкашина Н.И. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2023. Т. 15. № 1. С. 14-26.

РАЗДЕЛ III ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 664.681.2

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТНОГО ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИЕТИЧЕСКИХ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*И.А. Прокопенко¹,
А.Е. Максименко²*

¹ *ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская Федерация;*

² *ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова», Луганск, Луганская Народная Республика, Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования по модификации рецептуры бисквитных полуфабрикатов путём частичной замены традиционных ингредиентов. Установлено, что замена 25 % пшеничной муки на рисовую диетическую в сочетании с заменой сахара на экстракт стевии позволяет получить безглютеновый низкокалорийный бисквитный полуфабрикат. Полученный продукт может служить основой для приготовления диетических десертов в индустрии питания, отвечая потребностям потребителей с ограничениями по глютену и калориям. Исследование демонстрирует возможность создания функциональных кондитерских изделий с улучшенными диетическими характеристиками при сохранении приемлемых органолептических свойств.

Ключевые слова: бисквитный полуфабрикат, рисовая диетическая мука, экстракт стевии, безглютеновый продукт, низкокалорийный десерт.

TECHNOLOGICAL ENHANCEMENT OF BISCUIT SEMI-FINISHED PRODUCT FOR DIETARY FLOUR-BASED CONFECTIONERY MANUFACTURING

*I.A. Prokopenko¹,
A.E. Maksimenko²*

¹ *Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation;*

² *Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk, Lugansk People's Republic, Russian Federation*

ABSTRACT

The article presents the results of a study on modifying the formulation of бисквитный полуфабрикат (biscuit semi-finished products) through partial substitution of traditional ingredients. It has been established that replacing 25 % of wheat flour with rice dietary flour, combined with substituting sugar with stevia extract, enables the production of a gluten-free, low-calorie biscuit semi-finished product. The resulting product can serve as a base for preparing dietary desserts in the food industry, meeting the needs of consumers with gluten and calorie restrictions. The study

demonstrates the possibility of creating functional confectionery items with enhanced dietary characteristics while maintaining acceptable organoleptic properties.

Keywords: biscuit semi-finished product, rice dietary flour, stevia extract, gluten-free product, low-calorie dessert.

Введение. В настоящее время приоритетной проблемой индустрии питания можно считать создание принципиально новых технологий, глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья в продукты высокого качества, которые оказывают оздоровительное воздействие на организм человека, обеспечивают профилактику алиментарно-зависимых состояний и заболеваний, способствуют устранению дефицита витаминов, микро- и макроэлементов, других эссенциальных веществ [1].

С помощью пищевой комбинаторики можно ослабить негативные последствия внешней среды благодаря проектированию и конструированию пищевых продуктов не только безопасных для человека, но и защищающих его генетические структуры от пагубного воздействия [2]. Среди функциональных продуктов важное место занимают обогащенные продукты витаминами, микроэлементами, пищевыми волокнами и др., продукты из которых удалены определенные соединения, не рекомендованные по медицинским показателям или заменены на другие компоненты.

Современная проблема в питании заключается в том, что в последние десятилетие ежедневный рацион стал богат легкоусвояемыми веществами. Большую популярность у взрослого населения и детей приобрели кондитерские изделия, ведь они содержат в своем составе большое количество легкоусвояемого сахара и имеют высокую калорийность, что сопровождается быстрым получением необходимой энергии.

Ассортимент кондитерских изделий, производимых в нашей стране, разнообразен, непрерывно меняется и насчитывает более 5000 наименований. Одними из наиболее употребляемыми изделиями стали высококалорийные мучные кондитерские изделия, особенно комбинированные (украшенные кремами). Употребление таких продуктов не несет пользы организму и, часто, приводит к появлению таких заболеваний, как диабет, ожирение, нарушение обмена веществ, и др.

Важно отметить, что наличие высокого содержания сахара в рецептуре кондитерских изделий не позволяет людям больным диабетом и ожирением употреблять их в пищу. Лицам с такими заболеваниями нужно придерживаться диеты, которая предусматривает ограниченное потребление сахара в рационе питания.

К сожалению, кондитерские изделия диетического, лечебно-профилактического, специального назначения для разных групп населения изготавливаются в недостаточном количестве, и их доля в общем объеме производства не превышает 1-2 % [3].

У современных технологов возник очевидный интерес к биологически активным добавкам, которые способны сбалансировать вещества и процессы в организме. Расширение ассортимента «здоровых продуктов» питания возможно вследствие частичной или полной замены некоторых видов сырья с низким содержанием физиологически-функциональных ингредиентов на купажированную растительную композицию, что обеспечит повышение их пищевой ценности [4]. Это подтверждает актуальность научно-практической работы по производству диетических кондитерских изделий.

Мучные кондитерские изделия с измененным химическим составом и физическими свойствами специально созданы для использования в профилактическом (функциональном) и лечебном питании (для отдельных контингентов или профессиональных групп населения), относятся к группам диетических продуктов. Эти продукты могут отличаться содержанием

белков, пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, уменьшенным содержанием холестерина, натрия, сахара и др.

Пищевая ценность мучных кондитерских изделий функционального или диетического питания обусловлена особенностями их состава. Направленное изменение пищевой ценности мучных изделий достигается включением в их рецептуру полезных (желательных) или изъятием нежелательных (неполезных) компонентов. При создании мучных кондитерских изделий функционального назначения основное внимание уделяется увеличению содержания в них функциональных ингредиентов (пищевых волокон, белков, витаминов антиоксидантов и др.) и снижению энергетической ценности.

Перспективными считаются зерновые композиционные системы для мучных кондитерских изделий. Исследована возможность использования просяной, рисовой, ржаной муки в производстве кексов, пряников и вафель [5]. Такие виды муки позволяют снизить содержание глютена в готовой продукции и могут быть рекомендованы людям с пищевой аллергией.

В организме человека регулирование обмена глюкозы происходит с участием гормона поджелудочной железы — инсулина. Если организм вырабатывает его в недостаточном количестве, то замедляются процессы использования глюкозы, и содержание ее в крови повышается. Почки перестают задерживать также высокие концентрации сахара в крови, и появляется сахар в моче. При этом заболевании необходимо резко уменьшить потребление сахара (прежде всего сахарозы), кондитерских изделий и некоторых полисахаридов.

Но потребность в кондитерских изделиях, как в лакомствах, у людей, страдающих диабетом, не исчезает. Поэтому необходимо изготавливать изделия из сырья, которое не способствует повышению сахара в крови.

К сахарозаменителям предъявляются высокие гигиенические и технологические требования: низкая энергетическая ценность, полнейшая безвредность, отсутствие постороннего привкуса, хорошая растворимость, устойчивость в технологических процессах, при хранении и транспортировке.

Сахарозаменители имеют разную сладость. Это необходимо учитывать при изготовлении диетических изделий и вносить коррективы в набор и соотношение рецептурных компонентов.

В нашей работе большой интерес представляет изучение крымского сырья. За последние два десятилетия применение гликозидов стевии в пищевой промышленности неуклонно росло. Помимо использования его компонентов в качестве натуральных подсластителей, все большее внимание уделяется их потенциальной пользе для здоровья и терапевтическому применению.

Стевия, удовлетворяя потребности в сладости не приводит к повышению уровня сахара в крови у больных, страдающих сахарным диабетом, обладая при этом гипогликемическим эффектом. Согласно рекомендации врачей-диабетологов периодическая смена подсластителей является обязательным условием соблюдения лечебно-профилактического режима [6].

В листьях стевии содержатся 17 аминокислот, эфирные масла, апигенин, кампестерол, стевиол, флавоноиды и гликозиды [7]. Последние придают этому растению сладкий вкус.

Один грамм сухого экстракта стевии соответствует сладости 300 г сахара. Данный подсластитель нетоксичен, низкокалориен, не вызывает привыкания, успешно применяется как подсластитель при сахарном диабете и нарушении углеводного обмена.

В пищевой промышленности сироп стевии применяется для производства безалкогольных напитков, фруктовых соков, плодоовощных консервов, компотов; при изготовлении кондитерских изделий – шоколада, конфет, мармелада, печенья; хлебобулочных изделий; мороженого; детского питания; соленой; маринада; соусов; жевательных резинок.

В результате замены в этих продуктах сахара сиропом стевии, многие продукты, ранее недоступные для людей, страдающих сахарным диабетом, ожирением, нарушением обмена веществ и другими болезнями, могут стать доступными, принося пользу для их здоровья.

Цель работы – усовершенствование технологии бисквитного полуфабриката для производства диетических мучных кондитерских изделий на предприятиях индустрии питания.

Предмет исследования – низкокалорийный бисквитный полуфабрикат как основа для диетических кондитерских изделий.

Основная часть

Основными полуфабрикатами для изготовления бисквитно-кремовых тортов являются основной бисквит, различные кремы, поэтому основным сырьем для их приготовления выступают мука, сахар, меланж (или яйца), молоко.

Вспомогательным сырьем являются различные эссенции, какао-порошок, красители, орехи и многое другое [8].

В рецептуру бисквитного теста (за исключением бисквита «Буше» и масляного бисквита) входит крахмал картофельный (20% от массы муки), который снижает количество клейковины в муке и делает тесто более пластичным, а выпеченные изделия — менее хрупкими. Картофельный крахмал содержит 79,6% углеводов; 0,1% белков; 20% воды. Если для приготовления теста использовали муку с малым содержанием слабой клейковины, то нет необходимости использовать крахмал, его заменяют на пшеничную муку.

Безглютеновая мука обладает специфическими свойствами, которые отличаются от свойств пшеничной муки, поэтому разработка новых диетических кондитерских изделий требует проведения комплекса исследований, по определению внесения ее в рецептуру теста и влияния на органолептические, физико-химические и другие свойства. В нашей работе проводили исследование качества полуфабриката при замене 25 и 50 % муки пшеничной на муку рисовую. Чтобы определиться с ее видом проведем сравнительный анализ химического состава различных видов рисовой муки. В табл. 1 представлен химический состав различных видов рисовой муки, которые используются в индустрии питания.

Таблица 1. Сравнительный анализ химического состава рисовой муки

Наименование	Мука диетическая рисовая	Мука рисовая
Калорийность, ккал	356	366
Белки, г	7,4	5,95
Углеводы, г	80,2	80,13
Жиры, г	0,6	1,42
Пищевые волокна, г	2,3	2,4
Вода, г	9	11,9
Моно- и дисахариды, г	0,7	0,12
Крахмал, г	79,1	80,0

Содержание крахмала в пшеничной муке равно 67,9 г на 100 г муки, а в рисовой диетической – 79,1, поэтому из рецептов опытных образцов исключили крахмал картофельный.

Для промышленного применения стевия предлагается в следующих формах: листья стевии, порошок стевии (сушеные и измельченные листья стевии), сироп стевии, сухой экстракт стевии. В нашем исследовании использовали жидкий сироп стевии. Известно, что при замене сахара на стевию, чтобы придать бисквиту объем и мягкость, необходимо дополнительно добавить 25-50 г молока на каждые 200 г муки. Это поможет сохранить

влажность и структуру теста [9]. Также важно тщательно перемешивать ингредиенты, чтобы препарат стевии равномерно распределился в тесте для предотвращения появления горьковатого привкуса. Для производства образцов 1 и 2 заменили употребляемый сахар на сахарозаменитель – сироп стевии, а также пшеничную муку на рисовую диетическую. Контрольный образец – бисквит, приготовленный по классической рецептуре и технологии. Рецептура опытных и контрольного образцов представлена в табл. 2.

Таблица 2. Рецептура экспериментальных образцов

Наименование	Контрольный образец	Образец 1	Образец 2
Мука пшеничная в/с, г	281	375	250
Мука рисовая диетическая, г	–	125	250
Сахар, г	347	–	–
Яйца, г	578	578	578
Крахмал картофельный, г	69,4	–	–
Эссенция, г	3,7	3,7	3,7
Экстракт стевии, г	–	15,3	15,3
Молоко, г	–	100	100
Разрыхлитель, г	–	10	10
Выход, г	1000	1000	1000

Таким образом, рецептурой контрольного образца была рецептура бисквита основного, рецептура образца 1 содержала 75 % муки пшеничной и 25 % муки рисовой (по отношению к сумме пшеничной муки и картофельного крахмала рецептуры контрольного образца), сахар был заменен на экстракт стевии, для придания легкости текстуры полуфабриката в рецептуру включили разрыхлитель, молоко – для сохранения влажности и структуры теста. Образец 2 содержал 50 % муки пшеничной и 50 % муки рисовой, остальные виды сырья и их масса не отличались от образца 1.

Учитывая требования к производству бисквитного полуфабриката, а также рецептурный состав диетического бисквита, составим технологическую схему приготовления (рис. 1):

1. Белки яиц отделить от желтков, взбить до увеличения в объеме в 2,5...3 раза, до появления устойчивой пены белого цвета;
2. В яичные желтки добавить экстракт стевии и молоко, взбить до образования светло-желтого цвета и увеличения в объеме;
3. Муку просеять и соединить с разрыхлителем, чтобы образовалась однородная консистенция;
4. Перемешать массу с желтками и мукой, добавив по рецептуре эссенцию;
5. Перемешать полученную массу со взбитыми белками, температура теста 20...25 °С, влажность 36...38 %;
6. Полученное тесто выливают в подготовленные формы, предварительно смазанные маслом или выстланные пергаментной бумагой;
7. Выпекание происходит в течение 20...40 мин при температуре 190...200 °С до готовности;
8. После термообработки полуфабрикат отправляют на охлаждение в течение 20...30 мин;
9. Для производства кондитерских изделий полуфабрикат направляют на выстаивание в течение 8...10 ч при температуре 15...20 °С.

Физико-химические показатели качества образцов определяли стандартными лабораторными методами: влажность, пористость, плотность мякиша, а также технологические показатели качества – упек, %, после термической обработки [10, 11]. Результаты исследований представлены в табл. 3.

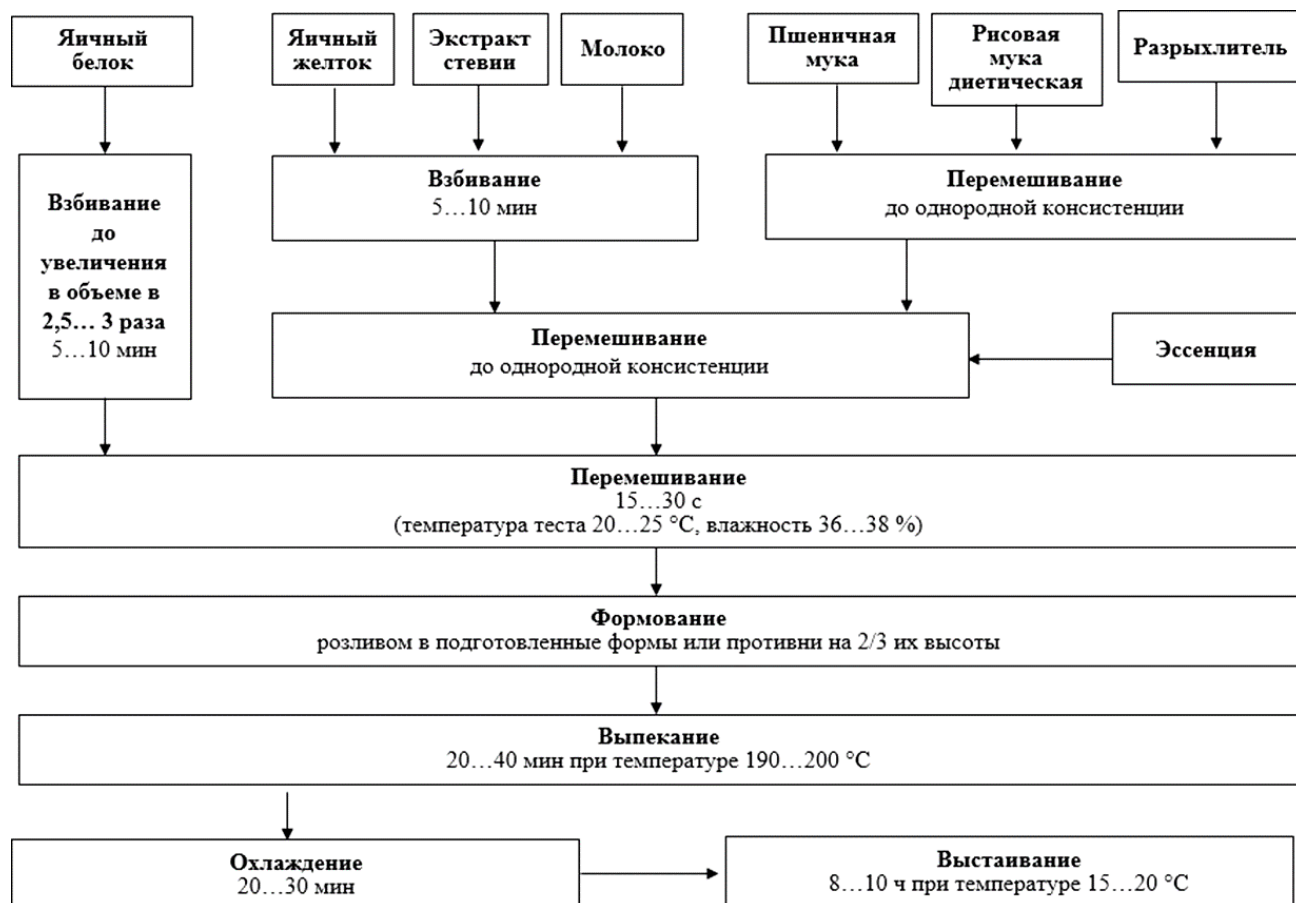


Рисунок 1. Технологическая схема приготовления диетического бисквитного полуфабриката

Таблица 3. Показатели качества экспериментальных образцов

Наименование	Контрольный образец	Образец 1	Образец 2
Массовая доля влаги, %	27,00	27,40	24,100
Пористость, %	75,00	74,20	71,80
Плотность, г/см ³	0,34	0,35	0,45
Упек, %	20,50	18,40	16,70

Как видно из таблицы, образец 1 практически не отличался по содержанию влаги от контрольного образца, а образец 2 был на 10,75 % меньше. По нашему мнению, это связано с 50 % заменой пшеничной муки на рисовую.

Пористость контрольного образца составила около 75,0 %, образца 1 – 74,2 %, а образца 2 – 71,8 %. Таким образом, считаем целесообразным введение в рецептуру диетического бисквитного полуфабриката разрыхлителя. Образец 1 имел значения показателя близкие к значениям контрольного образца, в то время как образец 2 был меньше контрольного образца 3,2 %. Считаем, что замена пшеничной муки на 50 % рисовой муки оказывает негативное

влияние на данный показатель качества, и повлечет за собой более высокую нагрузку на организм человека из-за плохой усвояемости.

Полученные данные коррелируют с результатами определения плотности опытных образцов. Следует отметить, что у образца 2 были следы уплотнения внизу бисквитного пласта, что не соответствует высоким показателям качества.

В результате расчета величины упека опытных образцов установлено, что применение рисовой муки в рецептуре с заменой пшеничной муки на 25 % уменьшает упек изделий на 10,2%, а с заменой на рисовую муку в количестве 50% – на 18,53%. Таким образом, применение диетической рисовой муки способствует снижению потерь массы при термообработке бисквитного полуфабриката.

После определения физико-химических и технологических показателей каждого образца провели органолептическую оценку полуфабрикатов по ГОСТ 31986-2012 [12] по 5 балльной шкале, которая достаточно проста и позволяет значительно повысить уровень вероятности полученных результатов. Результаты представлены на рис. 2.

Органолептическая оценка образцов, балл

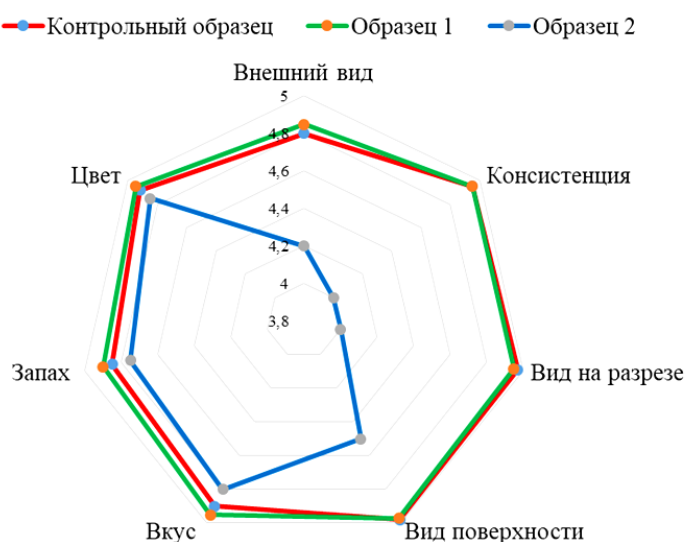


Рисунок 2. Результаты органолептической оценки образцов

При определении органолептических показателей дегустаторы отметили, что образец 1 имел по сравнению с контрольным образцом по внешнему виду, цвету, запаху, вкусу оценки немного выше, а по консистенции, виду на разрезе и поверхности они практически были одинаковыми.

Цвет полуфабриката с заменой пшеничной муки в количестве 25 % на рисовую диетическую (образец 1) был светло-коричневого, более золотистого цвета по сравнению с контрольным, имел приятный сладкий вкус и запах, ровную поверхность, упругую консистенцию, мелкопористую структуру.

Однако у образца 2 (с заменой пшеничной муки в количестве 50 % на рисовую диетическую) была неправильная форма, плотная, слегка крошливая консистенция, внизу корочка излишне уплотнена, поверхность имела незначительные трещины, следовательно, образец по этим показателям получил наименьшие оценки. Что касается вкуса, запаха и цвета,

то здесь дегустаторы поставили хорошие оценки, отметив сладкий вкус, приятный запах и светло-коричневый цвет бисквитного полуфабриката с пшеничной и рисовой мукой.

Таким образом, на основании результатов органолептической оценки и, учитывая физико-химические и технологические показатели качества, считаем, что оптимальным количеством при производстве диетического полуфабриката является замена 25 % пшеничной муки на рисовую диетическую муку. Следовательно, дальнейшая работа будет проводиться для контрольного и образца 1.

Пищевая ценность – общее понятие, включающее энергоценность продуктов, содержание в них пищевых веществ и степень их усвоения организмом, органолептические достоинства, доброкачественность (безвредность). Более высокая пищевая ценность продуктов, химический состав которых в большей степени соответствует принципам сбалансированного и адекватного питания, а также продуктов – источников незаменимых пищевых веществ.

Расчет пищевой ценности образцов был проведен по таблицам химического состава пищевых продуктов [13]. Энергетическую ценность определяли по общепринятым стандартизированным методам исследований (табл. 4) [14].

Таблица 4. Пищевая и энергетическая ценность образцов

Содержание в образцах	Контрольный образец	Образец 1
Белки, г	10,85	12,61
Жиры, г	7,03	7,48
Углеводы, г	60,00	37,26
Пищевые волокна, г	1,39	3,69
Энергетическая ценность, ккал	348,9	267,8

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в образце 1 содержание белков, жиров и пищевых волокон на 1,75; 0,45 и 2,3 г больше, чем у контрольного образца соответственно, причем количество жиров в образце 1 возросло из-за введения в рецептуру молочных продуктов, т.е. полезных жиров.

Также стоит отметить, что энергетическая ценность контрольного образца больше, чем у образца 1 на 81,13 ккал/100 г, что позволяет судить о получении бисквитного полуфабриката диетической направленности.

Таким образом, поставленная цель работы была достигнута, при замене 25 % пшеничной муки на рисовую диетическую и сахара на экстракт стевии можно получить основу – безглютеновый низкокалорийный бисквитный полуфабрикат – для приготовления диетических десертов в индустрии питания.

Заключение. В ходе работы были определены физико-химические и технологические показатели качества экспериментальных и контрольного образцов, которые показали, что 50 % замена пшеничной муки на рисовую диетическую приводит к снижению пористости мякиша и увеличению плотности заготовки.

Результаты исследований органолептических показателей качества исключили образец 2 из дальнейших исследований из-за нарушения целостности поверхности, плотного местами плохо пропеченного мякиша. Образец 1, наоборот, имел более высокую оценку по нескольким показателям, по сравнению с контрольным образцом, приготовленным по классической рецептуре и технологии.

Расчет пищевой ценности разрабатываемого продукта позволил установить, что на 100 г продукта приходится 12 г белков, 7,5 г жиров, 37,3 г углеводов и 3,7 г пищевых волокон, с энергетической ценностью 267,8 ккал, что на 81,13 ккал ниже, чем у контрольного образца.

Эти показатели свидетельствуют о достижении поставленной цели и разработке бисквитного полуфабриката для кондитерских мучных изделий диетической направленности.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют успешную разработку технологии диетического бисквитного полуфабриката как основы для кондитерских изделий. Работу можно считать завершённой на текущем этапе, с перспективой ее применения в индустрии питания и дальнейшего развития в области функционального питания.

Список литературы

1. Э. Петрич Состояние и тенденции развития российского рынка кондитерских изделий [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/ZpILoj9xwGZkPfBR?ysclid=mhbrz4kgvl693136338> (дата обращения: 29.09.2025).
2. Абрамушкина А. А. Новое направление развития пищевой индустрии - десерты функционального назначения/ Абрамушкина А. А., Иванникова Т.В. // Сервис в России и за рубежом. 2011. №4. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novoe-napravlenie-razvitiya-pischevoy-industrii-deserty-funktsionalnogo-naznacheniya> (дата обращения: 29.09.2025).
3. Технология функциональных продуктов питания : учебник для вузов / под общей редакцией Л. В. Донченко. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 176 с. — (Высшее образование). — ISBN 978- 5-534-05899-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562088> (дата обращения: 29.09.2025).
4. Микрюкова Н. В. Основные аспекты получения функциональных продуктов питания / Н. В. Микрюкова // Молодой ученый. – 2012. – № 12. – С. 90–92.
5. Магомедов Г. О., Шевякова Т. А., Чернышева Ю. А., Мазина Е. А. Сбивные мучные кондитерские изделия на основе муки из цельносмолотого зерна // Вестник ВГУИТ. 2014. №1 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbivnye-muchnye-konditerskie-izdeliya-na-osnove-muki-iz-tselnosmolotogo-zerna> (дата обращения: 29.09.2025).
6. Дзюба О. О. Стевия – *stevia rebaudiana (bertoni)* интродукция, морфология, биология, возделывание : дисс. ... канд. биол. наук // Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова РАСХН. СПб., 1999.
7. Кочетов Алексей Александрович, Синявина Надежда Георгиевна Стевия (*stevia rebaudiana bertoni*): Биохимический состав, терапевтические свойства и использование в пищевой промышленности (обзор) // Химия растительного сырья. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/steviya-stevia-rebaudiana-bertoni-biohimicheskiy-sostav-terapevticheskie-svoystva-i-ispolzovanie-v-pischevoy-promyshlennosti-obzor> (дата обращения: 30.09.2025).
8. Вожжов А.А. Исследование характеристик модуля дозирования при компенсации расхода различными способами / Вожжов А.А., Сайкин И.А. Вестник современных технологий. 2024. № 4 (36). С. 38-43.
9. Всё про диабет. Бисквит со стевией. URL: <https://festalmusic.ru/biskvit-so-steviy> (дата обращения: 01.10.2025).
10. Сайт «Интернет и право» ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/59225/?ysclid=mhjk35xlo2319884504> (дата обращения: 30.09.2025).
11. Сайт «Интернет и право» ГОСТ 5669-96 Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4217/> (дата обращения: 01.10.2025).

12. Сайт «Интернет и право» ГОСТ 31986-2012 Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54760/> (дата обращения: 01.10.2025).

13. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тутельяна. - М.: ДеЛи принт, 2002. - 236 с.

14. Гниломедова Н.В. Идентификация кристаллов тартратных солей в составе осадка вин / Гниломедова Н.В., Аникина Н.С., Весютова А.В., Олейникова В.А., Гавриш В.М., Чайка Т.В. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 490-499.

