

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

ISSN:2618-8201

№4 (36)
2024

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

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

«Севастопольский государственный университет»

№ 4(36)

2024

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Севастополь 2024

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

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 2024 г. №4 (36)

*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); Сулов 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: 20.12.2024 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

Братан С.М., Часовитина А.С. Системный анализ процесса внутреннего шлифования при обработке заготовок из титана и титановых сплавов.....	4
Харченко А.О., Харченко А.А., Корчевский С.В. Экспериментальное оборудование для исследования мелкогабаритных метчиков.....	9
Джемилов Э. Ш., Захарова Н. В., Абкеримов М. Р. Экспериментальное исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при сверлении отверстий в пакетах углепластик/титановый сплав.....	15
Стадник Т.В., Пахалюк А.В., Харитонов А.В. Математическая модель оценки выходных параметров качества при ленточном ротационном шлифовании алюминиевых и титановых сплавов	23
Левченко Е.А., Болотников И.Е., Светличная О.В. Исследование влияния технологических параметров лазерной абляции на качество обработанных деталей.....	30

РАЗДЕЛ II ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Вожжов А.А., Сайкин И.А. Исследование характеристик модуля дозирования при компенсации расхода различными способами.....	38
Ерёменко Д.О. Разработка аппарата для пастеризации виноградного сока с использованием воздуха в качестве теплоносителя.....	43
Прокопенко И.А., Сасина Е.Р., Колесов А.Г. Анализ биологически опасных факторов при производстве кулинарной продукции.....	49

РАЗДЕЛ I МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.7

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*С.М. Братан¹,
А.С. Часовитина¹*

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

АННОТАЦИЯ

Выполнена декомпозиция операции шлифования точных отверстий при обработке деталей из титана и титановых сплавов на основе системного анализа. Исследуемая система разделена по функциональным признакам на подсистемы, которые обладают своим набором свойств, параметров состояния, историей развития, вектором входных и выходных переменных, вектором возмущающих воздействий.

Ключевые слова: декомпозиция, системный анализ, шлифование.

SYSTEM ANALYSIS OF THE INTERNAL GRINDING PROCESS DURING THE PROCESSING OF BLANKS MADE OF TITANIUM AND TITANIUM ALLOYS

*S.M. Bratan¹,
A.S. Chasovitina¹*

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

ABSTRACT

The decomposition of the grinding operation of precise holes in the processing of titanium and titanium alloy parts based on a system analysis was performed. The system under study is divided by functional features into subsystems that have their own set of properties, state parameters, development history, vector of input and output variables, vector of disturbing influences.

Keywords: decomposition, system analysis, grinding.

Введение. Среди технологических операций обработка отверстий является одной из наиболее распространенных и по объему не уступает обработке наружных поверхностей [1].

Разработка математических моделей операции внутреннего шлифования позволяет решить многие практические задачи по выбору и конструированию инструмента, назначению режимов и условий обработки и является актуальной задачей. Весьма часто при моделировании операция рассматривается как динамическая система. Существует множество вариантов схем декомпозиции операции как динамической системы. С целью установления взаимосвязей режимов обработки с текущими параметрами зоны контакта при внутреннем шлифовании используем системный анализ, являющийся одним из наиболее прогрессивных направлений системного подхода [2]. Основным принципом системного анализа является

разделение сложного процесса на совокупность простых, учитывая их взаимосвязи. Таким образом, системный анализ выступает как процесс последовательной декомпозиции рассматриваемой сложной проблемы на взаимосвязанные частные проблемы и последующую их комплексную оценку.

Основная часть. Для построения моделей процесса рассмотрим операцию внутреннего шлифования как динамическую систему (рисунок 1).

По функциональным признакам анализируемая операция (рисунок 1), как динамическая система, может быть разбита на подсистемы темы: «Инструмент» (И), «Заготовка» (З), «Технологическая система» (ТС), и особую подсистему - «Зона контакта» (ЗК). Последняя учитывает то, что при контакте инструмента с заготовкой, возникает область взаимного проникновения абразивных зерен в обрабатываемый материал и выступов шероховатостей заготовки в промежутки между зернами. Каждая из подсистем имеет свой набор свойств, параметров состояния, историю развития, вектор входных и выходных переменных, вектор возмущающих воздействий. Например, «Зона контакта» непрерывно изменяется в процессе обработки, в результате изменяются размеры ранее сформированных микронеровностей, т.е. происходят процессы не присущие по отдельности всем остальным подсистемам.

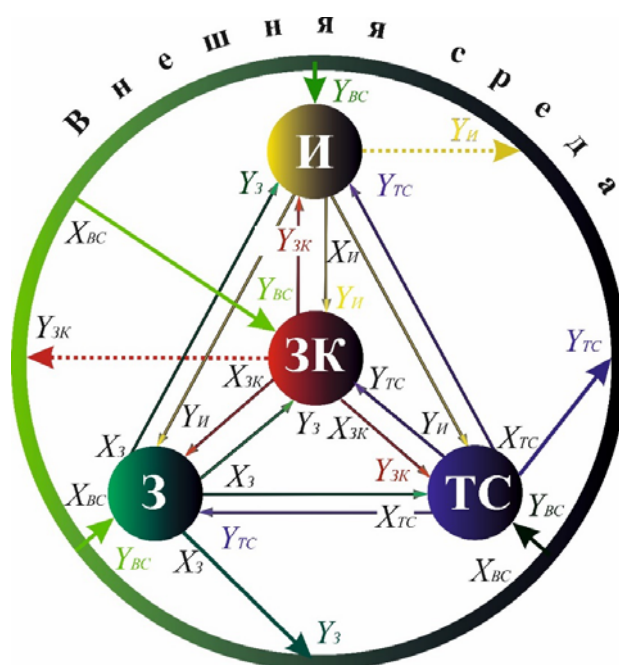


Рисунок 1. Структурная схема операции внутреннего шлифования

Иными словами, параметрам состояния зоны относятся ее размеры, форма, параметры процесса стружкообразования, скорость съема материала, параметры изнашивания и разрушения абразивного материала. Размеры зоны находятся в прямой связи с размерами и пространственным расположением инструмента и заготовки, состоянием поверхностей инструмента и заготовки. В связи с изменением размеров, пространственного расположения и состояния контактирующих поверхностей при каждом новом обороте инструмента будут изменяться и параметры состояния зоны контакта и как следствие – показатели качества и эффективности шлифования [3].

Для каждой подсистемы определим свойства, параметры состояния и векторы входных и выходных переменных (табл. 1).

Таблица 1. Системный анализ процесса внутреннего шлифования

Название подсистемы	Входные переменные, начальные условия	Параметры состояния	Выходные переменные
Инструмент	движущие силы СОТС; износ узлов и деталей станка; износ узлов и деталей станка; расход электроэнергии и материалов; тепловой поток в СОТС; тепловой поток в среду; пространственное расположение исполнительных механизмов; движущие силы инструмента; изменение характеристик инструмента в процессе правки. охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку); охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на шлифовальную головку; силы реакций на станок; тепловой поток в среду; расход СОТС; влияние СОТС на процессы зоны контакта; влияние СОТС на процессы зоны правки	текущее начальное пространственное положение; текущие движущие силы инструмента; текущие координаты положения относительно шлифовального инструмента; текущие размеры, форма, число, распределение единичных царапин, физико-механическое состояние поверхностного слоя; текущие силы, действующие от заготовки на инструмент; текущие силы реакции на инструмент; текущая скорость износа инструмента; текущая скорость изнашивания режущих кромок; текущие изменения геометрии, числа, свойств, частичек материала, налипших на инструмент; текущая форма и размеры единичных стружек и частиц абразива; текущий тепловой поток в инструмент из зоны контакта; текущие охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на шлифовальную головку (силы реакций на шлифовальную головку); текущие геометрические характеристики поверхностного слоя инструмента; текущие формирование нового микрорельефа инструмента и уменьшение его диаметра, изменение физико-механических свойств шлифовального инструмента; текущая скорость съема материала инструмента.	размеры, форма шлифовальной головки, число, форма, распределение режущих кромок; физико-механические и химические свойства материалов зерна и связки; силы, действующие от инструмента на заготовку; скорости движения шлифовальной головки и режущих кромок; количество, геометрия и свойства налипающих частичек материала; силы реакций ТС (на станок, приспособление, среду); координаты положения относительно заготовки; расход инструмента. тепловой поток в ТС (СОТС, инструмент, среду).
Технологическая система	начальные технические данные станка, приспособления. начальные характеристики положения деталей станка; начальная температура узлов станка; параметры настройки станка; скорости движения шлифовального инструмента и режущих кромок; силы реакций на станок, приспособление от шлифовального инструмента; износ узлов и деталей станка; пространственное расположение исполнительных механизмов; силы реакций и тепловой поток в станок приспособление от правящего инструмента; координаты положения относительно заготовки; скорости движения заготовки;	текущие технические данные станка, приспособления; текущие характеристики положения деталей станка; текущие температуры узлов станка; текущие параметры настройки станка; текущие скорости движения шлифовальной головки и режущих кромок; текущие силы реакций на станок, приспособление от шлифовального инструмента; текущий износ узлов и деталей станка; текущий износ узлов и деталей станка; текущие силы реакций и тепловой поток в станок – приспособление от правящего инструмента;	движущие силы СОТС; износ узлов и деталей станка; износ узлов и деталей станка; расход электроэнергии и материалов; тепловой поток в СОТС; тепловой поток в среду; пространственное расположение исполнительных механизмов; движущие силы инструмента; изменение характеристик инструмента в процессе правки; охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку); охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на шлифовальную головку; силы реакций на станок; тепловой поток в среду; расход СОТС;

	тепловой поток в станок от заготовки; силы реакций на ТС от заготовки; тепловой поток в станок из зоны контакта; охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку); охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на шлифовальную головку; силы реакций на станок; тепловой поток в среду; расход СОТС; влияние СОТС на процессы зоны контакта; начальный состав и свойства; начальная температура; тепловой поток в СОТС от инструмента; движущие силы СОТС; тепловой поток в СОТС от внешней среды; тепловой поток в среду; пространственное расположение исполнительных механизмов.	текущие координаты положения относительно заготовки; текущие скорости движения заготовки; текущие тепловые потоки в станок от заготовки; текущие силы реакций от заготовки на станок; текущие тепловые потоки в станок из зоны контакта; текущие силы реакций на станок от СОТС; текущий тепловой поток в станок из зоны правки. начальный состав и свойства; начальная температура; текущий тепловой поток в СОТС от шлифовального инструмента; текущие движущие силы СОТС; текущий тепловой поток в среду; текущие пространственное расположение исполнительных механизмов; текущие движущие силы инструмента; текущие изменение характеристик инструмента в процессе износа; текущий тепловой поток в СОТС от заготовки; текущие силы реакций на СОТС от заготовки; текущие изменение химического состава СОТС; текущий расход СОТС.	влияние СОТС на процессы зоны контакта; влияние СОТС на процессы зоны правки.
Заготовка	начальное пространственное положение; начальные параметры геометрии, электрофизикомеханические и химические свойства обрабатываемого материала; начальная температура; силы, действующие от инструмента на заготовку; координаты положения относительно заготовки; движущие силы СОТС на параметры заготовки; движущие силы заготовки; расход электроэнергии и материалов; пространственное расположение исполнительных механизмов; силы реакции на заготовку; скорость съема материала; изменение размеров, формы, шероховатости поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки; тепловой поток в заготовку из зоны контакта; форма и размеры единичных стружек и частиц абразива; охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку).	текущие силы, действующие от инструмента на заготовку; текущие координаты положения относительно заготовки; текущие движущие силы СОТС на параметры заготовки; текущие движущие силы заготовки; текущий расход электроэнергии и материалов; текущие пространственное расположение исполнительных механизмов; текущие силы реакции на заготовку; текущая скорость съема материала; текущие изменение размеров, формы, шероховатости поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки; текущий тепловой поток в заготовку из зоны контакта; текущая форма и размеры единичных стружек и частиц абразива; текущие охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку).	координаты положения относительно шлифовального инструмента; скорости движения заготовки; тепловой поток в СОТС, станок, среду; размеры, форма, число, распределение единичных царапин, физико-механическое состояние поверхностного слоя; силы, действующие от заготовки на инструмент; силы реакций на станок, приспособление, СОТС.
Зона контакта	движущие силы СОТС; размеры, форма инструмента, число, форма, распределение	текущие размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок;	силы реакции на инструмент; силы реакции на заготовку; силы реакции на СОТС;

	режущих кромок; физико-механические и химические свойства материалов зерна и связки; силы, действующие от инструмента на заготовку; скорости движения шлифовального инструмента и режущих кромок; количество, геометрия и свойства налипающих частичек материала; силы реакций на станок, приспособление, среду; координаты положения относительно заготовки; расход инструмента; тепловой поток в СОТС, инструмент, среду от шлифовального инструмента; износ узлов и деталей станка; движущие силы заготовки; расход электроэнергии и материалов; тепловой поток в СОТС от станка-приспособления; тепловой поток в среду; пространственное расположение исполнительных механизмов; движущие силы инструмента; изменение характеристик инструмента в процессе правки; координаты положения относительно шлифовального инструмента; скорости движения заготовки; тепловой поток в СОТС, станок, среду от заготовки; размеры, форма, число, распределение единичных царапин, физико-механическое состояние поверхностного слоя; силы, действующие от заготовки на инструмент; силы реакций на СОТС; изменение химического состава СОТС; расход СОТС; силы реакций на ТС.	текущие пространственные расположения исполнительных механизмов; текущие движущие силы инструмента; текущие координаты положения относительно шлифовального инструмента; текущие скорости движения заготовки; текущий тепловой поток в СОТС, станок, среду от заготовки; текущие размеры, форма, число, распределение единичных царапин, физико-механическое состояние поверхностного слоя; текущие силы, действующие от заготовки на инструмент; текущие силы реакций на станок, приспособление, СОТС; текущие охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку (силы реакций на заготовку); текущий расход инструмента; текущие охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС; текущие силы реакций на станок; текущий тепловой поток в среду; текущий расход СОТС; текущие физико-механические и химические свойства материалов зерна и связки; текущие силы, действующие от инструмента на заготовку; текущие скорости движения шлифовального инструмента и режущих кромок; текущие количество, геометрия и свойства налипающих частичек материала; текущие силы реакций на станок, приспособление, среду; текущие координаты положения относительно заготовки; текущий тепловой поток в СОТС, инструмент, среду от шлифовального инструмента; текущие движущие силы СОТС; текущий износ узлов и деталей станка; текущие движущие силы заготовки; текущий расход электроэнергии и материалов; текущий тепловой поток в среду.	скорость износа инструмента; изменение химического состава СОТС; скорость съема материала; тепловой поток в инструмент, заготовку, ТС и в окружающую среду; скорость изнашивания режущих кромок; изменение геометрии, числа, свойств, частичек материала, налипших на инструмент; изменение размеров, формы, шероховатости поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки; форма и размеры единичных стружек и частиц абразива.
--	--	--	--

Вывод. Для повышения эффективности обработки точных отверстий в заготовках из титановых сплавов операция рассмотрена как динамическая система, где процесс формообразования поверхности исследуется не только в пространстве, но и во времени. На основе системного подхода рассмотрена структура операции, сформулированы основные положения и принципы анализа процесса внутреннего шлифования. По функциональным признакам анализируемая операция была разделена на подсистемы: «Инструмент» (И), «Заготовка» (З), «Технологическая система» (ТС) и особую подсистему- «Зона контакта» (ЗК).

Каждая из подсистем имеет свой набор свойств, параметров состояния, историю развития, вектор входных и выходных переменных, вектор возмущающих воздействий.

Список литературы

1. Братан, С. М. Моделирование взаимосвязей между входными факторами и выходными показателями процесса внутреннего шлифования с учетом взаимных колебаний инструмента и заготовки / С. М. Братан, А. С. Часовитина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 57-70. – DOI 10.17212/1994-6309-2023-25.1-57-70.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 232 с.
3. Часовитина, А. С. Повышение эффективности обработки точных отверстий в деталях из титана и титановых сплавов на операциях чистового и тонкого шлифования: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Часовитина Анастасия Сергеевна, 2024. – 172 с.

УДК 621.771.013

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ МЕТЧИКОВ

*А.О. Харченко¹,
А.А. Харченко¹,
С.В. Корчевский¹*

¹ *ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

АННОТАЦИЯ

В статье освещаются вопросы проведения экспериментальных исследований метчиков, затылованных различными способами. Испытывались трехгранные затылованные пластически деформирующие метчики (ПДМ), машинно-ручные метчики (МРМ) и затылованные режуще-деформирующие метчики (РДМ). Наиболее характерными причинами параметрических отказов режущих МРМ были наростообразование обрабатываемого материала на передних и боковых поверхностях зубьев, скалывание вершин зубьев, притупление кромок и оплавление кромок зубьев рабочей части. Для ПДМ наиболее характерны наростообразование на заборном и калибрующем участках, износ витков резьбы на боковых сторонах профиля и по наружному диаметру. При работе РДМ на режущих участках наблюдались скалывание вершин и притупление кромок, а на деформирующих участках – наростообразование и скругление вершин зубьев. Представленные результаты подтверждают эффективность экспериментальных исследований надежности мелкоразмерных метчиков на основе прогрессивного стендового оборудования и разработанной методики.

Ключевые слова: мелкоразмерный метчик, безотказность метчика, поле допусков резьбовых профилей, контроль величины износа, экспериментальная установка, динамометр, эксплуатационная надежность метчика.

EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR THE STUDY OF SMALL-SIZED TAPS

A.O. Kharchenko¹,

A.A. Kharchenko¹,

S.V. Korchevski¹

¹ FSFAEI HE «Sevastopol state university», Sevastopol, Russia

ABSTRACT

The article highlights the issues of conducting experimental studies of taps backed up in various ways. Triangular backed plastic deforming taps (PDT), machine-manual taps (MMT) and backed cutting-deforming taps (CDT) were tested. The most characteristic causes of parametric failures of cutting MMT were the build-up of the processed material on the front and side surfaces of the teeth, chipping of the tops of the teeth, blunting of the edges and melting of the edges of the teeth of the working part. For PDT, the most characteristic are build-up on the intake and calibration sections, wear of the thread turns on the sides of the profile and along the outer diameter. During the operation of the CDT, chipping of the vertices and blunting of the edges were observed in the cutting sections, and in the deforming sections, build-up and rounding of the tooth vertices. The presented results confirm the effectiveness of experimental studies of the reliability of small-sized taps based on advanced bench equipment and the developed methodology.

Keywords: small-sized tap, tap reliability, tolerance field of threaded profiles, wear control, experimental installation, dynamometer, tap operational reliability.

Наиболее прогрессивными инструментами для формообразования внутренних резьб в настоящее время, являются метчики, различная конфигурация рабочей части которых достигается за счет процесса затылования. Традиционно сложилась схема затылования исключительно с применением радиального перемещения затылующего инструмента, при котором зачастую невозможно обеспечить требуемые показатели точности и качества затылуемых поверхностей, в частности, мелкогабаритных метчиков [1-4]. Однако сочетание его с осевым возвратно-поступательным перемещением инструмента при затыловании метчиков показывает преимущество не только по точности обработки резьбового отверстия, но также по стойкости и экономической эффективности.

Безотказность резьбообразующих инструментов, в частности, метчиков, как главное свойство их надежности, является важнейшим показателем стабильного технологического процесса изготовления резьб в деталях. Надежность зависит от следующих факторов: правильность выполнения конструктивных элементов инструмента, начальные отклонения формы и размеров, твердость и прочность сердцевины и поверхности инструмента, наличие упрочняющего покрытия и т.д. Наиболее значимым фактором является изменение размеров рабочих поверхностей инструмента (уменьшение высоты режущей кромки, увеличение углов заострения, размеров скругления кромок и т.п.) в процессе резьбообразования, представляющее собой в общем понятии – износ [5-7].

Испытания производились по экстремальному уровню, смысл которого состоит в том, что для объектов с высокими требованиями к надежности нет необходимости выявлять весь закон распределения, а надо исследовать лишь ту его часть в области более низких значений наработки до отказа, которая по площади равна допустимой вероятности отказа. При данном испытании устанавливали наиболее тяжелые условия по следующим факторам:

А) режимы работы – скорость $V = 0,042 \dots 0,150 \text{ м/с}$;

Б) нагрузка $M_{кр} = 1,8 \dots 3,2 \text{ Нм}$ (размеры резьбы – М4);

В) материалы – труднообрабатываемые стали и сплавы (34ХНЗМ, $\sigma_{\sigma}=0,58 \cdot 10^{-3} \text{Н/м}^2$; ВЖ36-2, $\sigma_{\sigma}=0,8 \cdot 10^{-3} \text{Н/м}^2$; ВТ-3, $\sigma_{\sigma}=0,95 \cdot 10^{-3} \text{Н/м}^2$).

Износ зубьев метчиков контролировали с помощью микроскопов БМИ-1 и «Мир-2», а вывод резьбового профиля на экран производили с помощью видеокамеры (рисунок 1).

Потоки параметрических отказов и отказов функционирования затылованных мелкоразмерных метчиков исследовались на специально спроектированной установке на базе токарно-винторезного станка 1М61П (рисунок 2). Установка содержит специальный шпиндельный узел 1, устройство для позиционирования и фиксации технологических образцов 2, измерительную 3 и усилительную аппаратуру 4 (тип УТ 4-1).

Методика исследования эксплуатационной надежности резьбонарезного оборудования с учетом большого числа различных факторов достаточно сложна и трудоемка [8]. В данной связи следует провести полный факторный эксперимент типа 2^n для исследования интенсивностей отказов и восстановлений метчиков в лабораторных условиях. Так как надежность метчиков определяется в большей степени прочностью обрабатываемого материала $\sigma(x_1)$, скоростью формирования резьбы $V(x_2)$ и диаметром отверстия $d(x_3)$, имеет смысл рассмотреть задачу определения зависимости стойкости метчиков от вышеуказанных параметров, а именно

$$Y = T_{II}' = f(x_1, x_2, x_3). \quad (1)$$



Рисунок 1. Установки для контроля величины износа метчиков

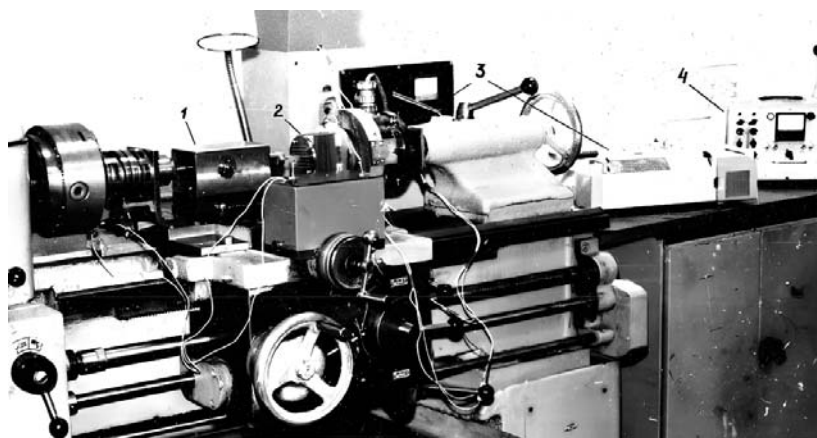


Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки для исследования надежности метчиков

Для испытаний были взяты трехгранные затылованные пластически-деформирующие метчики (ПДМ, рисунок 3, а), машинно-ручные метчики (МРМ) (ГОСТ 1604-71) и затылованные режуще-деформирующие метчики (РДМ, рисунок 3, б), изготовленные из стали Р9К5 (ГОСТ 19265-73) с твердостью рабочей части HRC 62...65. Прочность обрабатываемого материала (ВТЗ) – $\sigma_{\text{сmax}} = 10^{-3} \text{ Н/м}^2$, $\sigma_{\text{сmin}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ (сталь 34ХНЗМ). Скорость резцообработки V изменялась в пределах 0,042...0,15 м/с. Диаметры отверстия под резьбу М4 изменяли для ПДМ в диапазоне от 3,30 до 3,50 мм. Остальные параметры оставались неизменными.



Рисунок 3. Конструкции пластически-деформирующего метчика (ПДМ) (а) и режуще-деформирующих метчиков (РДМ) (б)

Условия планирования эксперимента с заданными границами, уровнями и шагами варьирования независимых переменных X_1, X_2, X_3 в натуральном кодированном виде представлены в таблице 1.

Таблица 1. Условия планирования экспериментальных исследований надежности метчиков

Условия	$\sigma(x_1)$		$V(x_2)$		$d(x_3)$	
	Н/м^2	код	м/с	код	мм	код
Уровень:						
Верхний	10^{-3}	+1	0,15	+1	3,76	+1
Нижний	$0,6 \cdot 10^{-3}$	+1	0,04	–1	3,62	–1
Основной	$0,8 \cdot 10^{-3}$	0	0,09	0	3,69	0
Шаг варьирования	$0,2 \cdot 10^{-3}$	–	0,05	–	0,07	–

Обработке подвергались сквозные резьбовые отверстия М4 в заготовках из сталей 34ХНМЗ ($\sigma_{\text{с}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), 12Х21НЗТ ($\sigma_{\text{с}} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), ВЖ36-Д2 ($\sigma_{\text{с}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$). В качестве СОТС использовался сульфозрезол (согласно ГОСТ 122-84).

В таблице 2 представлена матрица планирования эксперимента для трех определяющих параметров X_1, X_2, X_3 ($2^n = 2^3 = 8$ комбинаций в матрице).

Эксплуатационная надежность метчиков определялась в качестве суммарной стойкости (время от начала работы до первой поломки зубьев рабочей части или стержня метчика), которая рассчитывается по формуле (2).

$$T'_H = k_0 h / n_w P_M, \quad (2)$$

где k_0 – количество обработанных резьбовых отверстий; h – глубина отверстия, мм; $n_{ш}$ – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; P_M – шаг резьбы метчика, мм.

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента.

Планирование			Стойкость инструмента $T_{ш}$, мин				S_{yu}^2
X_1	X_2	X_3	$Y_{ш1}$	$Y_{ш2}$	$Y_{ш3}$	$Y=(Y_{ш})$	
–	–	–	14,1	14,2	13,7	14,0	0,07
+	–	–	1,7	1,6	1,8	1,7	0,02
–	+	–	3,9	4,1	3,8	3,9	0,03
+	+	–	0,8	0,9	0,7	0,8	0,02
–	–	+	14,5	14,6	14,4	14,5	0,01
+	–	+	1,7	1,5	1,9	1,7	0,04
–	+	+	4,1	3,8	4,2	4,1	0,05
+	+	+	0,9	0,7	1,1	0,9	0,02
$\sum S_{yu}^2 = 0,26$							

В процессе дисперсионного анализа экспериментальных данных было получено искомое уравнение зависимости:

$$Y(X) = 2,964 - 6,473X_1 + 4,765X_2 + 3,699X_3. \quad (3)$$

Для нахождения оптимальных параметров при наличии уравнения (3) применялся метод крутого восхождения по поверхности отклика (таблица 3). В первую строку таблицы 3 были внесены значения коэффициентов уравнения регрессии. Затем были вычислены произведения коэффициентов b_i на интервал варьирования $\Delta(x)$ (вторая строка). Максимальное значение имело произведение $b_i x \Delta(x_2) = 15,48$, которое было принято в качестве базового.

Таблица 3. Результаты испытаний метчиков на эксплуатационную надежность.

Исследуемые факторы	σ_B , Н/м	V , м/с	d , мм	T , мин
b_i	–6,473	0,08	3,69	–
$b_i \times \Delta$	$-1,3 \times 10^{-3}$	0,26	0,26	–
Шаг, q	$-0,08 \times 10^{-3}$	1	0,02	–
Опытные данные	$0,72 \times 10^{-3}$	0,11	3,71	14,63
	$0,64 \times 10^{-3}$	0,13	3,72	14,84

Для базового фактора X_2 выбран шаг крутого восхождения $q_2 = 1$. Шаг для остальных факторов X_1 и X_3 рассчитывался по соотношениям:

$$q_1 = -1,3 \cdot 10^{-3} / 15,486 = -0,08 \cdot 10^{-3};$$

$$q_3 = 0,259 / 15,486 = 0,02;$$

Исследования наработки на отказ метчиков ($T_{ш}$) трех вариантов производили в течение месяца в лабораторных условиях с учетом параметров обработки и режимов, выбранных для каждой конструкции в процессе факторного эксперимента. Результаты статистического

исследования метчиков сведены в таблицу 4, где показаны математические ожидания $M[T'_H]$ дискретных случайных величин времени T'_H между двумя отказами функционирования метчиков.

Таблица 4. Экспериментальные значения времени между отказами функционирования метчиков

Вариант метчика	Математическое ожидание, $M[T'_H]$, мин	Дисперсия, $D[T'_H]$
Машинно-ручной (МРМ)	7,9	8,1
Пластически-деформирующий (ПДМ)	14,6	13,7
Режуще-деформирующий (РДМ)	21,9	19,4

Дисперсия $D[T'_H]$ при этом отличается от соответствующего математического ожидания на 2,5%, 6% и 11%, что дает повод утверждать о распределении случайной величины T'_H по закону Пуассона. Для статистического описания процесса возникновения отказа рассчитывали относительные частоты распределения $h(T'_H)$ (рисунок 4).

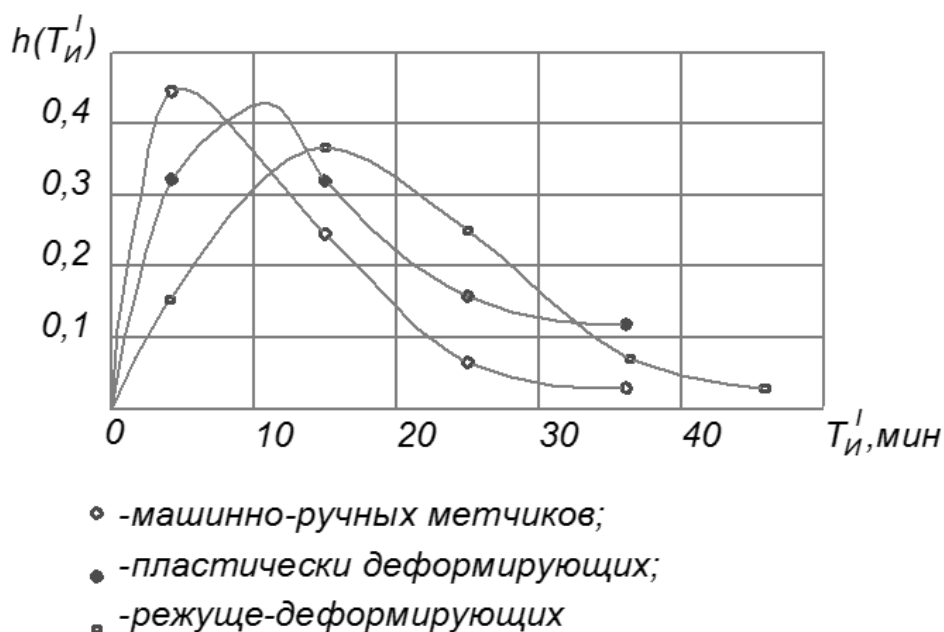


Рисунок 4. Относительные частоты распределения времени между отказами функционирования метчиков

Основными причинами отказов функционирования машинно-ручных метчиков (МРМ) были поломки рабочей части, а пластически-деформирующих метчиков (ПДМ) – выкрашивание зубьев заборного участка и переходных зубьев между заборным и калибрующим участками.

Режуще-деформирующие метчики (РДМ) по первой и по второй причинам выходили из строя примерно в равных соотношениях. При этом наиболее высокие показатели надежности

(средняя наработка на отказ $T'_{II} = 22$ мин при работе с труднообрабатываемыми материалами) получены именно при использовании режуще-деформирующих метчиков.

Список литературы

1. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Середа. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
2. Рабкин А.Л. Затыловочные станки / А.Л. Рабкин. – М.: Машиностроение, 1976. – 128 с.
3. Якухин В.Б. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Б. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
4. Харченко А.О. Совершенствование процесса затылования зубьев рабочей части мелкоразмерных метчиков / А.О. Харченко, С.В. Корчевский. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2023. № 6 (362). – С. 184-195. DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-184-195.
5. Братан С.М. Процессы и операции формообразования поверхностей при механической обработке: Учеб. пособие / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, Е.А. Левченко и др. – М.: Центркatalog, 2018. – 200 с.
6. 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.
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. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркatalog, 2022. – 288 с.

УДК 621.95

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ В ПАКЕТАХ УГЛЕПЛАСТИК/ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ

Э. Ш. Джемилов¹,
Н. В. Захарова¹,
М. Р. Абкеримов¹,

(¹Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, Симферополь, Россия)

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности отверстий в пакетах углепластик/титановый сплав, а также измерения параметров глубины и характера микронеровностей. Полученные результаты обработаны с помощью программного продукта

Minitab 19 и построены графики зависимости анализируемых параметров. Полученные данные приведены отдельно для каждого обрабатываемого слоя пакета. В качестве исходных данных для анализа параметров шероховатости были использованы проколы измерения, полученные с помощью прибора Zeiss Surfcom 5000.

Ключевые слова: Пакет углепластик/титановый сплав, сверление, параметры шероховатости, режимы резания.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF CUTTING MODES ON SURFACE ROUGHNESS WHEN DRILLING HOLES IN CARBON FIBER/TITANIUM ALLOY STACKS

E. Sh. Dzhemilov¹,

N. V. Zaharova¹,

M. R. Abkerimov¹,

(¹ Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, Russia)

ABSTRACT

The article presents the results of experimental studies on the influence of cutting modes on the roughness of the machined surface of holes in carbon fiber/titanium alloy packages, as well as measurements of the depth parameters and the nature of microroughness. The obtained results are processed using the Minitab 19 software product and graphs of the dependence of the analyzed parameters are plotted. The obtained data are presented separately for each processed layer of the package. Measurement punctures obtained using the Zeiss Surfcom 5000 device were used as the initial data for the analysis of the roughness parameters.

Keywords: Carbon fiber/titanium alloy package, drilling, roughness parameters, cutting modes.

Введение. Качество отверстия в пакете углепластик/титановый сплав характеризуется следующими параметрами: в титановом сплаве – шероховатостью поверхности (R_a) [1], размерной точностью, геометрической точностью (отклонение от круглости) [2], размером выходной заусеницы [3]; в углепластике – коэффициентом расслоения (F_d) [4, 5], значением термического разрушения и повреждения (Q_d) [6]. В экспериментальных исследованиях чаще всего измеряются физические величины – осевая сила (F , Н) [1, 5], крутящий момент (M_c , Н·мм) [1, 5], температура резания (T , °С) [7], механизм формирования стружки [8], а также такие технические величины, как фаска износа [9] и период стойкости инструмента [8]. Вышеупомянутые параметры обычно используются для объяснения физической природы влияния режимов резания [3], геометрии и материала инструмента, а также влияния технологических сред [10] на показатели качества отверстий.

В исследовании влияния режимов резания было установлено, что сверление пакета углепластик/титановый сплав со скоростью резания $V = 45$ м/мин и подачей $S = 0,09$ мм/об сверлом с главным углом в плане 130° и углом подъема винтовой линии 20° обеспечивает диаметр отверстия в соответствии с Н9 и отклонением от круглости 0,015 мм. Было определено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на расслоение углепластика, являются подача [8] и главный угол в плане. На размер заусенцев в титановом сплаве в основном влияет минутная подача [3], инструментальный материал [1] и износ инструмента [9], хотя влияние последнего может быть уменьшено с помощью техники минимальной смазки (MQL) [10], криогенного сверления (LN2) [9], вибрационного сверления (VAD) и ультраскоростного сверления (UAD). По данным Xu и Mansori [11], шероховатость

поверхности в углепластике при сверлении пакета углепластик/титановый сплав в 3 раза хуже, чем при сверлении только углепластика, что объяснялось скольжением титановой стружки о стенку отверстия в слое углепластика [1].

Опираясь на результаты проведенного анализа научных публикаций, посвященных исследованиям процесса сверления пакетов углепластик/титановый сплав, можно заключить, что остается мало изученным влияние режимов резания на шероховатость обработанной поверхности в слоях пакета.

Цель статьи – исследовать влияние режимов резания на шероховатость обработанной поверхности отверстий в пакетах углепластик/титановый сплав, что позволит углубить понимание возможных резервов для технологического обеспечения отверстий.

Основная часть. В результате выполнения экспериментального исследования по изучению влияния режимов резания при сверлении на шероховатость поверхности и измерении определенных параметров были получены данные по глубине и характере микронеровностей. Длина измерения составляла 4 мм, базовая длина 0,8 мм. Полученные результаты были обработаны с помощью программного продукта Minitab 19, что позволило получить графики зависимости анализируемых параметров. Полученные результаты приведены отдельно для каждого обрабатываемого слоя пакета. В качестве исходных данных для анализа параметров шероховатости были использованы проколы измерения, полученные с помощью прибора Zeiss Surfcorm 5000.

Таким образом, значение шероховатости по параметру R_q в слое углепластика в зависимости от режимов резания варьировалось в диапазоне от 3 до 13,5 мкм (рис. 1 а). Локальный минимум значения параметра R_q наблюдался для подачи 0,05 мм/об. Влияние скорости резания для подачи 0,05 мм/об было не существенным, о чем свидетельствуют незначительные различия в значении параметра 3,0 – 3,7 мкм. Однако для комбинации режимов $v = 15 - 65$ м/мин, $s = 0,02$ мм/об шероховатость поверхности варьировалась в диапазоне $R_q = 4,75 - 8,65$ мкм, увеличиваясь с ростом скорости резания. Аналогичная динамика сохранилась и для режимов резания $v = 15 - 65$ м/мин, $s = 0,08$ мм/об. Наиболее неблагоприятным, с точки зрения обеспечения минимальной шероховатости, оказались режимы $v = 65$ м/мин, $s = 0,02$ мм/об и $v = 65$ м/мин, $s = 0,08$ мм/об (рис. 1 б).

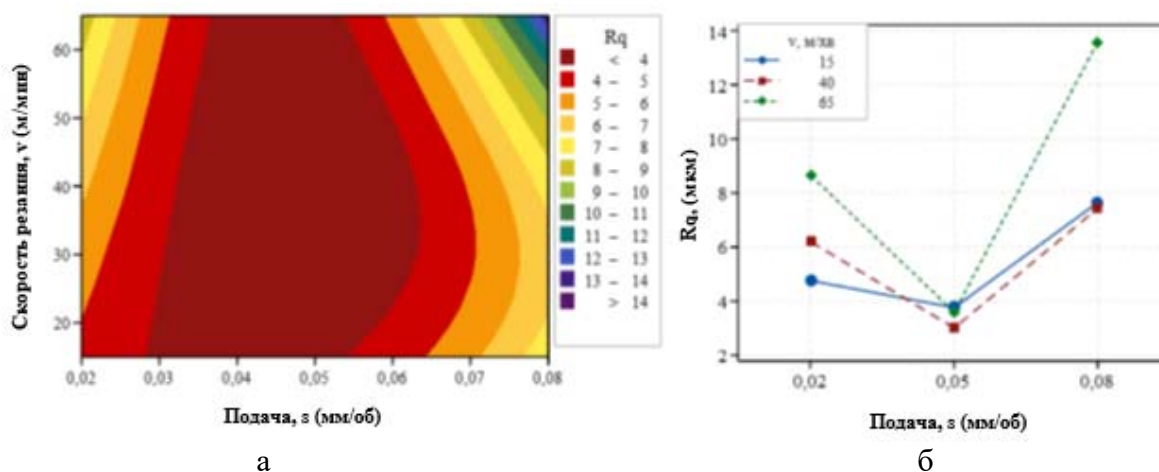


Рисунок 1. – Шероховатость поверхности отверстия в слое углепластика по параметру R_q

Анализ данных по параметру R_v как и для параметра R_q показал локальный минимум на режимах резания с подачей 0,05 мм/об, изменяясь в диапазоне от 8,7 до 11,05 мкм, хотя минимальное значение было получено на режиме $v = 65$ м/мин, $s = 0,05$ мм/об (рис. 2 а).

Учитывая, что параметр R_v характеризует максимальную глубину впадин на базовой длине, и учитывая, что подобные впадины являются концентраторами напряжений, что в условиях силового механического соединения слоев пакета крайне нежелательно, потенциально может являться фактором снижения ресурса соединения и предпосылкой расслоения слоев пакета, наиболее рациональным выглядит обработка с режимами $v = 40$ м/мин, $s = 0,05$ мм/об. Локальные максимумы параметра в исследуемом диапазоне режимов резания были измерены при $v = 65$ м/мин и $s = 0,02$ мм/об и $0,08$ мм/об соответственно (рис. 2 б).

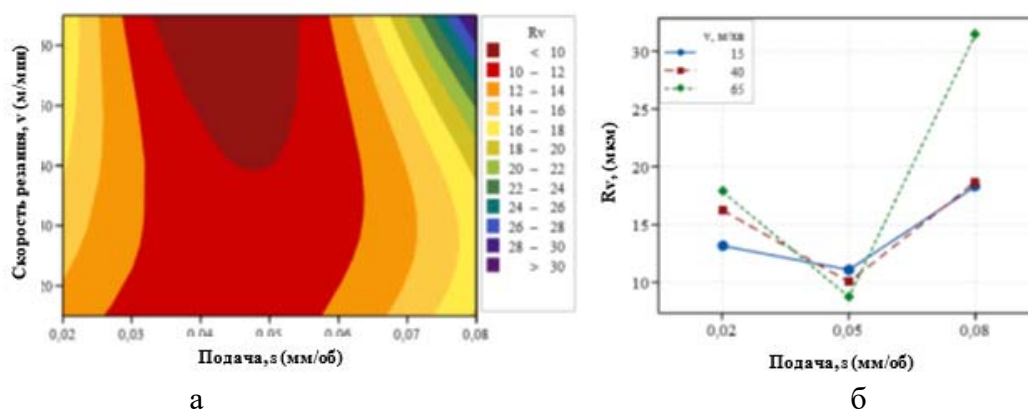


Рисунок 2. – Шероховатость поверхности отверстия в слое углепластика по параметру R_v

При анализе значений максимальных выступов и впадин, характеризующихся параметром R_t , минимумы параметра, варьировавшиеся в диапазоне 21,86 – 24,22 μm , были получены при подаче 0,05 мм/об уменьшаясь с увеличением скорости резания (рис. 3 а). Но в целом сочетание высокой скорости резания и подачи приводит к формированию наиболее неблагоприятной комбинации высоты выступов и впадин на микрорельефе обработанной поверхности, достигая 103,6 μm при режиме $v = 65$ м/мин и $s = 0,08$ мм/об, что является предпосылкой для абразивного воздействия стенки отверстия в слое углепластика на болтовое или заклепочное соединение и может привести к снижению ресурса соединения (рис. 3 б).

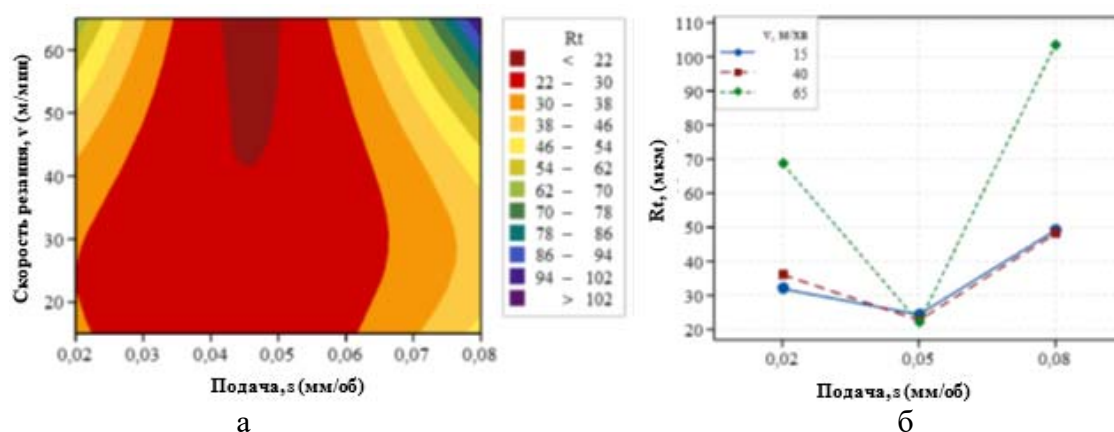


Рисунок 3. – Шероховатость поверхности отверстия в слое углепластика по параметру R_t

Средняя ширина частей профиля изменялась от 182 до 400 μm , что характеризует волнистость микрорельефа обработанной поверхности. Чем больше значение этого параметра, тем больше период появления впадин и вершин микронеровностей (рис. 4 а). Большие

значения ширины элементов профиля свидетельствуют об извлечении углеволокна из матрицы, что является значительным дефектом обработанной поверхности. Наименьшее значение $R_{Sm} = 182$ мкм было получено при обработке $v = 40$ м/мин и $s = 0,02$ мм/об, а наибольшее при $v = 40$ м/мин и $s = 0,08$ мм/об. Однако, рассматривая рассеяние результатов измерения в целом, следует отметить, что группирование минимума значения параметра R_{Sm} происходит на условной линии подачи 0,05 мм/об, изменяясь в пределах от 212 до 246 мкм (рис. 4 б).

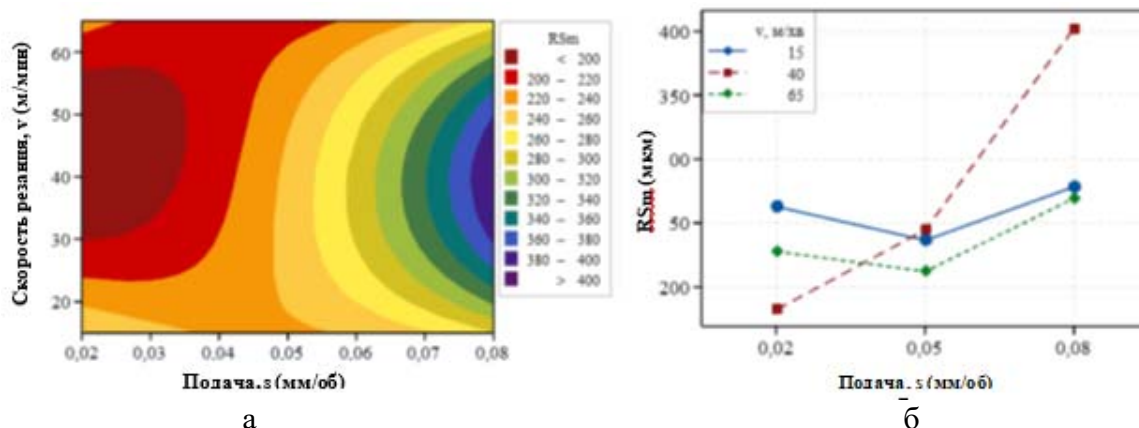


Рисунок 4. – Шероховатость поверхности отверстия в слое углепластика по параметру R_{Sm}

Значение шероховатости по параметру R_q в слое титанового сплава в зависимости от режимов резания варьировалось в диапазоне от 0,91 до 2,38 мкм (рис. 5 а). Локальный минимум значения параметра R_q в титановом сплаве, как в углепластике наблюдался при подаче 0,05 мм/об. Влияние скорости резания при подаче 0,05 мм/об было существенным, о чем свидетельствует различия в значении параметра 2,0 – 2,19 мкм, возрасавшего с увеличением скорости. Однако для комбинации режимов $v = 15$ м/мин – 65 м/мин, $s = 0,02$ мм/об шероховатость поверхности варьировалась в диапазоне $R_q = 2,22 – 2,38$ мкм, увеличиваясь с ростом скорости резания. Таким образом, уменьшение подачи даже в условиях роста скорости резания не обеспечило минимизацию значения параметра R_q микронеровностей. С ростом подачи до 0,08 мм/об рост скорости резания приводил к снижению значения параметра до 1,46 мкм (рис. 5 б). Снижение значений параметра R_q происходило при условии роста подачи и $v = \text{const}$. Сравнивая полученные результаты измерения шероховатости по R_q в титановом сплаве с аналогичным параметром в углепластике, следует отметить, что в слое углепластика рассеяние значений контролируемого параметра варьируется в большем диапазоне значений, что обусловлено анизотропией свойств слоя углепластика и соответственно большей чувствительностью к изменению режимов резания. Подобная тенденция наблюдается и по остальным параметрам измерений.

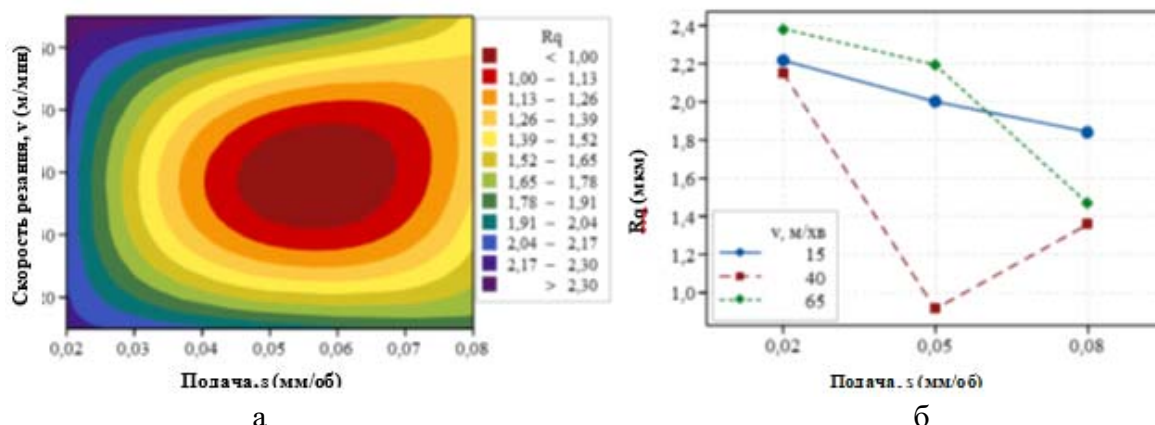


Рисунок 5 – Шероховатость поверхности отверстия в слое титанового сплава по параметру R_q

Минимальное значение наибольшей глубины впадины $R_v = 2,3$ μm было получено при сверлении на $v = 40$ м/мин , $s = 0,05$ мм/об , хотя в остальных опытах с ростом скорости резания значение параметра возрастало при $s = \text{const}$, что отличается от полученных результатов при измерениях в углепластике (рис. 6 а).

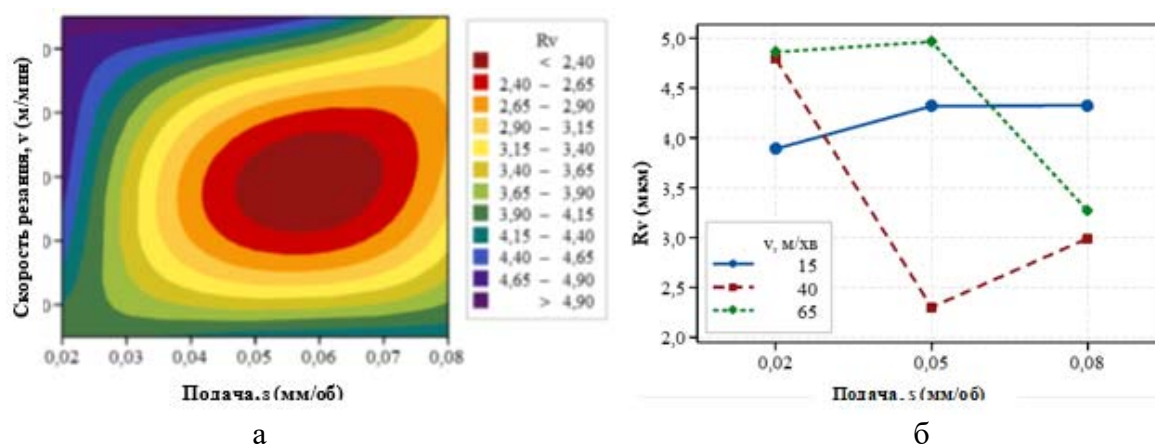
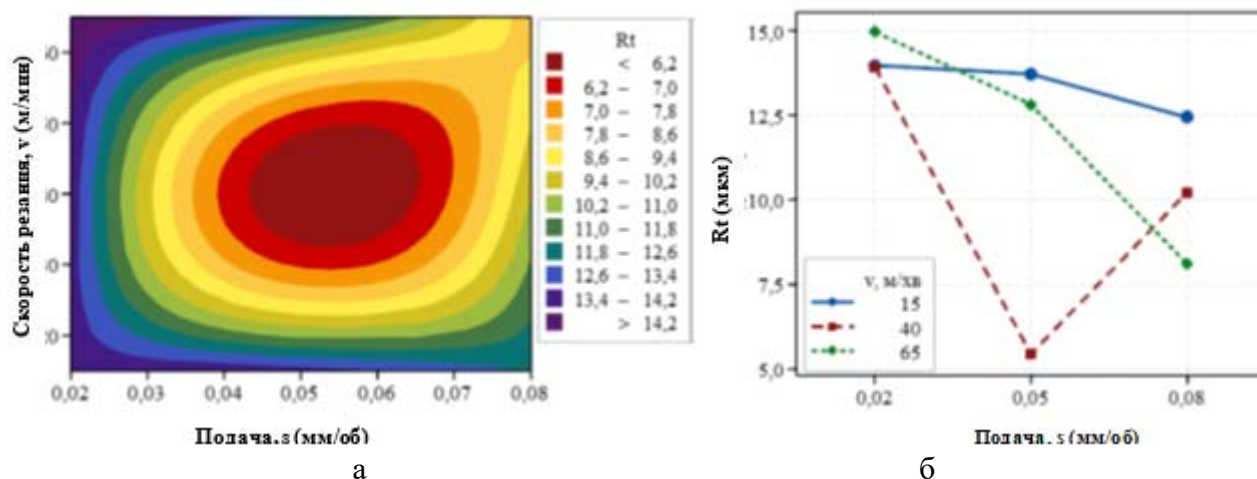


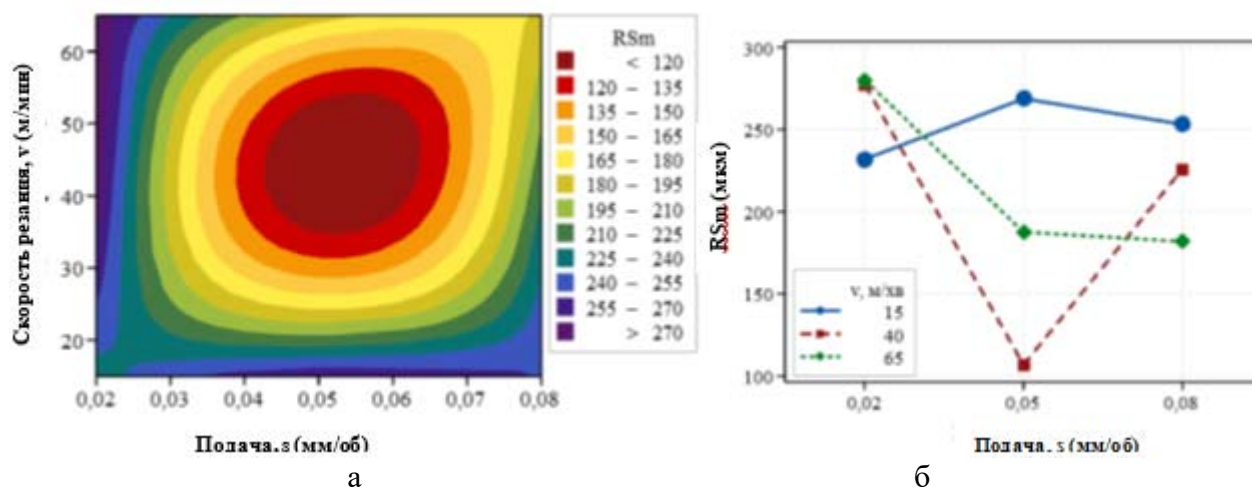
Рисунок 6 – Шероховатость поверхности отверстия в слое титанового сплава по параметру R_v

Сочетание высокой скорости резания и минимальной подачи привело к росту $R_v = 4,87$ μm , что колебалось в диапазоне от 3,89 до 4,87 μm . При росте подачи до максимальной произошло снижение параметра до (2,99-3,27 μm) таким образом, при больших значениях скорости резания уменьшалась глубина впадины (рис. 6 б).

Анализируя значение разности максимальных вершин и максимальных западов, было обнаружено, что сочетание минимальной подачи и скорости резания практически не влияет на значение параметра R_t при сверлении слоя титанового сплава, изменявшегося от 13,95 до 14,97 μm . Стремительное понижение $R_t = 5,4$ μm было получено при $v = 40$ м/мин , $s = 0,05$ мм/об (рис. 7 б). Следует отметить, что по сравнению с результатами измерения в углепластике, где параметр возрастал с увеличением подачи, в титановом сплаве наблюдается стойкий тренд к понижению параметра при увеличении подачи.

Рисунок 7 – Шероховатость поверхности отверстия в слое титанового сплава по параметру R_t

Средняя ширина частей профиля изменялась от 106,7 до 280,52 μm , что характеризует волнистость микрорельефа обработанной поверхности. Наименьшее значение $R_{Sm} = 106,7$ μm было получено при обработке $v = 40$ m/min и $s = 0,05$ mm/rev , в то время как наибольшее при $v = 40$ m/min и $s = 0,08$ mm/rev . Максимальное значение параметра было получено при $v = 40 - 65$ m/min и $s = 0,02$ mm/rev . Анализируя кривые зависимости, изолированно друг от друга, бросается в глаза стабильность параметра R_{Sm} при обработке $v = 15$ m/min и $s = 0,02 - 0,08$ mm/rev , что может свидетельствовать о достижении баланса возмущающих сил (силы резания) и реакции обрабатываемого материала (физико-механических свойств), хотя показатели параметра R_{Sm} при этих режимах имеются в среднем наибольшие по сравнению с другими режимами резания (рис. 8). При обработке $v = 65$ m/min и $s = 0,02 - 0,08$ mm/rev значения параметра R_{Sm} подчиняются тренду к понижению при увеличении подачи.

Рисунок 8. – Шероховатость поверхности отверстия в слое титанового сплава по параметру R_{Sm}

Заключение. Анализ результатов измерения показал, что минимальные или близкие к минимальным значениям среднеквадратичного отклонения профиля микронеровностей, полной высоты, максимальной глубины впадин на базовой длине и средней ширины элементов были получены при $v = 40$ m/min и $s = 0,05$ mm/rev .

3. Группировка локальных минимумов анализируемых параметров шероховатости поверхности в слое титанового сплава происходила вокруг значений, полученных при обработке с $v = 40$ м/мин и $s = 0,05$ мм/об.

4. Определено, что при обработке слоя углепластика значение анализируемых параметров шероховатости подчиняется тренду к увеличению параметров при увеличении подачи, в то время как при сверлении слоя титанового сплава наоборот к понижению, за исключением ставших локальными минимумами.

5. Наглядно было доказано, что комбинация скорости резания 40 м/мин и подачи 0,05 мм/об позволяет обеспечить минимальные значения анализируемых параметров микрорельефа обработанной поверхности, как в слое углепластика, так и титанового сплава.

Список литературы

1. Kim, D. and M. Ramulu, Drilling process optimization for graphite/bismaleimide-titanium alloy stacks. *Composite Structures*, 2004. 63(1): p. 101-114.
2. Isbilir, O. and E. Ghassemieh, COMPARATIVE STUDY OF TOOL LIFE AND HOLE QUALITY IN DRILLING OF CFRP/TITANIUM STACK USING COATED CARBIDE DRILL. *Machining Science and Technology*, 2013. 17(3): p. 380-409.
3. Abdelhafeez, A.M., et al., Burr formation and hole quality when drilling titanium and aluminium alloys. *Cirpe 2015 - Understanding the Life Cycle Implications of Manufacturing*, 2015. 37: p. 230-235.
4. Chen, W.C., Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1997. 37(8): p. 1097-1108.
5. Xu, J.Y., et al., On the analysis of temperatures, surface morphologies and tool wear in drilling CFRP/Ti6Al4V stacks under different cutting sequence strategies. *Composite Structures*, 2020. 234.
6. Voss, R., et al., Evaluation of bore exit quality for fibre reinforced plastics including delamination and uncut fibres. *Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2016. 12: p. 56-66.
7. Giasin, K., et al., The effect of cutting tool coating on the form and dimensional errors of machined holes in GLARE (R) fibre metal laminates. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020. 107(5-6): p. 2817-2832.
8. Sauer, K., M. Dix, and M. Putz, Process Forces Analysis and a New Feed Control Strategy for Drilling of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastics (UD-CFRP). *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2018. 2(3): p. 7.
9. Basmaci, G., et al., Impact of Cryogenic Condition and Drill Diameter on Drilling Performance of CFRP. *Applied Sciences-Basel*, 2017. 7(7): p. 12.
10. SenthilKumar, M., A. Prabukarthi, and V. Krishnaraj, Study on Tool Wear and Chip Formation during Drilling Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)/Titanium Alloy (Ti6Al4V) Stacks. *International Conference on Design and Manufacturing (Icondm2013)*, 2013. 64: p. 582-592.
11. Xu, J. and M. El Mansori, Experimental studies on the cutting characteristics of hybrid CFRP/Ti stacks. *Procedia Manufacturing*, 2016. 5(1): p. 270-281.

УДК 621.454

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ЛЕНТОЧНОМ РОТАЦИОННОМ ШЛИФОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*Т.В. Стадник¹,
А.В. Пахалюк¹,
А.В. Харитонов¹*

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Детали из длинномерных заготовок круглого сечения цветных металлов, таких как алюминиевые и титановые сплавы присутствуют в составе наиболее наукоемких и сложных видов изделий, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхностного слоя, например R_a 1,25-0,32. Для обеспечения заданных показателей качества необходима разработка стохастических нестационарных моделей, адекватно описывающих поведение технологической системы и оборудования. В данной статье представлена математическая модель оценки выходных параметров качества при ленточном ротационном шлифовании алюминиевых и титановых сплавов. Для проверки ее адекватности реальному процессу проводились экспериментальные исследования, относительная погрешность расчетных и экспериментальных данных составила не более 15%. Предлагаемая математическая модель может быть широко использована для решения вопросов обеспечения качества обработки.

Ключевые слова: шлифование, абразивная лента, ротационное ленточное шлифование, шероховатость поверхности, среднее арифметическое отклонение профиля

MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING OUTPUT QUALITY PARAMETERS IN ROTARY BELT GRINDING OF ALUMINUM AND TITANIUM ALLOYS

*T.V. Stadnik¹,
A.V. Pakhaliuk¹,
A.V. Haritonov¹*

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation;

ABSTRACT

Parts made of long round blanks of non-ferrous metals, such as aluminum and titanium alloys, are present in the composition of the most science-intensive and complex types of products, which are subject to high requirements for the quality of the surface layer, for example, R_a 1.25-0.32. To ensure the specified quality indicators, it is necessary to develop stochastic non-stationary models that adequately describe the behavior of the technological system and equipment. This article presents a mathematical model for assessing the output quality parameters in rotary belt grinding of aluminum and titanium alloys. To verify its adequacy to the real process, experimental studies were carried out, the relative error of the calculated and experimental data was no more than 15%. The proposed mathematical model can be widely used to solve issues of ensuring the processing quality.

Keywords: grinding, abrasive belt, rotary belt grinding, surface roughness, arithmetic average profile deviation

Постановка проблемы. Современная экономика предъявляет все более высокие требования к сложности изделий машиностроения. Детали из длинномерных заготовок круглого сечения цветных металлов, таких как алюминиевые и титановые сплавы присутствуют в составе наиболее наукоемких и сложных видов изделий, таких как направляющие, шпангоуты подводных аппаратов и другие с высокими требованиями по качеству поверхностного слоя, например, R_a 1,25-0,32 [1-2].

Одним из наиболее эффективным методом обработки указанных деталей является ленточное шлифование [3-7]. Операции шлифования подобных материалов усложнены нестандартными размерами не является тривиальными и требуют серьезного научного осмысления, проведения ряда экспериментов и выявления закономерностей в процессе обработки. Процесс шлифования лентами имеет вероятностную природу. Для обеспечения заданных показателей качества при максимальной производительности процесса ленточного шлифования необходима разработка стохастических нестационарных моделей, адекватно описывающих поведение технологической системы и оборудования, позволяющего обрабатывать длинномерные изделия [6-8].

Цель статьи: разработка математической модели выходных параметров качества при ленточном ротационном шлифовании и проверка ее адекватности.

Основная часть. Для разработки математической модели выходных параметров качества процесс ленточного ротационного шлифования рассматривался как динамическая система, где процесс формообразования поверхности исследовался не только в пространстве, но и во времени. На основе системного анализа и основных положений теории абразивной обработки [10-11] установлены взаимосвязи и закономерности описывающие поведение технологической системы и оборудования на операциях ленточного ротационного шлифования, учитывающие их стохастическую природу, которые позволяют обеспечить гарантированное качество обработки изделий [6-8]. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a может быть вычислено по площади выступов F_1 и площади впадин F_2 , измеренных от средней линии профиля (рисунок 1). Так как $dF_1 = t_p l dy_m$ и $dF_2 = (1 - t_p) l dy_m$, то

$$R_a = \int_0^{\infty} t_p dy_m + \int_{-\infty}^0 (1 - t_p) dy_m, \quad (1)$$

где l – длина базового участка, мм; y_m – расстояние уровня до средней линии профиля, мм; t_p – относительная опорная длина профиля.

Вычисление R_a по данной зависимости возможно при использовании численных методов интегрирования.

Новоселовым Ю.К. получена зависимость [10]:

$$R_a = \frac{2}{\pi G v \sum_{i=0}^n (W_m - i \Delta r)^{v-1}}. \quad (2)$$

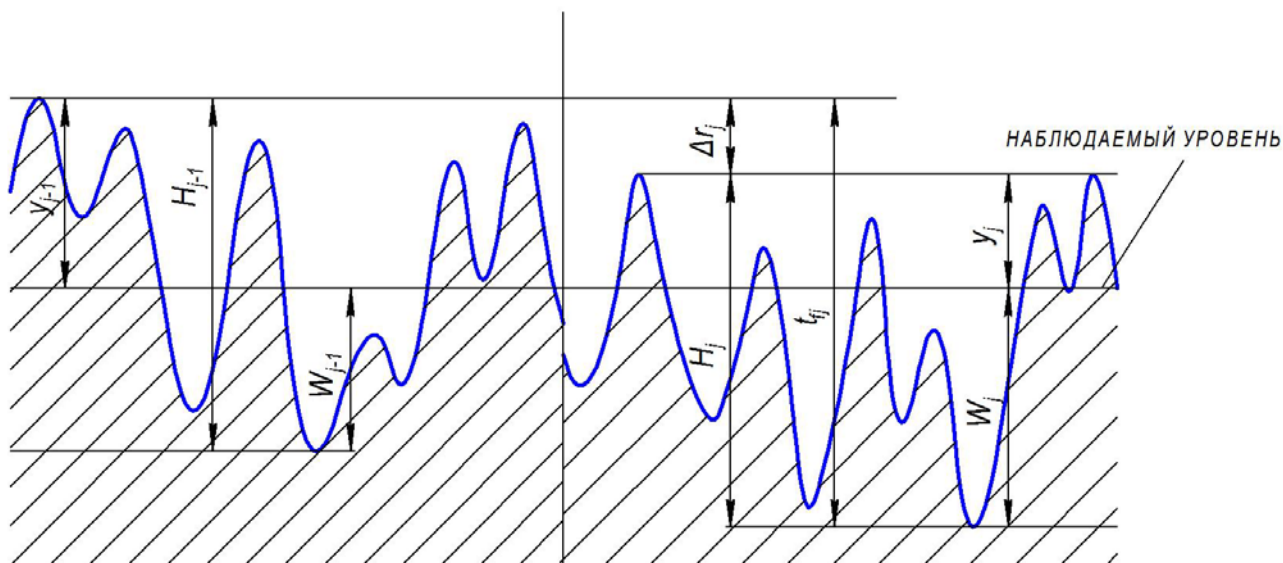


Рисунок 1. Схема к расчету относительной опорной длины профиля

На основе зависимости 2 для расчета среднего арифметического отклонения профиля R_a шлифуемой поверхности для процесса ленточного ротационного шлифования предложены зависимости для случаев, когда зерна абразивной ленты находятся выше средней линии шероховатости ($\Delta r < W_m$) и ниже нее ($\Delta r \geq W_m$):

– для случаев, когда $\Delta r < W_m$:

$$R_a = \frac{H_u^{\frac{3}{2}} V_p}{0,03\pi K_c n_g V_l \sqrt{\rho_g} d \varepsilon \sum_{i=0}^n (W_m - i\Delta r)} \quad (3)$$

– для случаев, $\Delta r \geq W_m$:

$$R_a = \frac{\sqrt[5]{V_p^2} \sqrt[5]{\left(\Delta r + (544,5 H_u^{\frac{3}{2}} V_p / K_c n_g V_l \sqrt{\rho_g} d \varepsilon)^{\frac{1}{2}} \right)^3}}{4 \sqrt[5]{\left(K_c (V_l \pm V_p) n_g \right)^2} \sqrt[5]{d \rho_g}} \quad (4)$$

где K_c – коэффициент стружкообразования, учитывающий, что не весь материал удаляется из объема риски, а часть его вытесняется и образует по краям риски навалы; n_g – количество зерен в единице объема рабочего слоя инструмента; ρ_g – радиус округления при вершине зерна; H_u – величина слоя рабочей поверхности ленты, в пределах которого подсчитывается n_g ; V_l – скорость абразивной ленты; V_p – скорость перемещения пятна контакта при вращении планшайбы; t_f – фактическая глубина микрорезания; d – диаметр заготовки; ε – угол охвата абразивной лентой заготовки.

Для практического использования полученных теоретических зависимостей проведены экспериментальные исследования для проверки их адекватности реальному процессу, которые были выполнены в лабораторных условиях Севастопольского государственного университета на специально разработанном оборудовании (рисунок 2) и в производственных условиях ряда машиностроительных предприятий.

Экспериментальные исследования были проведены на образцах (прутки круглого сечения, диаметром 10-50 мм, нормальной точности изготовления, длиной 3000 мм) из алюминия и алюминиевых сплавов А97, Д16; титановых сплавов ВТ5, ВТ3-1 и ВТ8М.

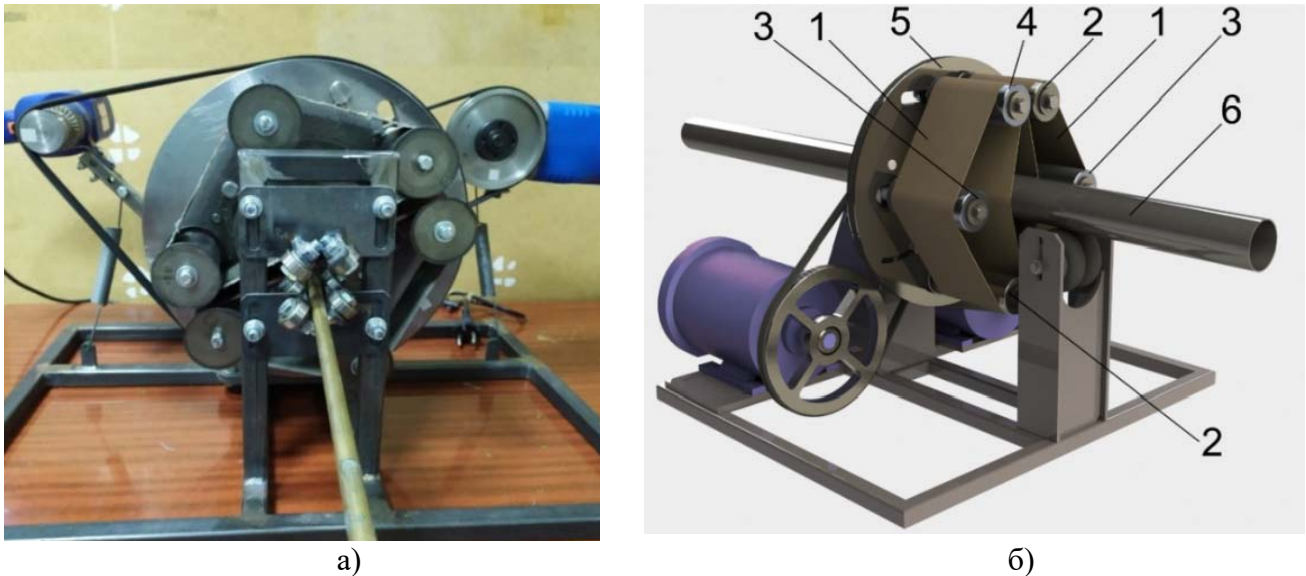


Рисунок 2. Экспериментальная установка для исследования процесса ленточного ротационного шлифования: а) общий вид экспериментальной установки; б) модель экспериментальной установки для исследования процесса ленточного ротационного шлифования: 1 – абразивные ленты; 2 – ведущие ролики; 3 – натяжные ролики; 4 – ведомые ролики; 5 – планшайба; 6 – обрабатываемая деталь

В ходе экспериментов оценивалось влияние на показатели процесса шлифования параметров характеристик ленты, в том числе: материала абразивного зерна (электрокорунд белый, карбид кремния зеленый; зернистости абразивных лент (P40, P60, P80, P120, P150, P220, P240). Выбор таких материалов и характеристик шлифовальных лент обусловлен их широким использованием на машиностроительных предприятиях. Диапазон исследуемых режимов резания определялся по существующим рекомендациям. Шероховатость поверхности измеряли с помощью профилометра Mitutoyo Surftest SJ-210.

Экспериментальные исследования шероховатости поверхности в зависимости от времени шлифования представлены на рисунке 3. Шлифование проводили в 5 проходов с СОТС, натяжение ленты поддерживали постоянной.

Анализ полученных данных подтверждает адекватность разработанных теоретических моделей, реальному процессу, относительная погрешность расчетных и экспериментальных данных не превышает 15%.

Проведены исследования зависимости шероховатости поверхности от зернистости абразивного инструмента H , глубины резания t (усилия прижима абразивной ленты к детали), скорости резания V , подачи детали S_{np} при шлифовании с СОТС и без СОТС материалов А97 и

Д16. Шероховатость обработанной поверхности алюминиевых сплавов увеличивается при снижении предела текучести σ_T (твердости НВ) сплава.

Применение СОТС, с выраженным смазывающим действием, снижает шероховатость обработанной поверхности R_a в 1,5-2 раза. Из рассмотренных факторов на шероховатость поверхности наибольшее влияние оказывает зернистость абразивного инструмента H и глубина резания t (усилие прижима абразивной ленты к детали). Наименьшее влияние оказывает скорость резания V_l . Увеличение зернистости H , глубины резания t , подачи детали S_{np} повышают шероховатость, а увеличение скорости шлифования снижает шероховатость поверхности. Аналогичные зависимости выявлены и при шлифовании титановых сплавов.

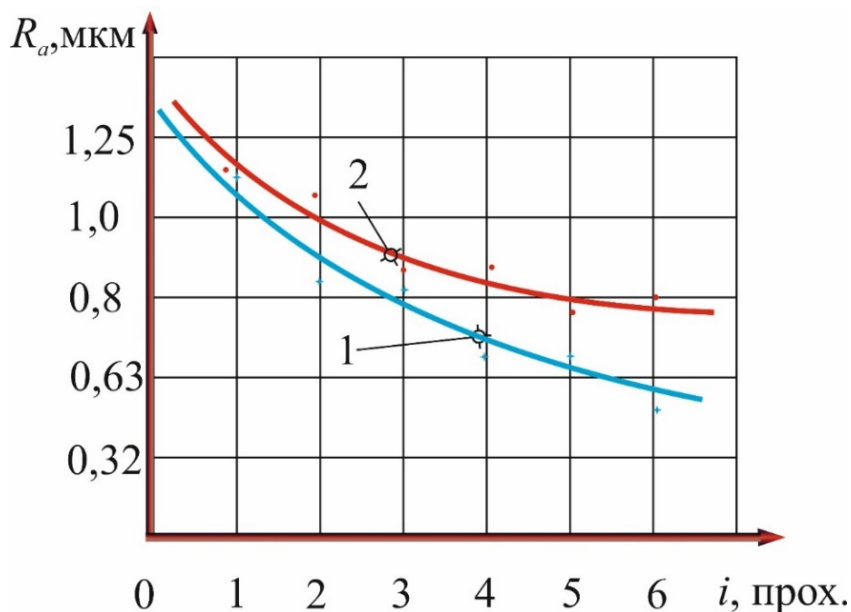


Рисунок 3. Изменение шероховатости поверхности в зависимости от времени шлифования лентой из карбида кремния зеленого зернистостью Р240: 1 – шлифование сплава ВТ3-1 ($d=30$ мм, $V_l=25$ м/с, $S_{np}=2$ м/мин, $P_y=30$ Н); 2 – шлифование сплава Д16 ($d=30$ мм, $V_l=20$ м/с, $S_{np}=2$ м/мин, $P_y=15$ Н)

На рисунках 4, 5, 6 представлены шлифованные поверхности титанового сплава ВТ3-1 карбидом кремния зеленого на различных режимах обработки.

Качество обработки титановых сплавов зависит от режимов шлифования. При увеличении скорости ленты возрастает контактная температура в зоне резания и увеличивается химическая активность титановых сплавов, что приводит к их интенсивному взаимодействию с абразивным материалом. Происходит налипание металла на абразивные зерна и заполнение им межзеренного пространства, что приводит к снижению качества шлифуемой поверхности. Невысокие скорости резания также приводят к износу абразивной ленты в связи с увеличением нагрузки на абразивное зерно, что ухудшает качество обработанной поверхности. На обработанной поверхности различимы задиры и внедрившиеся наросты. При невысоких скоростях резания $V_l = 10-15$ м/с (рисунок 4) нагрузка на абразивное зерно возрастает, это приводит к более интенсивному износу абразивной ленты и ухудшению качества обработанной поверхности R_a 1,0...1,25 мкм. При скоростях резания $V_l=15-20$ м/с (рисунок 5) качество поверхности соответствует R_a 0,8...1,0 мкм, на поверхности меньше задиры и внедрившихся

наростов. При скорости ленты $V_f=20-25$ м/с (рисунок 6) качество поверхности соответствует $R_a 0,63...0,8$ мкм.

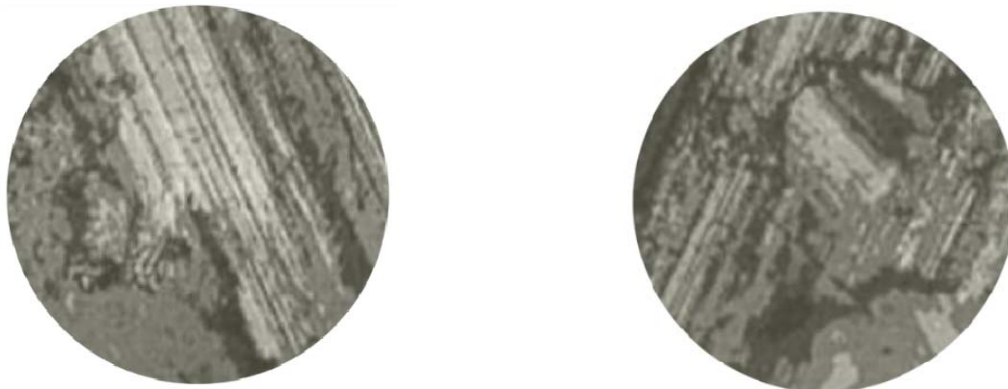


Рисунок 4. Шлифованная поверхность титанового сплава BT3-1 (x1000) лентами из карбида кремния зеленого зернистостью P220 при $V_f=10-15$ м/с

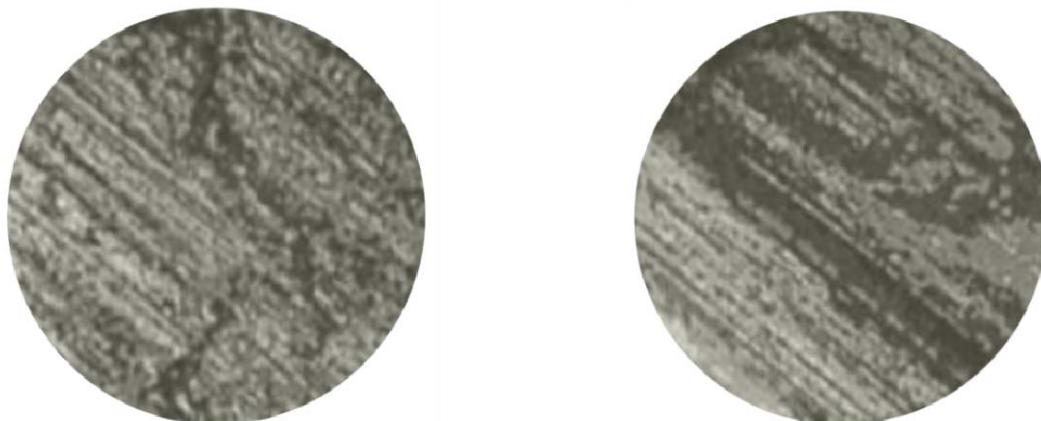


Рисунок 5. Шлифованная поверхность титанового сплава BT3-1 (x1000) лентами из карбида кремния зеленого зернистостью P220 при $V_f=15-20$ м/с

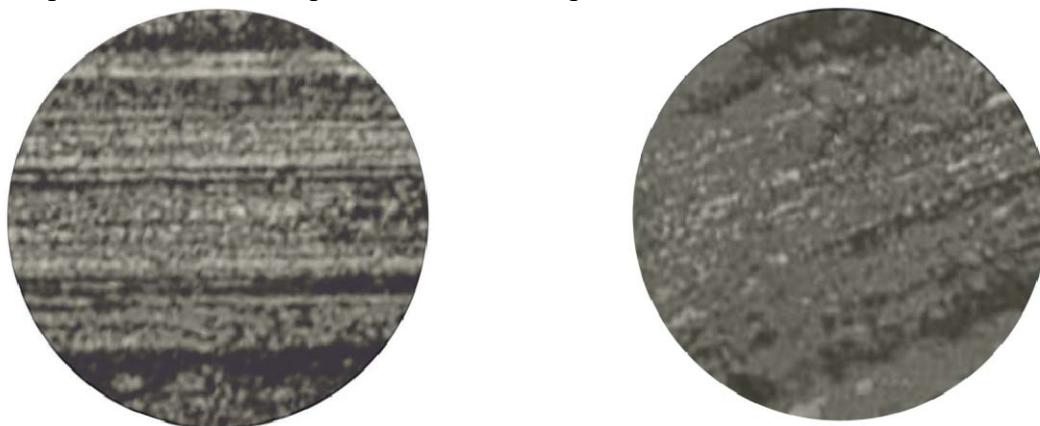


Рисунок 6. Шлифованная поверхность титанового сплава BT3-1 (x1000) лентами из карбида кремния зеленого зернистостью P220 при $V_f=20-25$ м/с

Выводы. Шероховатость обработанной поверхности алюминиевых и титановых сплавов находится в прямой зависимости от тепловых и силовых явлений, происходящих в зоне резания. Анализ полученных данных подтверждает адекватность разработанной теоретической модели реальному процессу, относительная погрешность расчетных и

экспериментальных данных не превышает 15%. Предлагаемая математическая модель может быть широко использована для решения вопросов обеспечения качества обработки.

Список литературы

1. Бубнов В.А. Титан и его сплавы в машиностроении / В.А Бубнов, А.Н. Князев // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 3 (42). – С. 92-96.
2. Bratan S. Application of Combined Taps for Increasing the Shaping Accuracy of the Internal Threads in Aluminium Alloys / S. Bratan, P. Novikov, S. Roshchupkin // Procedia Engineering. 150 (2016) 802–808.
3. Вerezуб В.Н. Шлифование абразивными лентами. / В.Н. Вerezуб. - М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
4. Лурье Г. Б. Шлифование абразивными лентами / Г. Б. Лурье. – Москва: Высш. шк., 1980. – 47 с.
5. Шиляев С. А. Исследование системы управления процессом обработки длинномерных нежестких заготовок на устройстве ротационного ленточного охватывающего шлифования / С. А. Шиляев // Наука и образование: науч. изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – № 2. – С. 9.
6. Bratan S. Theoretical-probabilistic model of the rotary belt grinding process / S. Bratan, A. Kolesov, S. Roshchupkin, T. Stadnik // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01078.
7. Stadnik T. Investigation of diamond elastic belts characteristics effect on rotary belt grinding process output performance / Stadnik T., Sidorov D., Kharchenko A. // Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, 2017. – Pp. 1415-1418.
8. Стадник Т.В. Повышение эффективности обработки длинномерных цилиндрических заготовок из алюминиевых и титановых сплавов на операциях ленточного ротационного шлифования: диссертация... к-та техн. наук: 2.5.5. / Стадник Татьяна Валерьевна. – Севастополь, 2022. – 198 с.
9. Братан С.М. Баланс перемещений в технологической системе при ленточном ротационном шлифовании/ С.М. Братан, Т.В. Стадник, А.Г. Колесов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – Вып. 8., ч. 1. – С. 270-275.
10. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 317 с.
11. Bratan S.M. Influence of the tool working surface state on evaluation of the forming filter parameters / S.M. Bratan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 709(2), 022009.

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Е.А. Левченко¹
И.Е. Болотников¹
О.В. Светличная¹*

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

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований влияния параметров высокоскоростной лазерной абляционной резки, таких как мощность лазера, скорость сканирования, размер пучка фокусировки, интенсивность лазерного излучения и энергопотребление на единицу длины. Качество кромок реза и геометрические размеры разреза были оценены с помощью электронного микроскопа и цифровых фотографий оптического микроскопа. Результаты высокоскоростной лазерной резки были изучены с помощью высокоскоростной камеры, что дало возможность оценить преимущества лазерной абляционной резки.

Ключевые слова: абляционная резка, лазерное излучение, сканирование, глубина абляции.

STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF LASER ABLATION ON THE QUALITY OF PROCESSED PARTS

*E.A. Levchenko¹,
I.E. Bolotnikov¹
O.V. Svetlichnaya¹*

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation;

ABSTRACT

The article presents the results of the study of the influence of high-speed laser ablation cutting parameters, such as laser power, scanning speed, focusing beam size, laser intensity and energy consumption per unit length. The quality of the cutting edges and the geometric dimensions of the cut were assessed using an electron microscope and digital photographs of an optical microscope. The results of high-speed laser cutting were studied using a high-speed camera, which made it possible to evaluate the advantages of laser ablation cutting.

Keywords: ablative cutting, laser radiation, scanning, ablation depth.

Введение. Лазерная обработка материалов показала свои возможности в нескольких промышленных видах деятельности в областях макро- и микроисследований. Некоторые примеры микроисследований с использованием импульсных лазеров включают процесс лазерной абляционной резки.

Более того, качественные результаты процесса лазерной абляции могут быть такими же прогрессивными, как и традиционные промышленные процессы обработки, а в некоторых

случаях даже лучше, как при микросверлении. Эволюция длительности импульса также способствовала расширению исследований, предлагая сверхкороткие импульсы от нано (нс) до фемтосекундной (фс) длительности [1]. Таким образом, взаимодействие пикосекундных (пс) и фемтосекундных лазерных импульсов с материалом высвобождает возможность почти «холодной абляции», когда время поглощения энергии достаточно короткое, чтобы удалить материал и избежать побочных эффектов, таких как ожоги, образование плазмы, возникновение трещин и шероховатость поверхностей [2]. Это преимущество позволяет использовать его для исследований, которые стремятся к повышению качества поверхности обработанных деталей с более высокими скоростями процесса абляции.

В последние годы концепция импульсного режима была разработана производителями лазерных источников; тем не менее, его физическая связь и воздействие на различные материалы известны лишь частично. Первые подходы к применению импульсного режима лазерной абляции показали соответствующий результат, в основном в скорости удаления материала. Кроме того, предварительные исследования сделали интересные выводы в области обработки поверхности. Однако обширные исследования с некоторыми материалами могут стать дорогостоящими и трудоемкими. Это ставит под угрозу его экономическую целесообразность и, как следствие, его конечное промышленное применение. Титан или поликристаллические алмазы являются некоторыми примерами тех материалов, которые имеют высокую стоимость и где необходимо учитывать экономическую целесообразность при проведении эксперимента [3, 4 и 5].

Целью данной статьи является изучение подхода к определению значимости режима импульсов среди выбранных переменных лазерной абляции с точки зрения шероховатости и скорости абляции.

Основная часть. В результате проведения эксперимента было исследовано высокоскоростное лазерное испарение для резки нержавеющей стали X5CrNi 18-10 (AISI 304) с использованием двух различных одноимпульсных волоконных лазеров производства IPG. Лазеры работали в непрерывном режиме на длине волны 1070 нм с максимальной выходной мощностью лазера 3 кВт и 5 кВт соответственно. Кроме того, используемая станция лазерной обработки была оборудована гальванометрическим сканером Superscan SC 30 (Raylase AG) и призматическим сканером диаметром 10 дюймов (Lincoln laser). Максимальные значения применяемых параметров обработки представлены в таблице 1.

Режим облучения состоял из нескольких линейных сканирований длиной до 50 мм, в то время как плоскость фокусировки соответствовала поверхности образца. Положение фокусировки лазерного луча в высоком блеске лазерной обработки [6], избегалось благодаря задержке в одну секунду между последовательными проходами лазерного луча. Качество края реза оценивалось по микрофотографиям электронного микроскопа. Глубина и чистая поперечная площадь сечения кромок реза оценивались с помощью цифровых оптических микроскопических изображений, сделанных с поперечных полированных сечений. Кроме того, образование заусенцев на крае реза также было оценено количественно. В дополнение к этому, для получения информации о процессе резания использовалась усиленная высокоскоростная камерная система (HSFC-Pro, PCO AG).

Таблица 1. Параметры лазерной обработки

длина фокусного расстояния [мм]	160	230	330	500
размер пятна лазера d_{86} [мкм]	16,5	21	32	60
макс. мощность лазера на деталь P_{cw} [кВт]	2.65	4.3		

макс. интенсивность на деталь $I_{\max}$ [Вт/см ²]		$2,5 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^8$
Максимальная скорость сканирования v SC [м/мин]	гальванометрический сканер	900	1200	2100	2700
	полигон сканер	-	2250	-	-

В начале глубина абляции оценивалась с учетом размера пятна лазерного луча, удельной мощности лазерного излучения и скорости сканирования с использованием гальванометрического сканера. Глубина абляции определяется толщиной материала, который можно разрезать. На рисунке 1 представлен набор резов, полученных с увеличением числа сканирований [7]. Хотя в результате одной сканирующей абляции лазером был получен V-образный рез (рисунок 1,а), с увеличением числа сканирований резы превращаются в U-образную форму. Кроме того, на стенках реза отложился расплавленный материал, вызванный выталкиванием расплава в результате сильного течения в зоне реза. Соответственно, на рисунке 1,б) показаны отдельные слои застывшего материала вблизи входа в рез, но с увеличением глубины абляции отчетливо видно сужение реза (рисунок 1,с).

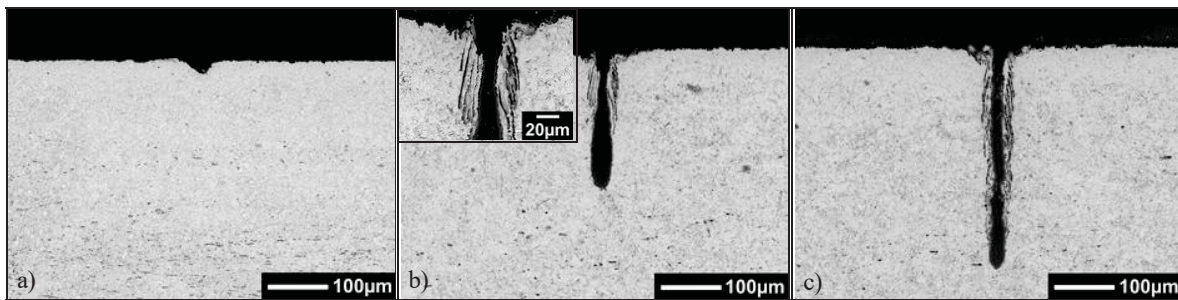


Рисунок 1. Поперечные сечения разрезных кромок, полученные с различным количеством сканирований, параметры:

$P_{cw} = 0,86$ кВт, $d_{86} = 21$ мкм, $v_{sc} = 1200$ м/мин; а) 1 сканирование, б) 10 сканирований, в) 20 сканирований

Максимальная ширина резки 200 мкм была получена только с небольшим количеством сканирования и небольшой глубины абляции, соответственно. Кроме того, 10 мкм и 100 мкм с увеличением глубины абляции, была вызвана массивным отложением расплава. В результате ширина резки была оценена неубедительно, и поэтому она не была принята в обсуждение как значительный параметр оценки. В результате резка лазерной абляции оценивалась по скорости объема абляции, определяемой на основе области площади поперечного сечения режущей кромки. Действительно, на скорость объемной абляции в основном влияет отложение расплава, но на объемную абляцию сильнее влияет глубина абляции вместо ширины резки [8-10].

На рис. 2 представлены результаты влияния глубины абляции в зависимости от количества сканирований, полученных с помощью скорости сканирования 900 м/мин, размера точки 21 мкм и различных мощностей лазера в диапазоне от 0,43 кВт до 4,3 кВт. Как видно, первоначально глубина эрозии увеличивается почти линейно с увеличением количества сканирований. С более высоким количеством сканирований форма кривой становится все

более и более регрессивной и, наконец, стабилизируется на определенном количестве сканирований.

Например, исследованиями было установлено, что при эрозионной резке с мощностью лазера 0,43 кВт, глубина эрозии стабилизируется на уровне 200 мкм после 10 сканирований. При двойной мощности лазера 0,86 кВт и более чем 30 сканирований глубина эрозии не увеличивается значительно, приближаясь к предельной глубине эрозии 600 мкм. Кроме того, были идентифицированы два эффекта, которые в основном влияют на количество удаленного материала в отношении эффективности эрозии: парообразование материала в сочетании с образованием плазмы и выталкиванием расплава из пазовой кромки за счет давления плазмы. Кроме того, полученные результаты показывают, что более высокая интенсивность падающего лазерного луча, контролируемая мощностью лазера, повышает степень испарения материала. В результате давление плазмы повышается, что сопровождается большим количеством расплавленного материала, выбрасываемого из реза.

Таким образом, более высокий уровень лазерной мощности поддерживает процесс абляции, что приводит к увеличению глубины абляции. Но, выталкивание расплава затрудняется при достижении характерной глубины абляции из-за повторного застывания расплава на стенках резных кернов.

Согласно этому, более регрессирующий ход глубины абляции при большом количестве сканирований указывает на более низкую эффективность процесса абляции на более глубоких глубинах абляции.

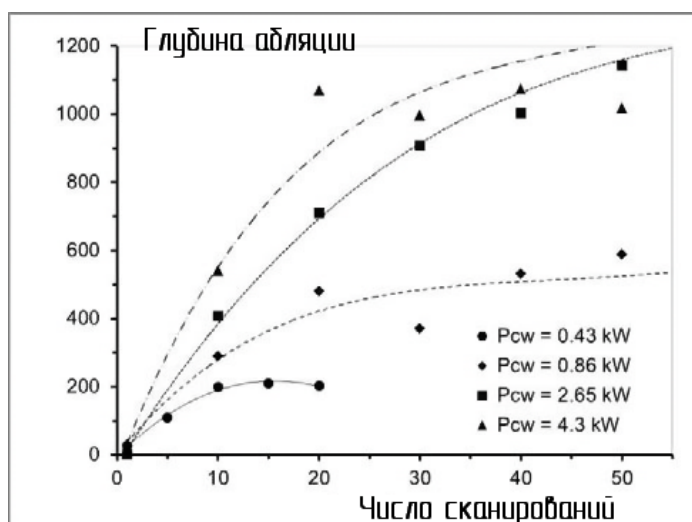


Рисунок 2. Глубина абляции в зависимости от числа сканирований для различных уровней лазерной мощности, параметры: $d_{86} = 21 \text{ }\mu\text{m}$, $v_{sc} = 900 \text{ м/мин}$

Максимальная глубина абляции, достигнутая в пределах исследованного параметрического набора, находилась в диапазоне 1 мм. Из рис. 2 видно, что глубина абляции 1 мм может быть достигнута как с мощностью лазера 4,3 кВт и 20 сканирований, так и с мощностью лазера 2,65 кВт и 40 сканирований. Средняя скорость резания, равная делению скорости сканирования на примененное количество сканирований, составляет 45 м/мин для 20 сканирований при мощности лазера 4,3 кВт. Но средняя скорость резания составляет только половину при более низком уровне лазерной мощности и 40 сканированиях, несмотря на значительно более высокий общий входящий уровень лазерной мощности в виде произведения

мощности лазера и числа сканирований. Это результат поддерживает сделанное выше предположение о том, что уровень ионизированного зависит от мощности лазера и будет влиять на процесс абляции. Более того, при глубине абляции 0,5 мм и мощности применяемого лазера 4,3 кВт совокупную скорость резки удалось увеличить до 97 м/мин. Таким образом, средняя скорость резания превышает максимальную скорость 75 м/мин, достигнутую с мощностью лазера 2,65 кВт, как указано в [7], и даже превышает теоретический предел для удаленного резания 60 м/мин, предложенный в [8].

Рис. 3 показывает зависимость глубины абляции от накопленной энергии на единицу длины. Накопленная энергия на единицу длины можно вычислить, разделив применяемую мощность лазера на скорость сканирования. Из-за выполнения нескольких сканирований в высокоскоростной абляции резания, накопленная энергия на единицу длины, умноженная на соответствующее количество сканирований, можно понимать, как накопленную энергию на единицу длины. Из графика можно увидеть линейную зависимость между глубиной абляции и суммарным энергопотреблением на единицу длины, рассчитанную для лазерной мощности 2,65 кВт и размера пятна 60 μm . Это означает, что для заданной глубины абляции 400 μm , например, потребуется суммарное энергопотребление на единицу длины 2650 Дж/м. Это значение может быть получено либо с 10 сканирований и скоростью сканирования 600 м/мин, либо 20 сканирований и скоростью сканирования 1200 м/мин, либо даже 30 сканирований при скорости сканирования 1800 м/мин, достигая одной и той же суммарной скорости резания 60 м/мин.

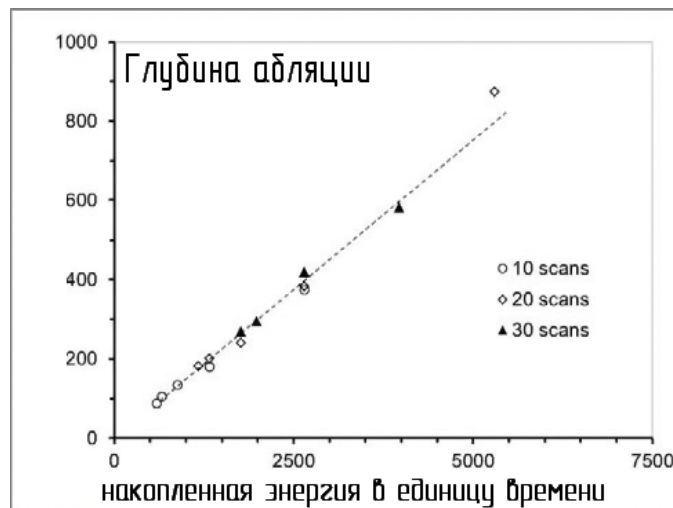


Рисунок 3. Глубина абляции в зависимости от накопленной энергии в единицу длины для различного количества сканирования, параметры: $P_{\text{CW}} = 2,65$ кВт, $D_{86} = 60$ мкм, различная скорость сканирования

Для использования максимальной скорости сканирования к гальванометрическому сканеру был прикреплен объектив с фокусным расстоянием 500 мм. На диаграмме (рис. 4) глубина абляции показана в зависимости от скорости сканирования, полученной с использованием различного количества сканирований при лазерной мощности 2,65 кВт и размере пятна 60 μm .

Время пребывания, определяемое как интервал времени, в то время как лазерный луч перемещается на расстояние, соответствующее размеру его пятна, растет с 1,3 мс до 6 мс, когда скорость сканирования снижается с 2700 м/мин до 600 м/мин. Таким образом, можно предположить, что проникновение тепла в материал из-за теплопроводности становится более выраженным, сопровождаемым более интенсивным плавлением материала. Полученный

расплав будет выброшен давлением плазмы. В заключении, с более низкой скоростью сканирования процесс абляции характеризуется повышенным выбросом расплава. Эта гипотеза будет поддерживаться путем наблюдения с записи высокоскоростных камер.

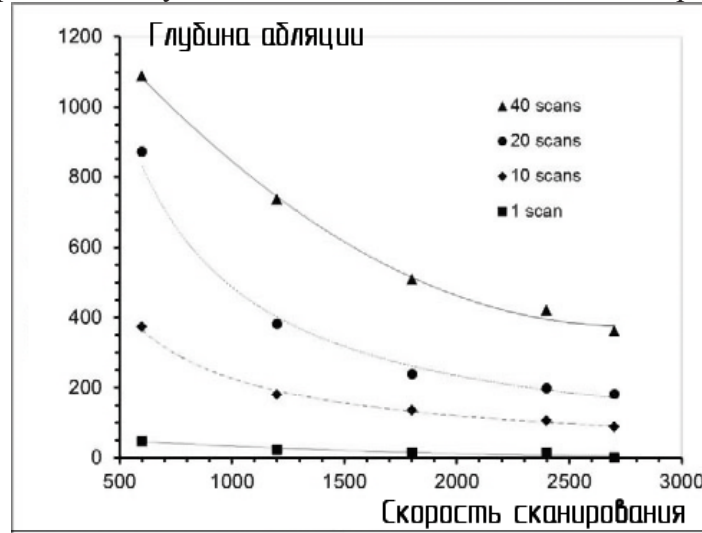


Рисунок 4. Глубина абляции в зависимости от скорости сканирования для различного количества сканирования, параметры: $P_{CW} = 2,65$ кВт, $D_{86} = 60$ мкм

Рис. 5 показывает влияние различных комбинаций размеров пятна и мощности лазера на глубину абляции в зависимости от количества сканирований при постоянной интенсивности лазерного излучения для двух заданных скоростей сканирования. При скорости сканирования 600 м/мин и 900 м/мин комбинация с более высокой мощностью лазера и большим размером пятна приводит к более эффективному процессу абляции, но индивидуальное влияние мощности лазера и размера пятна на глубину абляции не может быть разделено.

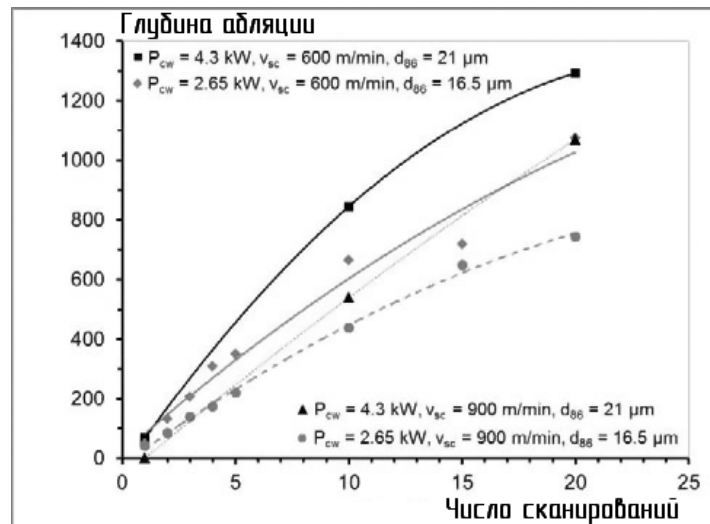


Рисунок 5. Глубина абляции в зависимости от числа сканирований для заданной интенсивности лазерного излучения $2,5 \cdot 10^9$ Вт/см², достигнутой с различными комбинациями размера пятна и применяемой лазерной мощности при скоростях сканирования 600 м/мин и 900 м/мин

Чтобы прояснить влияние размера пятна на глубину абляции, размер пятна был изменен, в то время как мощность лазера и скорость сканирования оставались постоянными. Рис. 6 показывает влияние размеров пятна по сравнению с достигаемой глубиной абляции при скорости сканирования 600 м/мин и мощности лазера 2,65 кВт. Длина фокусного расстояния объективов, размеры пятна и соответствующие значения интенсивности представлены в таблице 2.

Таблица 2. Длина фокусировки и параметры лазера, используемые для сравнения размеров пятна

длина фокусного расстояния [мм]	160	230	330	500
измеренный лазерный размер пятна D_{86} [мкм]	16,5	21	32	60
максимальная мощность лазера на деталь P_{cw} [кВт]	2,65			
максимальная интенсивность на работу I_{max} [W/CM ²]	$2,5 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^9$	$0,7 \cdot 10^9$	$0,2 \cdot 10^9$

Как показывают результаты, при меньшем размере пятна и, следовательно, более высокой интенсивности лазерного излучения, увеличивается глубина абляции. При более высокой интенсивности сначала большая часть материала будет испаряться, что приведет к более сильному образованию плазмы, что, в свою очередь, позволит более эффективно выводить расплавленный материал из абляционного паза. Например, при количестве 10 сканирований глубина абляции может быть увеличена на 80%, если размер пятна уменьшить с 60 мкм до 16,5 мкм, что соответствует увеличению интенсивности лазерного излучения в 13 раз.

В результате эксперимента было установлено, что предпочтительная ориентация потока расплава влияет на скорость сканирования. В процессе резки лазерной абляции с непрерывным волновым лазерным излучением можно предположить, (рис. 6), что угол наклона передней части расплава равен отношению направления инцидента. Лазерный луч зависит от отношения размера пятна и глубины абляции.

Это означает, что с уменьшением глубины абляции при увеличении скорости сканирования угловой поворот уменьшается. Для параметрических множеств, используемых для результатов резки, угол наклона был вычислен из размера точки и соответствующей средней глубины абляции на один скан. Предпочтительное направление потока расплава и нормальный угол наклона расплавляющейся передней кромки хорошо согласуются. Что в свою очередь вызвано сжимающим плазменным давлением. Но, из-за наклонной передней кромки расплава, поток расплава предпочтительно ориентирован в направлении нормали к передней кромке расплава, показанной на рис. 6.

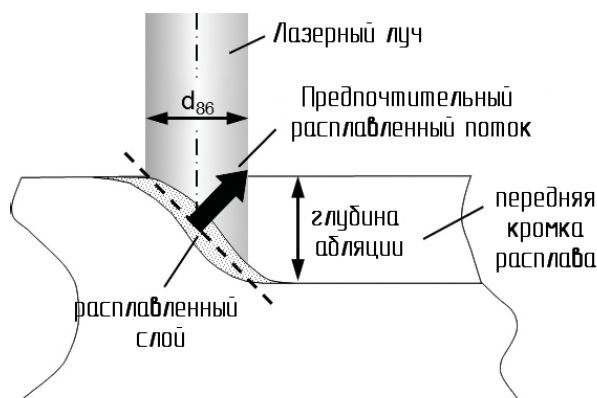


Рисунок 6. Схематическое изображение образования передней кромки расплава при лазерном абляционном резании

Выводы. Исследовано влияние важнейших технологических параметров процесса на достигаемую глубину абляции. Глубина абляции и, следовательно, толщина материала, который можно разрезать, существенно зависят от технологических параметров процесса: мощности лазера, скорости сканирования, размера пятна и числа сканирований. Таким образом, глубина абляции на один скан в сочетании с применяемой скоростью сканирования определяет эффективность процесса резки, представленную суммарной скоростью резки для определенной толщины листа. Глубина абляции может быть увеличена за счет повышения мощности лазера, уменьшения размера пятна или снижения скорости сканирования. Но, учитывая качество кромки реза, было установлено, что более высокая скорость сканирования приводит к уменьшению образования заусенцев.

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента / С.Н. Григорьев, В.П. Табаков, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 378 с.
2. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: в 2 кн.. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – 1030 с.
3. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с. Вестник современных технологий, 2023, №3 (31) 38
4. Верещака А.С., Табаков В.П., Вахминцев В.П., Твердосплавные инструменты с нитридтитановыми покрытиями. – М: Станки и инструменты, 2003. – 394с.
5. Григорьев С.Н. Технологии вакуумно-плазменной обработки инструмента и деталей машин: учебник / С.Н. Григорьев, Н.А. Воронин. – М.: ИЦ МГТУ «Станкин», Янус-К, 2005. – 508 с.
6. Воркунов Р.Ю. Фемтосекундная абляция наночастиц меди и серебра в воде / Р.Ю. Воркунов, В.В. Брюханов // Известия КГТУ. – 2013. – Т. 31 – С. 23-29.
7. Калитеевская Н.А., Коньков О.И., Теруков Е.И., Сейсян Р.П. Исследование порога абляции для аморфных алмазоподобных пленок под действием излучения ArF эксимерного лазера // Письма в журнал технической физики. – 2000. – Т. 26. – № 23. – С. 1024–1027.

8. Долгаев С.И., Лялин А.А., Симакин А.В., Шафеев Г.А. Растворение сапфира в сверхкритической жидкости как механизм лазерной абляции // Квантовая электроника. – 2001. – Т. 31. – № 7. – С. 593–597.
9. Каск Н.Е., Мичурин С.В., Федоров Г.М. Перколяция и спектры свечения лазерной плазмы при абляции кремния и кремнийсодержащих композитов // Квантовая электроника. – 2006. – Т. 36. – № 5. – С. 435–439.
10. Кононенко Т.В., Конов В.И., Гарвов С.В. и др. Сравнительное исследование абляции материалов фемтосекундными и пико/наносекундными лазерными импульсами // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 28. – № 8. – С. 167–172.

РАЗДЕЛ II ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ РАСХОДА РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

А.А. Вожжзов,¹

И. А. Сайкин¹

¹*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация;*

АННОТАЦИЯ

Исследованы характеристики функционального мехатронного модуля дозирования в зависимости от параметров давления в продуктопроводе при компенсации падения давления различными способами управления, проведен анализ отдельных этапов при принятых допущениях. Проведено тестирование экспериментального образца клапана дозатора на точность повторения дозирования, определено влияние различных параметров управления на точность формирования дозы продукта; найдены способы обеспечения необходимого распределения давления сжатого воздуха в соответствии с заданной производительностью дозатора.

Ключевые слова: модуль дозирования, распределитель, моделирование, производительность, давление.

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE DOSING MODULE FOR FLOW COMPENSATION IN VARIOUS WAYS

A. A. Vozhzhov¹

I. A. Saykin¹

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

ABSTRACT

The characteristics of a functional mechatronic dosing module are studied depending on the pressure parameters in the product pipeline when compensating for pressure drop by various control methods, and the analysis of individual stages is carried out under accepted assumptions. An experimental sample of the dispenser valve was tested for the accuracy of dosing repetition, the influence of various control parameters on the accuracy of product dose formation was determined; ways were found to ensure the necessary distribution of compressed air pressure in accordance with the specified dispenser capacity.

Key words: dosing module, distributor, simulation, performance, pressure.

Введение. Производство питьевой воды в бутылках объемом 1,5 литра остается актуальным в современном мире. По итогам 2023 г. объем рынка бутилированной воды в России увеличился на 38,9% по отношению к аналогичному показателю годом ранее. Внутреннее производство за год выросло на 14,5%. В структуре рынка производства бутилированной воды в России доля воды минеральной составляет 47,5%. На долю воды питьевой, в том числе газированной, приходится 52,5%. Это позволяет говорить о том, что производство питьевой воды остается востребованным в сфере пищевой промышленности, и из этого следует необходимость увеличения производственных мощностей или модернизация уже имеющихся.

Среди предприятий, связанных с задачами по автоматизации процессов дозирования жидких продуктов, особое место занимает производство упаковки. Это связано с развитием упаковочной промышленности. Был создан ряд малых и средних предприятий, занимающихся производством и упаковкой жидких продуктов. В связи с этим крайне актуальной становится задача разработки недорогого и компактного дозируемого и упаковочного оборудования, которое могло бы заменить импортные машины с учётом конкретных условий работы малых предприятий. В качестве примеров можно привести производство экологически чистых продуктов питания, автокосметики, парфюмерии и фармацевтических препаратов, красок и лаков, эфирных и жирных масел с биологически активными добавками и многое другое. К системам дозирования и упаковки жидких продуктов в тару предъявляются особые требования: высокая эксплуатационная надёжность, широкий диапазон и высокая точность дозирования в сочетании с возможностью быстрой перенастройки оборудования для работы с различными типами жидкостей и диапазонами дозирования. Кроме того, следует учитывать возможность плавной регулировки дозы в широком диапазоне; возможность быстрой промывки или замены продуктопровода; возможность установки дозатора на конвейерную линию; возможность создания многоканальных систем дозирования. Важным требованием является отсутствие образования капель между операциями; компактность, простота и безопасность обслуживания; пожарная безопасность и т. д. Задача автоматизации этих операций дозирования усложняется, если необходимо внедрить систему автоматической регулировки параметров технологического процесса в неклапанных модулях в упаковочной части [1-3].

Для решения проблем, связанных с упаковкой жидких продуктов в тару, наиболее распространенными являются дозаторы объёмно-поршневого типа с измерительными камерами переменного объёма и с клапанными поршневыми приводами, управляемыми пропорционально. Кроме того, иногда встречаются дорогостоящие весовые дозаторы зарубежного производства. Однако эти и другие известные дозаторы не в полной мере соответствуют вышеуказанным требованиям и имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают сферу их применения на малых предприятиях. Таким образом, разработка

надёжного, недорогого и компактного оборудования для фасовки жидких продуктов на малых предприятиях является первоочередной задачей.

Цель исследования – проанализировать характеристики функционального мехатронного модуля дозирования в зависимости от параметров давления в продуктопроводе и компенсации падения давления различными способами управления.

Проблематика падения напора истекающей жидкости из напорного бака при изменении уровня жидкости в баке является одной из важных тем в пищевой промышленности. Понимание этой проблемы необходимо для обеспечения эффективного и надежного функционирования систем водоснабжения и водоотведения. Напор, с которым жидкость истекает из бака, зависит от высоты столба жидкости. При снижении уровня жидкости в баке уменьшается гидростатическое давление, что приводит к снижению напора. Это может негативно сказаться на производительности системы, особенно если требуется поддерживать определенный уровень давления для подачи воды в распределительную сеть. При достижении определенных критических уровней жидкости (например, минимально допустимого уровня) напор может стать недостаточным для обеспечения нормальной работы системы, что может привести к перебоям в системах розлива питьевой воды. Падение напора также влияет на расход жидкости. При снижении напора может наблюдаться уменьшение скорости истечения, что может вызвать проблемы в системах, где требуется стабильный или заданный расход воды[6].

В качестве предполагаемого решения такой задачи был предложен способ принудительной подачи сжатого воздуха в бак с водой, который подается в тот момент, когда уровень воды в баке становится низким, чтобы не зависимо от уровня жидкости в баке давление было постоянным.

Для решения данной проблематики на базе Севастопольского Государственного Университета (СевГУ) была разработана установка, представленная на рисунке 1, проведены исследования при подаче компенсирующего объема сжатого воздуха непрерывно и порционно с различными законами управления электромагнитом распределителя.

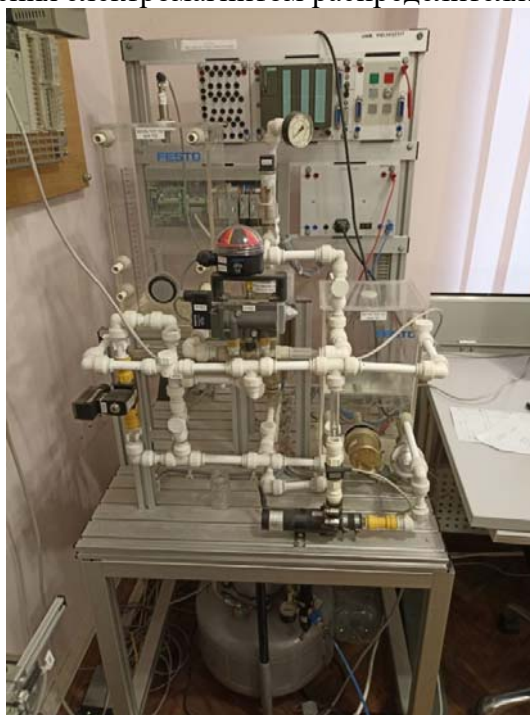


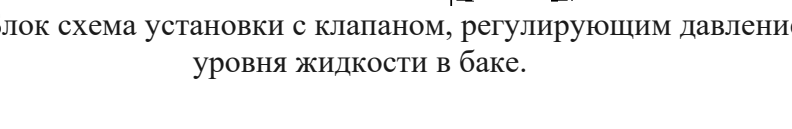
Рисунок 1 – Установка для исследования процесса компенсации уровня жидкости

$$\tau = - \int_H^0 \frac{F dh}{\mu f \sqrt{2gh}} = \frac{2F}{\mu f \sqrt{2g}} \sqrt{H} \quad (1)$$

The diagram shows a U-tube manometer. The left vertical leg contains a fluid of height h and volume V_0 . A horizontal force F is applied to the fluid surface. A differential height dh and differential volume dV are indicated at the top of the fluid column. The right leg of the manometer is open to the atmosphere, with a fluid level at height f from the bottom. The total height of the left leg is H .

ного, чтобы наполнение жидкости через дозатор происходило за один

A diagram of a rectangular element. The horizontal dimension is labeled De, Fe with a double-headed arrow. The vertical dimension is labeled De with a double-headed arrow. The element is divided into two vertical sections by a dashed line. The left section is labeled De and the right section is labeled Fe .



Характеристики изменения основных параметров дозирования и регулирования давления в системе функционального мехатронного дозирующего модуля исследованы экспериментально. Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 4 и 5.

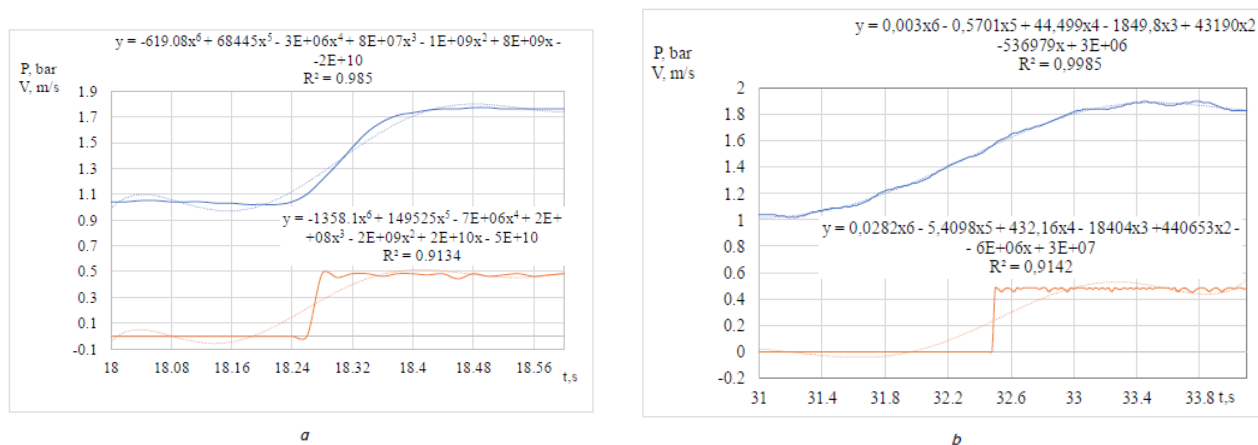


Рисунок 4 - Характеристики дозирующего модуля в соответствии с: а – ступенчатым законом; б – синусоидальным законом; кривая 1 – изменение давления, бар; кривая 2 – изменение скорости потока, м/с

Исследованы характеристики законов управления параметрами работы функционального мехатронного модуля дозирования при изменении давления в продуктопроводе при следующих законах управления клапаном.

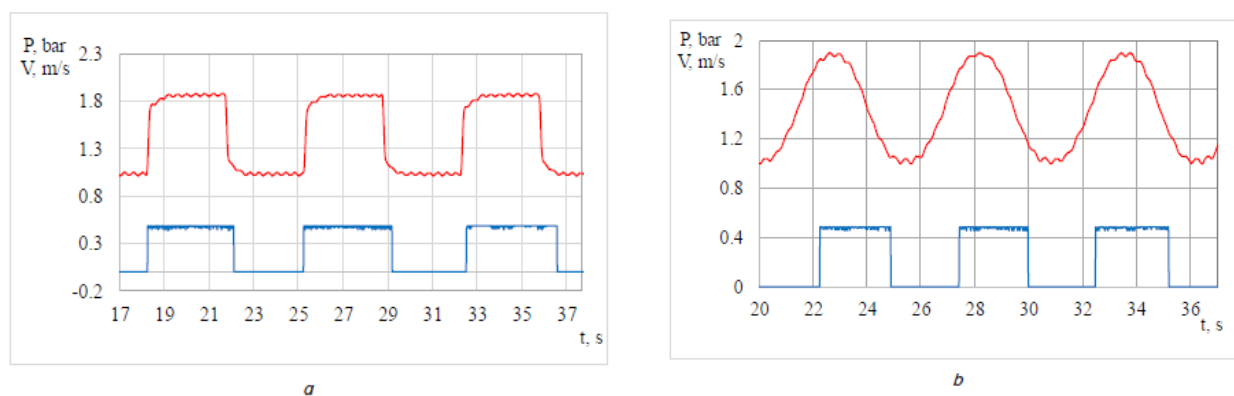


Рисунок 5 – Экспериментальные данные: а – изменение давления и расхода в выходном продуктопроводе под воздействием управляющего сигнала по ступенчатому закону; б – изменение давления и расхода в выходном продуктопроводе под воздействием управляющего сигнала по синусоидальному закону.

Вывод: Аналитически описаны этапы процесса дозирования, проведен анализ отдельных этапов при принятых допущениях. Проведено тестирование экспериментального образца клапана дозатора на точность повторения дозирования, которая составляла от 0,35% до 0,8 %. В ходе математического моделирования было определено влияние различных

параметров управления на точность формирования дозы продукта; найдены способы обеспечения необходимого распределения давления сжатого воздуха в соответствии с заданной производительностью дозатора.

Библиографический список

1. Пантюхина Е.В. Современные технологии и оборудование упаковочных производств: учебник. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. 220 с.
2. Рожкова О.Д. Анализ времени наполнения алюминиевой банки пищевыми напитками // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 4. С. 374-379.
3. Янг А., Пу Дж., Вонг К. Б., Мур П. (2009). Перепускной клапан для повышения энергоэффективности системы пневматического привода. Практика проектирования систем управления, 17 (6), 623-628.
4. Сеслия Д., Каэтинац С., Благоевич В., Салк Дж. (2018). Применение широтно-импульсной модуляции и управления перепускным клапаном для повышения энергоэффективности системы пневматического привода. Труды Института инженеров-механиков, Часть I: Журнал систем и систем управления, 232 (10), 1314-1324.
5. Канно, Т., Хасегава, Т., Миядзаки, Т., Ямамото, Н., Харагути, Д., Кавасима, К. (2018). Разработка пневматического сервоклапана тарельчатого типа. Прикладные науки, 8 (11), 2094.
6. Device for automatic pressure regulation in a chamber with a liquid technological medium isolated from the pressure source Pashkov E.V., Polivtsev V.P., Polivtsev V.V., Vozhzhov A.A. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020. BRISTOL, ENGLAND, 2020.
7. В. Г. Зезин, Гидрогазодинамика. Учебное пособие. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010.

УДК 664.856.036.3

РАЗРАБОТКА АППАРАТА ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ ВИНОГРАДНОГО СОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУХА В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Д.О. Ерёменко¹

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

АННОТАЦИЯ

Предложена оригинальная конструкция аппарата для проведения процесса пастеризации виноградного сока с применением воздушного теплового насоса производительностью 150 кг/час, которая позволит отказаться от дорогостоящего оборудования для получения водяного пара и холодной воды, а также существенно снизить расходы на энергоснабжение процесса пастеризации. Использование воздуха в качестве теплоносителя для пастеризации сока и применение воздушного теплового насоса дает возможность снизить энергетические затраты за

счет отказа от таких дорогих теплоносителей как вода и пар, и делает эту установку естественной для использования в виноградных хозяйствах России.

Ключевые слова: пастеризация, виноградный сок, воздушный тепловой насос, пластинчатый пастеризатор, энергосбережение, виноградные хозяйства.

THE DEVELOPMENT OF A MACHINE FOR GRAPE JUICE PASTEURIZATION USING AIR AS A HEAT CARRIER

D.O. Eremenko¹

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

ABSTRACT

The original design of the machine for the process of pasteurization of grape juice with the use of an air heat pump with a capacity of 150 kg/h is proposed, which will allow to abandon the expensive equipment for obtaining water vapor and cold water, as well as significantly reduce the cost of energy supply to the pasteurization process. The use of air as a coolant for pasteurization of juice and the use of an air heat pump makes it possible to reduce energy costs by eliminating such expensive heat carriers as water and steam, and makes this installation natural for use in grape farms in Russia.

Keywords: pasteurization, grape juice, air heat pump, plate pasteurizer, energy saving, grape farms.

Введение. Развитие рыночных отношений, организация предприятий с различной формой собственности, обострение конкуренции при повышении цен на энергоносители определяют необходимость разработки и внедрения принципиально новых технологий эффективной пастеризации жидких пищевых продуктов.

К безалкогольным напиткам относят несброженные натуральные соки из свежих плодов и ягод. Полученные соки содержат достаточно высокую остаточную микрофлору сырья, которая изменяется при различных технологических операциях: уменьшается за счет мойки и фильтрования и увеличивается за счет прессования плодов и ягод. Соки – благоприятная питательная среда для размножения многих микроорганизмов, поэтому их в обязательном порядке необходимо пастеризовать. Повышение эффективности технологии пастеризации связано со снижением продолжительности обработки продукта, уменьшением времени протекания физико-химических и биохимических процессов, приводящих к нежелательным необратимым изменениям питательных веществ сырья и его органолептических свойств.

Виноград является наиболее ценным диетическим и лечебным продуктом питания. Как свежие плоды, так и продукты его переработки (виноградный сок, вино, сухофрукты), способны усиливать кровообращение, улучшать обмен веществ, работу печени и сердечной мышцы, ускорять выведение радионуклидов из организма [1, 2]. Человеку рекомендуется в течение года употреблять в пищу столового винограда – 10-15 кг, сушеного – 1 кг, натурального сока – 3л.

Виноградарство в России в настоящее время занимает порядка 55 тыс. га и преимущественно сосредоточено в таких регионах как Крым и Северный Кавказ, в том числе в Краснодарском крае и Дагестане. Виноградники занимают узкую полосу с границами, проходящими по бассейнам Каспийского и Черного морей.

Особенностью российского виноградарства является необходимость культивировать культуру в достаточно сложных климатических условиях, потому для возделывания винограда на неукрывных виноградниках подходят Крым и Причерноморье [3]. Остальные регионы способны выращивать виноград только с укрыванием на зиму [4-7].

Использование энерго- и ресурсосберегающих технологий тепловой пастеризации наиболее значимо для виноградных хозяйств, когда необходимо снизить обмен сока микроорганизмами и тем самым увеличить срок хранения без потери товарных характеристик [8]. В это же время современные пастеризационно-охладительные установки, в которых высокотемпературными теплоносителями являются горячая вода и пар, характеризуются значительными энергетическими затратами на единицу продукции (50...70 кВт·ч/т), большой металлоемкостью, необходимостью использования нагретых теплоносителей (горячая вода и пар), что обуславливает редкое использование таких установок для применения в виноградных хозяйствах России [9].

Поэтому актуальной задачей становится создание достаточно дешевых и простых в эксплуатации малогабаритных установок для пастеризации фруктовых соков с малой производительностью. Использование воздуха в качестве теплоносителя для пастеризации сока и применение воздушного теплового насоса дает возможность снизить энергозатраты за счет отказа от таких дорогих теплоносителей как вода и пар, и делают эту установку естественной для использования в виноградных хозяйствах России.

Тепловая пастеризация – это процесс, заключающийся в нагревании продукта до температуры гибели микроорганизмов, приводящих к порче продукта (ниже 100°C) и выдержке при этой температуре некоторое время.

Пастеризация также позволяет уничтожить болезнетворные микроорганизмы, в число которых входят и такие особо опасные, как туберкулез, тиф и другие, которые приводят к тяжелым заболеваниям. Температура и продолжительность пастеризации зависят от многих факторов: химических и физических свойств продукта, вида греющей среды, скорости движения продукта и теплоносителя, площади теплообмена. При этом температура пастеризации не должна быть ниже 50 °C (это связано с гибелью туберкулезной палочки). Однако эта температура не должна превышать той признанной отметки, при которой начинается изменение свойств самого продукта, то есть ухудшение его вкусовых качеств [10].

Максимальная температура пастеризации находится ниже температуры изменения свойств продукта, что позволяет разрабатывать режимы пастеризации, не влияющие на качество продукта. Таким образом, кривая, отражающая оптимальный режим пастеризации должна находиться ниже кривой разрушения продукта и выше кривой патогенного среды, что отражает гибель особенно болезнетворных микроорганизмов. Из этого следует, что при увеличении времени пастеризации можно снизить температуру, и наоборот. Это позволяет разработать режимы пастеризации в широком диапазоне. В зависимости от степени и продолжительности нагрева сырья пастеризация в пищевой промышленности делится на следующие режимы:

- длительная пастеризация при температуре 63...65 °C, с выдержкой сырья в течение 30 мин.;
- кратковременная пастеризация сырья при температуре 75 °C с выдержкой 20 мин.;
- моментальная пастеризация сырья при температуре 80...87 °C или 90...95 °C без выдержки.

В подавляющем большинстве случаев пастеризацию следует проводить по кратковременному или мгновенному режиму в связи с тем, что в сырье, обработанном при высокотемпературных режимах пастеризации, уменьшается возможность развития клеток термофильных рас [11, 12].

При пастеризации для нагрева сырья необходимо применять регенераторы, позволяющие использовать до 85...90 % тепла, затраченного на пастеризацию. После тепловой обработки продукт необходимо охладить до температуры не менее +4 °C – это необходимо для предотвращения развития бактерий, попадающих в продукт из окружающей среды. Причем,

нужно стремиться к уменьшению времени охлаждения, потому что при длительном охлаждении в зоне температур 15...35 °С наблюдается быстрое размножение микроорганизмов.

Пастеризацию можно приводить и нетепловыми способами: ультрафиолетовым облучением, ультразвуковым, механическим путем. В промышленности эти способы не нашли применения в силу их сложности и малой результативности.

Наиболее широкое распространение в настоящее время получили пластинчатые пастеризаторы и пастеризационно-охладительные установки, в которых поверхности, которые передают тепло, выполнены в виде рифленых пластин для увеличения поверхности теплообмена и интенсификации процесса. Продукт движется по одной стороне пластины, а теплоноситель по другой. Рабочая часть пластины окантована резиновыми прокладками, что при сборе пластин в пакеты позволяет образовать герметично изолированные плоские пространства, по которым движется продукт или теплоноситель.

Процесс пастеризации сырья на пластинчатой пастеризационно-охладительной установке при выработке фруктового сока заключается в следующем. Сок подается в уравнивательный бак, в котором поддерживается постоянный уровень. Центробежным насосом он подается в секцию регенерации пластинчатого теплообменника, где подогревается до температуры 65...70 °С, из секции регенерации в секцию пастеризации, в которой нагревается до температуры пастеризации 75...80 °С. При этой температуре сок возвращается в секцию регенерации, где предварительно охлаждается, а окончательно – в секциях водяного или рассольного охлаждения. Охлажденный сок направляется в резервуар хранения сока или в фасовочные аппараты. Нагрев сока в секции пастеризации до температуры 75...80 °С осуществляется горячей водой, которая циркулирует с помощью центробежного насоса в замкнутом контуре бойлерно-секторного блока, проходя последовательно через пароконтактный нагреватель, аккумулятор, насос. Охлаждение сока до температуры 2...5 °С осуществляется в секциях регенерации сырым холодным соком и в секциях охлаждения водой и рассолом.

Недостатком данной конструкции является то, что для санитарно-гигиенической обработки пластин необходимо полностью разбирать и собирать пакеты с точной установкой прокладок, а это долгий и трудоемкий процесс.

Обсуждение и результаты. Тепловые насосы – это единственные установки, которые производят в 3-7 раз больше тепловой энергии, чем потребляют электрической энергии на привод компрессора, и поэтому являются наиболее эффективными источниками высокопотенциального тепла [13].

Преимуществами использования воздушных тепловых насосов являются: экологически чистая технология; отсутствие выбросов в атмосферу вредных веществ и углекислоты; использование озонобезопасных видов фреона; надежная автоматическая работа установки, не требующая постоянного присутствия человека; минимальные эксплуатационные затраты; длительный срок службы без капитального ремонта (10-20 лет: 45 тыс. часов для тепловых насосов с поршневым компрессором; 60 тыс. часов для тепловых насосов с винтовым компрессором); малые габариты и вес [14, 15].

Целью данных исследований является попытка создания достаточно дешевой и простой в эксплуатации малогабаритной установки для пастеризации фруктовых соков с применением воздушного теплового насоса производительностью 150 кг/час по виноградному соку.

Предлагаемая установка (рис. 1) состоящая из расходного бака 6, воздушного теплового насоса 2, пастеризатора 4, рекуператора 5 и охладителя 3, монтируется на сварной раме 1, изготовленной из швеллеров и уголков. На основание рамы болтовыми соединениями крепится воздушный тепловой насос. Приводом для насоса служит электродвигатель 4AM100S2Y3

мощностью 4 кВт. На раму устанавливается охладитель, представляющий собой пластинчатый теплообменник.

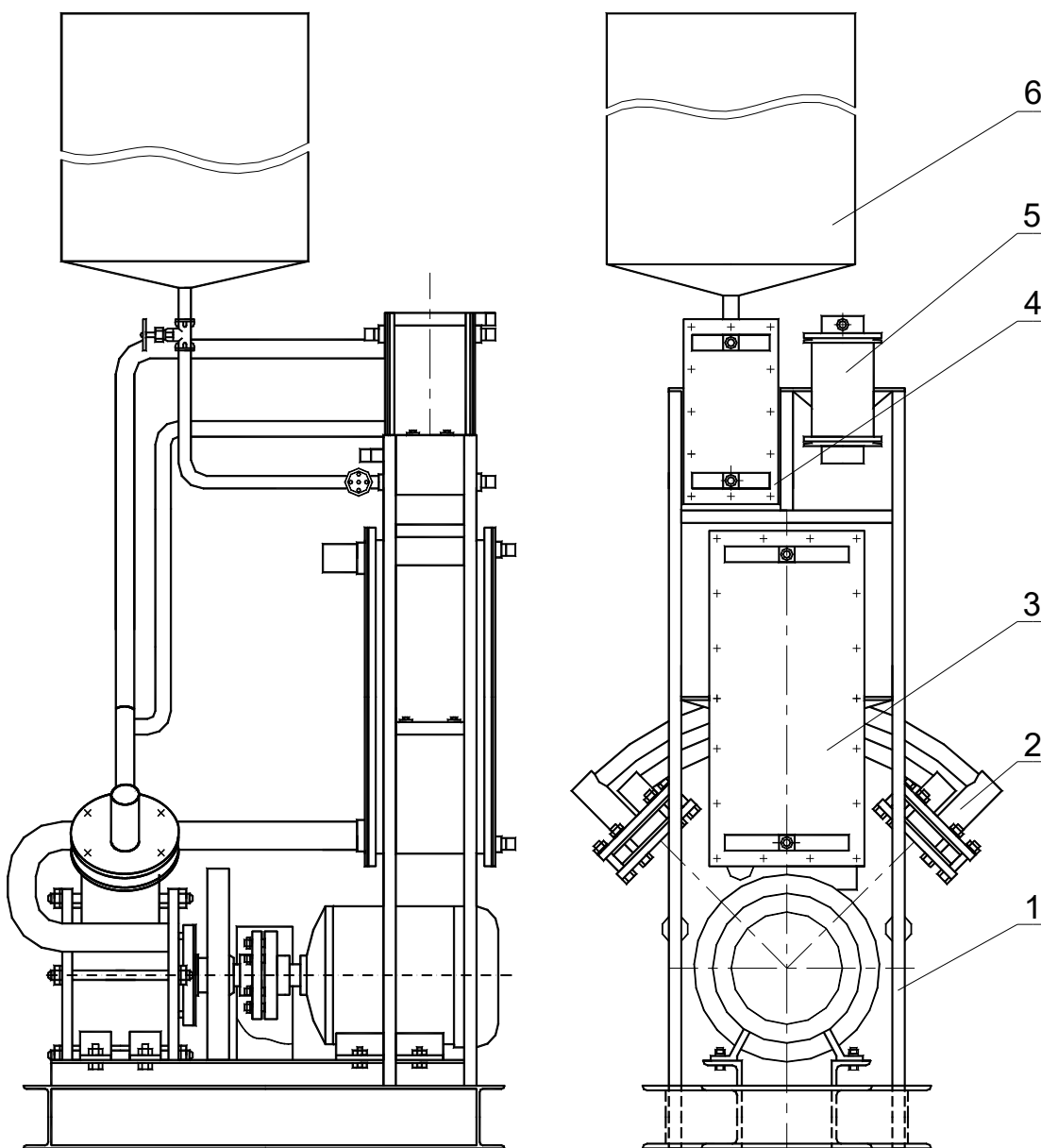


Рисунок 1. Пастеризатор виноградного сока с применением воздушного теплового насоса:

- 1 – рама сваренная; 2 – воздушный тепловой насос; 3 – охладитель;
4 – пастеризатор; 5 – рекуператор; 6 – расходный бак

Теплообменная поверхность теплообменника выполнена из листовой пищевой нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 0,5 мм в виде непрерывной «волны» с толщиной ребра 220 мм и высотой 500 мм. Расчетное расстояние между ребрами составляет: 2 мм – для сока, 4 мм – для воздуха. Теплообменная поверхность уложена в коробку, изготовленную из Ст3 таким образом, что сок стекает только с нержавеющей стали и прокладки, выполненной из пищевой резины. Со стороны сока корпус имеет съемную крышку со сплошной прокладкой из

пищевой резины, что позволяет легко производить санитарную обработку. Над охладителем к раме на одном уровне крепится регенератор и пастеризационная головка. Регенератор представляет собой пластинчатый теплообменник и отличается от выше описанного меньшей теплообменной поверхностью, ширина ребра которой составляет 120 мм, а высота 250 мм. Расчетное расстояние между ребрами составляет 3 мм. Так как по обе стороны движется сок, то корпус имеет две съемные крышки со сплошными прокладками из пищевой резины. Для удобства эксплуатации эти крышки прижимаются к корпусу с помощью гаек-барашков.

Пастеризационная головка выполнена в виде кожухотрубного теплообменника, трубные решетки которого изготовлены из пищевой нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Крышки данного теплообменника являются съемными, что позволяет легко и удобно производить санитарную обработку. Сок из секции в секцию подается самотеком через гибкие шланги и штуцера, вваренные в крышки теплообменников. Воздух в теплообменники подается по стальным трубам. Расходный бак представляет собой цилиндрический сосуд с коническим дном, изготовленный из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и установленный выше уровня регенератора.

После регенератора пастеризованный сок поступает в охладитель, в который подается неиспользованный в воздушном тепловом насосе воздух с температурой $-15^{\circ}\text{C} \div -25^{\circ}\text{C}$, что позволяет остудить сок до температуры $0 \div +4^{\circ}\text{C}$. Из охладителя пастеризованный сок разливается в герметичную тару и хранится при температуре 0°C .

Вывод: использование полученного в воздушном тепловом насосе горячего воздуха как теплоносителя для пастеризации фруктового сока, а холодного воздуха – для его охлаждения, позволяет не только отказаться от дорогостоящего оборудования для получения водяного пара и холодной воды, но и значительно снизить расходы на получение энергии, если учесть, что затраты на получение единицы тепловой энергии в воздушном тепловом насосе в 4-5 раз меньше традиционного.

Предлагаемая установка может найти широкое использование в виноградных хозяйствах России и Европы.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении является изготовление экспериментального образца пастеризатора фруктовых соков и исследование его эксплуатационных характеристик

Список литературы

1. Аронбаев, Д.М. Еще раз о «французском парадоксе», или о пользе умеренного потребления виноградных вин / Д.М. Аронабаев, Ф.Ф. Федоров, С.Д. Аронбаев, К.В. Пронина, А.А. Шертаева // Международный научный журнал «Молодой ученый». Вып. № 18 (122)/2016 – Казань: «Изд. Молодой ученый», 2016. – С. 25-30.
2. Меньшикова, Е.Б. Фенольные антиоксиданты в биологии и медицине / Е.Б. Меньшикова, В.З. Ланкин, Н.В. Кандалинцева // LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Deutschland / Германия. 2015. – 488 с.
3. Кострикин, И. А. Устойчивые малораспространенные сорта и гибридные формы винограда / И. А. Кострикин, А. Д. Лянной, Ф. А. Оларь [и др.]. – Ростов-на-Дону: Эверест, 2007. – Части 1-10. – 168 с.
4. Кострикин, И. А. Бессемянные сорта винограда на Нижнем Придонье / И. А. Кострикин, Л. А. Майстренко, В. А. Озерова // Виноград и вино России. – 1992. – №3. – С. 12-15.
5. Трошин, Л. П. Национальная ампелографическая коллекция России: создание и использование / Л. П. Трошин, В. А. Носульчак, А. С. Смурыгин // Биологическое разнообразие. Интродукция растений. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 381-383.

6. Трошин, Л. П. Районированные сорта винограда России / Л. П. Трошин, П. П. Радчевский. – Краснодар: ООО «Вольные мастера», 2005. – 176 с.: ил.
7. Troshin L., Nosulchak V., Smurygin A. National ampelographic collection of Russia: creation and use // Plant Genetic Resources and their Exploitation in the Plant breeding for Food and Agriculture. 18th EUCARPIA Genetic Resources Section Meeting. – Piestany, Slovak Republic. 23-26 May 2007. – P. 108.
8. Сосюра, Е. А. Автоматизация и энергосбережение технологического процесса производства напитков функционального назначения / Е. А. Сосюра, Т. И. Гугучкина, Б. В. Бурцев, В. М. Жиров, О. П. Преснякова // Виноделие и виноградарство. – 2014. – № 1. – С. 13–16.
9. Кравченко, В.Н. Пастеризационно-охладительная установка для тепловой обработки жидких пищевых продуктов // Международная научно-практическая конференция, Тверь, 2005. – С. 253-257.
10. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищепромиздат – 1978. – 342 с.
11. Ерёменко, Д.О. Использование энергосберегающих технологий для пастеризации пищевого сырья / Д.О. Ерёменко, В.С. Юшков // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год / отв. за вып. А.Г. Коцаев. Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 784-786.
12. Ерёменко, Д.О. Ресурсосберегающие технологии в процессах тепловой пастеризации сырья / Д.О, Ерёменко, В.С. Юшков // Социально-экономическое развитие России: актуальные подходы и перспективные решения: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 20-21 апреля 2017 г. – Краснодар : Диапазон-В, 2017. – С. 263-266.
13. Єрмоєнко, Д.О. Основи енергозбереження у галузі харчових виробництв / Д.О. Єрмоєнко, І.М. Заплєтніков. / Навч. посібник для студ. напр. підгот. 6.050503 “Машинобудування” спец. “Обладн. перероб. і харч. вир-в”. – Донецьк : [ДонНУЕТ], 2012. – 260 с.
14. Гришков, А. В. Эффективность использования воздушных тепловых насосов в условиях Пермского края // АВОК. 2004. № 3. – С. 50-58.
15. Усенко, А. Ю. Анализ эффективности использования теплового насоса для снабжения теплом бытовых потребителей // Металлургическая теплотехника. 2010. № 2 (17). – С. 197-204.

УДК 614.31:579.67

АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КУЛИНАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

*И.А. Прокопенко¹,
Е.Р. Сасина¹
А.Г. Колесов¹*

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

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается влияние биологических факторов на показатели качества и безопасности продукции общественного питания. Описаны требования нормативно-технической документации и системы менеджмента пищевой безопасности, которые должны учитывать при производстве блюд. Дана характеристика факторов риска, подробно рассмотрены микро- и микробиологические источники загрязнения пищевой продукции и их влияние на здоровье населения.

Ключевые слова: микроорганизмы, качество, безопасность, продукция.

BIOLOGICAL HAZARD ANALYSIS IN THE PRODUCTION OF CULINARY PRODUCTS

*I.A. Prokopenko¹,
E.R. Sasina¹
A.G. Kolesov¹*

¹ *Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation*

ABSTRACT

The article examines the influence of biological factors on the quality and safety of public catering products. The requirements of the regulatory and technical documentation and the food safety management system that must be taken into account in the production of dishes are described. Risk factors are characterized, micro- and microbiological sources of food contamination and their impact on public health are considered in detail.

Keywords: microorganisms, quality, safety, products.

Введение. Индустрия питания играет важную роль в жизни общества, потому что она затрагивает интересы практически всех слоев населения, удовлетворяя социальные и физиологические потребности.

Согласно ГОСТ 31985-2013 [1] предприятие общественного питания представляет собой объект хозяйственной деятельности, предназначенный для изготовления продукции общественного питания, создания условий для потребления и реализации продукции и покупных товаров. Основное назначение услуг отрасли – производство, реализация, организация потребления, досуг индивидуальных потребителей.

К продукции общественного питания относят совокупность кулинарных изделий и блюд, хлебобулочных, кондитерских изделий, напитков, которые относятся к скоропортящейся продукции. Поэтому все более значимыми и весомыми становятся показатели качества, связанные с безопасностью предоставляемой услуги.

В целом безопасность человека в сфере услуг определяется эффективным функционированием данной сферы, отсутствием в ее рамках разного рода угроз, ущерба для жизни, здоровья и имущества потребителей, работников отрасли, а также для окружающей среды [2].

Под безопасностью продуктов питания следует понимать отсутствие опасности для здоровья человека при их употреблении, как с точки зрения острого негативного воздействия (пищевые отравления и пищевые инфекции), так и с точки зрения опасности отдаленных последствий (канцерогенное, мутагенное и тератогенное действие). Иными словами,

безопасными можно считать продукты питания, не оказывающие вредного, неблагоприятного воздействия на здоровье настоящего и будущих поколений.

С продуктами питания в организм человека могут поступать значительные количества веществ, опасных для его здоровья. Поэтому остро стоят проблемы, связанные с повышением ответственности за эффективность и объективность контроля качества пищевых продуктов, гарантирующих их безопасность для здоровья потребителя.

Государственное регулирование в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов заключается в том, что все требования к безопасности пищевых продуктов, условиям их производства, хранения, транспортировки устанавливаются соответствующими санитарными правилами и нормами [3].

Каждое предприятие общественного питания должно гарантировать потребителям качественное приготовление пищи из свежих продуктов. Чтобы обеспечить данное требование кулинарная продукция и другие услуги общественного питания и условия их предоставления должны соответствовать требованиям технических регламентов, государственных стандартов, стандартов отрасли, стандартов предприятий, сборников рецептур блюд и кулинарных изделий, технических условий и вырабатываться по технологическим инструкциям и картам при соблюдении санитарных правил для предприятий общественного питания.

Качество пищевых продуктов определяется комплексом органолептических, физико-химических и микробиологических показателей в соответствии с требованиями действующей нормативной документации. Важнейшими характеристиками пищевых продуктов является их безопасность и микробиологическая стойкость. Санитарные нормы и правила характеризуют безопасность пищевой продукции как отсутствие опасности для жизни и здоровья людей нынешнего и будущего поколений, определяемое соответствием пищевой продукции требованиям санитарно-эпидемиологического законодательства [4].

С 01.01.2016 вступил в действие ГОСТ 30390-2013 «Услуги общественного питания. Продукция общественного питания, реализуемая населению. Общие технические условия» [5], в соответствии с которым установлены обязательные требования к процедурам обеспечения безопасности продукции общественного питания, основанным на принципах ХАССП.

Цель данной работы заключается в анализе и классификации биологически опасных факторов, которые возникают при производстве продукции общественного питания, для внедрения в систему менеджмента пищевой безопасности.

Основная часть. В процессе создания НАССР (ХАССП) анализируют процессы по всей пищевой цепочке – от начального сырьевого сегмента до момента попадания к потребителю. Система менеджмента пищевой безопасности в общественном питании основывается на выявлении критических контрольных точек в целях максимально предотвратить все возможные риски, определении их пределов и постоянному контролю. В настоящее время ХАССП в общественном питании является основным инструментом в обеспечении безопасности пищевой продукции.

Существует три основных опасных фактора на производстве пищевой продукции. Они делятся на биологические, химические и технические.

Опасными биологическими факторами пищевого происхождения являются бактерии, вирусы, плесневые и другие грибы, а также насекомые. Данные организмы, как правило, связаны с людьми и продовольственным сырьем, используемым на пищевых предприятиях. Часть из них встречаются в естественной среде выращивания продовольственного сырья.

Источником появления других могут быть используемые при производстве вода, технологическое оборудование, могут попадать в сырье и готовые продукты из воздуха. Многие из них уничтожаются в процессе приготовления пищи, так же, их число может быть

минимизировано, если соблюдается оптимальный режим производства, хранения, транспортировки, реализации продуктов.

Все заведения общественного питания – кафе, рестораны, фудкорты, столовые – обязаны регулярно проверять микробиологические показатели готовых блюд, воды, воздуха и поверхностей в рабочей зоне. Перечень лабораторных исследований и периодичность их выполнения прописываются в программе производственного контроля – ППК. Это часть системы идентификации, оценки и управления рисками по стандарту ISO 22000 HACCP / ХАССП [6].

Контроль за соблюдением санитарного законодательства в общепите (включая выполнение лабораторных исследований) возложен на Роспотребнадзор. Однако, с 2022 года действуют надзорные каникулы: плановые проверки малого и среднего бизнеса не проводятся. Тем большее значение приобретает самостоятельный мониторинг качества продукции и условий её приготовления.

Для помощи предприятиям общественного питания организована испытательная лаборатория «Веста», которая аккредитована в системе Росаккредитации (ГОСТ ИСО/МЭК 17025) и выполняет все виды лабораторных анализов и инструментальных исследований. Относительно определения объемов и периодичности лабораторных исследований в общественном питании нам интересны следующие документы, вступившие в силу после 1 января 2021 года [7, 8]:

1. МР 2.3.6.0233-21 «Предприятия общественного питания. Методические рекомендации к организации общественного питания населения».

2. МР 2.3.0279-22 «Гигиена питания. Рекомендации по осуществлению производственного контроля за соответствием изготовленной продукции стандартам, техническим регламентам и техническим условиям. Методические рекомендации».

3. МР 2.4.0259-21 «Гигиена детей и подростков. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований к организациям, реализующим образовательные программы дошкольного образования, осуществляющим присмотр и уход за детьми, в том числе размещенным в жилых и нежилых помещениях жилищного фонда и нежилых зданий, а также детским центрам, центрам развития детей и иным хозяйствующим субъектам, реализующим образовательные программы дошкольного образования и (или) осуществляющим присмотр и уход за детьми, размещенным в нежилых помещениях».

4. МР 2.4.0179-20 «Гигиена детей и подростков. Рекомендации по организации питания обучающихся общеобразовательных организаций. Методические рекомендации».

5. СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней».

Микробиологические показатели продукции общественного питания характеризуют микробиологическую обсемененность сырья, продукции, упаковки, оборудования и т.п., зависящую от соблюдения технологических и санитарных требований при производстве, транспортировании, хранении и реализации. Микробиологический контроль на предприятиях питания включает:

- исследование продукции, вырабатываемой организациями пищевой промышленности и общественного питания на всех этапах технологического процесса (сырье, полуфабрикаты, готовая продукция);

- исследование пищевых продуктов, хранящихся на продовольственных складах и реализуемых в торговой сети;

- обследование работников подконтрольных пищевых объектов на бактерионосительство (по эпидемиологическим показателям);

– исследование смывов с рук работников, оборудования, инвентаря и других объектов производственной среды.

Порядок и периодичность санитарно-гигиенического контроля устанавливаются руководителем пищевого производства по согласованию с территориальной службой Роспотребнадзора. Все результаты микробиологического анализа пищевых продуктов могут быть получены не ранее 48-72 ч, т. е. когда продукт уже может быть реализован. Поэтому контроль по этим показателям носит ретроспективный характер и служит для оценки санитарно-гигиенического состояния пищевого производства.

Проводя анализ биологических опасных факторов кулинарной продукции, стоит отметить, что в продуктах питания содержатся самые разнообразные микроорганизмы, которые можно подразделить на три группы:

- патогенные (болезнетворные) микроорганизмы;
- микробы, вызывающие гниение продуктов;
- полезные микроорганизмы.

С точки зрения концепции системы ХАССП, направленной на управление качеством пищевой продукции, особое внимание заслуживают две группы микроорганизмов:

1. патогенные (болезнетворные)
2. микроорганизмы и микробы, вызывающие гниение/порчу продуктов питания.

Производство пищевых продуктов сопряжено с риском контаминации продукции болезнетворными микроорганизмами. При этом источниками их поступления в пищевые продукты могут быть:

1. Сырье (получаемая предприятием продукция: сельскохозяйственная продукция растительного и животного происхождения, а также - продукция пищевой промышленности).
2. Окружающая среда (воздух, вода и оборудование).
3. Персонал.

Количество и виды микроорганизмов, вирусов в сельскохозяйственной продукции растительного и животного происхождения, готовых пищевых продуктах зависят от разновидностей и типов продукции различного происхождения, географического региона, метода приготовления продукции, убоя скота или сбора урожая. Пища, инфицированная патогенными и условно-патогенными микроорганизмами, вызывает алиментарные заболевания.

Микробные пищевые отравления делятся на две группы: пищевые инфекции и пищевые отравления. При пищевых инфекциях обычно не происходит размножения патогенных микроорганизмов, пищевой продукт является лишь их передатчиком. Пищевые отравления – это острые инфекционные заболевания, возникающие в результате употребления пищи, массивно обсемененной определенными микроорганизмами или содержащей токсичные для организма вещества микробной или немикробной природы.

Поскольку анализ опасностей пищевой продукции требует от группы ХАССП знания не просто случаев пищевых отравлений, а понимания базовых вопросов причин попадания в продукты питания микроорганизмов, в работе рассмотрим отдельные аспекты данной проблемы. На наш взгляд, эти примеры представляются важными для понимания проблем управления качеством пищевой продукции и установления критических контрольных точек (т.е. технологических операций, где риски возможны), прежде всего членами группы ХАССП, которым предстоит разработать план ХАССП и обучить принципам ХАССП, убеждая каждого работника в его ответственности за качество кулинарной продукции.

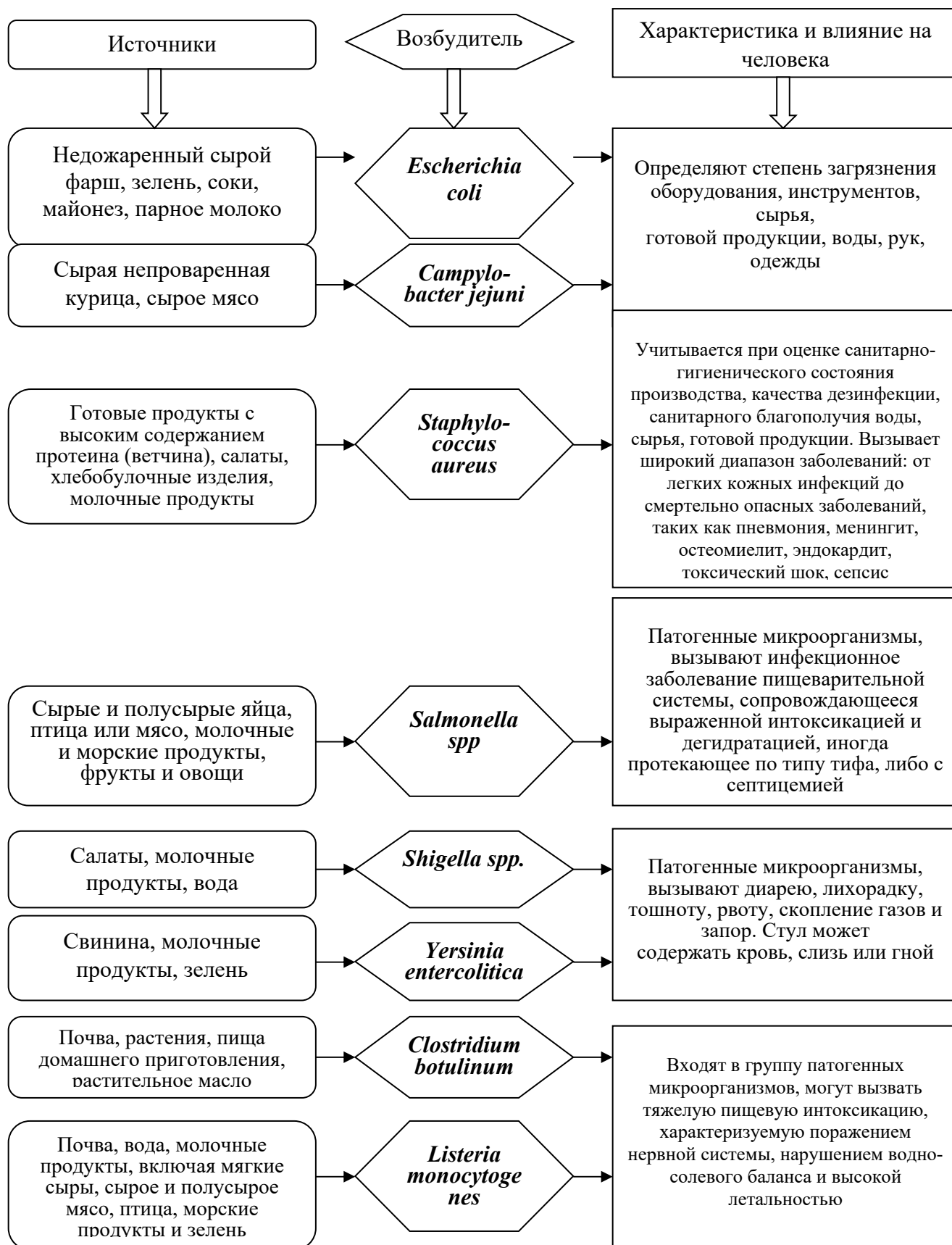


Рисунок 1. Микробиологические источники пищевых инфекций и отравлений

При производстве кулинарной продукции источниками пищевых отравлений и инфекций в основных случаях являются микроорганизмы, представленные на рис. 1.

Любой продукт содержит определенное количество микроорганизмов, которые при несоблюдении санитарно-гигиенических требований могут успешно размножаться, повышая риски пищевой продукции здоровью человека. В целях облегчения разработки мероприятий для борьбы с биологическими опасностями целесообразно разделить их на группы:

- санитарно-показательные микроорганизмы;
- условно-патогенные микроорганизмы;
- патогенные микроорганизмы;
- микроорганизмы порчи;
- вирусы;
- насекомые и грызуны.

Так как пищевые заболевания, связанные с употреблением пищи в ресторанах, могут иметь серьезные последствия для здоровья посетителей (привести к госпитализации, временной нетрудоспособности, смерти), руководству предприятий важно грамотно управлять рисками. Соблюдение требований нормативной документации, применение традиционных и инновационных технологий и оборудования могут расширить ассортимент кулинарных изделий, способствовать повышению уровня качества и безопасности продукции [9].

В табл. 1 представлена характеристика биологически опасных факторов при производстве кулинарной продукции [10, 11].

Таблица 1. Характеристика биологически опасных факторов при производстве кулинарной продукции.

№ п/п	Группа биологических факторов	Представители	Характеристика
1	Санитарно-показательные микроорганизмы (СПМ)	Группа А. (БГКП) — эшерихии, цитробактер, энтеробактер, клебсиеллы; энтерококки, протеи, сальмонеллы, клостридии, термофилы, бактероиды, бактериофаги, др.	Группа включает обитателей кишечника человека и животных. Они являются индикаторами фекального загрязнения
2		Группа В. Стафилококки (<i>S. aureus</i>), а также зеленящие и гемолитические стрептококки	Группа включает обитателей верхних дыхательных путей и носоглотки. Они являются индикаторами орального загрязнения
3		Группа С. Аммонифицирующие, нитрифицирующие бактерии, некоторые спорообразующие бактерии, грибы, актиномицеты, сине-зелёные водоросли и др.	Группа включает микроорганизмы-сапрофиты, обитающие во внешней среде. Они являются индикаторами процессов самоочищения
4	Условно-	<i>Escherichia coli</i>	Является представителем СПМ, но

№ п/п	Группа биологических факторов	Представители	Характеристика
	патогенные микроорганизмы		внутри этого вида имеются энтеропатогенные штаммы, вызывающие у человека различные заболевания желудочно-кишечного тракта (ЖКТ): колиты, энтероколиты, эшерихиозы и др.
5		<i>Bacillus cereus</i> (восковидная палочка)	Широко распространена в природе (почва, вода). Некоторые штаммы вредны для человека и вызывают пищевые отравления.
6		<i>Proteus spp.</i>	Представляют нормальную, условно-патогенную флору кишечника. Патогенными для человека являются три вида протей – <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> и <i>Proteus penneri</i> , причем наиболее часто заболевания вызывает <i>Proteus mirabilis</i> .
7		Сульфитредуцирующие бактерии <i>Clostridium perfringens</i>	Естественный резервуар: желудочно-кишечный тракт человека и животных; находится в почве, пыли, сточных водах, различных отложениях почвы. Возбудитель пищевых отравлений, газовой гангрены
8		<i>Pseudomonas</i>	Обитает в воде, почве, возбудитель инфекций у человека, обнаруживается при абсцессах и гнойных ранах
9		<i>Enterobacter</i>	Входят в состав нормальной микрофлоры кишечника человека и животных, их обнаруживают в почве, воде, в продуктах питания. Вызывают инфекционные заболевания почек и мочевыводящих путей, половых органов, респираторной системы. Токсигенные штаммы <i>Enterobacter</i> часто являются причиной заболеваний с летальным исходом
10		<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Широко распространены во внешней среде и встречаются в прибрежных морских водах, в морской рыбе, крабах, моллюсках. Возбудитель гастроэнтеритов у человека
11	Патогенные микроорганизмы	<i>Salmonella spp.</i>	Источники: яйца, мясные и молочные продукты, а также продукты растительного

№ п/п	Группа биологических факторов	Представители	Характеристика
			происхождения. Являются возбудителями брюшного тифа, паратифов и других сальмонеллёзов
12		<i>Staphylococcus aureus</i>	25-40 % населения являются постоянными носителями этой бактерии, которая может сохраняться на кожных покровах и слизистых оболочках верхних дыхательных путей. Вызывает широкий диапазон заболеваний: с лёгких кожных инфекций до смертельно опасных заболеваний (пневмония, менингит и др.)
13		<i>Clostridium botulinum</i>	Обитает в почве, бактерии колонизируют ил на дне водоёмов, инфицируют рыб, животных. Возбудитель ботулизма (тяжелая пищевая интоксикация)
14		<i>Listeria</i>	Встречаются в почве, воде, растениях, животных. Продукты питания инфицируются листерией в процессе производства и хранения. Листерия вызывает заболевание у человека - листериоз
15		<i>Vibrio vulnificus</i>	Присутствует в морской среде. Причина кожных инфекций при попадании в рану, вызывая целлюлит или даже сепсис; острый гастроэнтерит при употреблении сырых или недоваренных моллюсков. Вызывает рвоту, диарею и боли в животе, может поражать кровотоки, вызывая тяжелое и опасное для жизни заболевание
16		<i>Yersinia</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i> и <i>Y. Pseudotuberculosis</i> – зоонозы, которые встречаются во всём мире и попадают в организм при употреблении в пищу или обработке заражённой пищи (чаще всего сырой или недоваренной свинины и непастеризованного молока или молочных продуктов) или воды, а иногда и при контакте с животными. <i>Yersinia pestis</i> – возбудитель чумы.
17	Микроорганизмы порчи	Дрожжи	Вызывают порчу продукции с высоким содержанием сахаров, сбраживая их с выделением спирта

№ п/п	Группа биологических факторов	Представители	Характеристика
18		Плесени	Расщепляют белки, жиры, углеводы пищевых продуктов. Придают продуктам специфические вкус и запах. Некоторые виды плесневых грибов в процессе своей жизнедеятельности могут синтезировать афлатоксины – соединения, токсичные для человека.
19		Гниlostные грибы	Возбуждают гниение — глубокий распад белков и продуктов их гидролиза. Гниение возникает в продуктах, богатых белками — в мясе, рыбе, яйцах, молоке и др.
20	Вирусы	Норовирусы	Вирусы могут в течение нескольких месяцев храниться в пищевых продуктах, окружающей среде, обнаруживаются в листовых зелёных овощах, ягодах, салатах, моллюсках, свиной печени и воде. Заражение норовирусами проявляется тошнотой, сильной рвотой, водянистой диареей и болью в брюшной полости.
21		Вирус гепатита А	Вирус гепатита А может привести к долгосрочному поражению печени и обычно распространяется через сырую или полусырую рыбу и морепродукты, а также заражённые фрукты и овощи
22	Насекомые и грызуны	Мухи, тараканы, домовые муравьи, комары, крысиные клещи, вредители запасов (жуки, бабочки, клещи и др.).	Насекомые, питаются продуктами, пищевыми отбросами, экскрементами человека и животных, в том числе больных, загрязняют пищевые продукты возбудителями туберкулеза, кишечных заболеваний — дизентерии, брюшного тифа, паратифов, холеры, вирусного гепатита, гастроэнтерита, яйца гельминтов и др.
23		Грызуны (крысы, домовые мыши, полевки и др.)	Грызуны опасны для человека как хранители и источники многих инфекционных болезней. Человек заражается от грызунов через загрязненные ими пищевые продукты и воду: туляремии, лептоспироза, риккетсиозов, паразиты и др.

Заключение

Таким образом, в ходе работы была дана классификация и характеристика биологически опасных, которые возникают на предприятиях общественного питания при производстве кулинарной продукции, которая поможет разработчикам систем менеджмента безопасности пищевых продуктов обеспечить контроль и минимизацию риска возникновения биологических опасностей.

Список литературы

1. Сайт электронного фонда правовых и нормативно-технических документов «ГОСТ 31985-2013. Межгосударственный стандарт. Услуги общественного питания. Термины и определения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103471> (дата обращения: 26.11.2024).
2. Толстова, Е. Г. Безопасность как основа качества услуг общественного питания / Е. Г. Толстова. — Текст : непосредственный // Вопросы экономики и управления. — 2016. — № 1 (3). — С. 54-56. — URL: <https://moluch.ru/th/5/archive/22/572/> (дата обращения: 26.11.2024).
3. Гунькова, П. И. Основы санитарно-гигиенического контроля в пищевой промышленности : учебно-методическое пособие / П. И. Гунькова, Л. В. Красникова. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2016. — 97 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91377> (дата обращения: 26.11.2024).
4. Сайт электронного фонда правовых и нормативно-технических документов «Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 22 апреля 2024 года)». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=m4847k81i3281191372> (дата обращения: 26.11.2024).
5. Сайт электронного фонда правовых и нормативно-технических документов ГОСТ 30390-2013 «Услуги общественного питания. Продукция общественного питания, реализуемая населению. Общие технические условия». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107326> (дата обращения: 26.11.2024).
6. Сайт электронного фонда правовых и нормативно-технических документов ГОСТ Р 55889-2013 «Услуги общественного питания. Система менеджмента безопасности продукции общественного питания. Рекомендации по применению ГОСТ Р ИСО 22000-2007 для индустрии питания. Services of public catering. The safety management system of public catering products. Recommendations about application. GOST R ISO 22000-2007 for the food industry». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116601?ysclid=m484owc1ul391919989> (дата обращения: 26.11.2024).
7. СанПиН 1.1.1058-01. Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарнопротивоэпидемических (профилактических) мероприятий. URL: <file:///C:/Users/MainUser/Desktop/sanpin-1.1.1058-01.-organizaciya-i.pdf> (дата обращения: 26.11.2024).
8. Поздняков, И. Лабораторный контроль в общественном питании по ХАССП и программе производственного контроля. URL: <https://prof.haccp-likbez.ru/laboratornyi-kontrol-v-obchestvennom-pitaniipite> (дата обращения: 26.11.2024).
9. Прокопенко, И. А. Влияние высокого давления на микробиологические показатели мяса птицы / И. А. Прокопенко, Ю. О. Веляев, А. Е. Максименко // Все о мясе. — 2022. — № 3. — С. 54-59. — DOI 10.21323/2071-2499-2022-3-54-59.
10. Тулякова, Т. В. Проблемы обеспечения биологической безопасности пищевых продуктов / Т. В. Тулякова, Е. В. Крюкова, Г. В. Парамонов // Вестник Медицинского института непрерывного образования. — 2022. — Т. 2, № 2. — С. 50-52.

11. Санитарная микробиология пищевых продуктов : учебное пособие / Р. Г. Госманов, Н. М. Колычев, Г. Ф. Кабиров, А. К. Галиуллин. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1737-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211853> (дата обращения: 26.11.2024).

12. Бурова, Т. Е. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания : учебник / Т. Е. Бурова. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 364 с. — ISBN 978-5-8114-3968-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130155> (дата обращения: 26.11.2024).

