

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова»

На правах рукописи



**Бабкин Дмитрий Сергеевич**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ СЛОИСТЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ  
СВОЙСТВАМИ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация  
производства

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Антипова Татьяна Николаевна

Королев-2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>Глава 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОДСИСТЕМАМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	11
1.1 Теоретические и практические аспекты построения информационного обеспечения современных систем управления качеством продукции.....	11
1.1.1 Основная нормативная документация по управлению качеством композиционных материалов .....	11
1.1.2 Теоретические положения управления качеством, методы и инструменты их реализации .....	19
1.2 Современное состояние информационного обеспечения в управлении качеством изготовления изделий из композиционных материалов .....	25
1.3 Металломатричные композиционные материалы.....	29
1.3.1 Классификация МКМ .....	29
1.3.2 Классификация МКМ с титановой матрицей и методы их получения.....	31
1.3.3 Виды углеродного армирующего и их взаимодействие с титановой матрицей .....	34
Выводы по главе 1.....	40
<b>Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	42
2.1 Разработка основных требований к информационному обеспечению системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов .....	42
2.2 Структура подсистемы информационного обеспечения качества металломатричных слоистых композиционных материалов.....	49
Выводы по главе 2.....	53
<b>ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ Ti-Cu-C</b> .....	54
3.1 Обоснование комплекса моделей информационного обеспечения производства изделий из металломатричного композиционного материала системы Ti-Cu-C.....	54
3.2 Разработка системы управления качеством изготовления металломатричного слоистого композиционного материала.....	77
Выводы по главе 3.....	85
<b>ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ Ti-Cu-C</b> .....	88
4.1 Экспериментальные исследования по получению металломатричного композиционного материала Ti-C .....	88
4.1.1 Исследование получения композиционного материала Ti-C методом литья с применением прута титана марки ВТ-14.....	89
4.1.2 Исследование получения композиционного материала Ti-C методом литья с применением порошка титана марки ВТ-1-0 .....	94

4.1.3 Обоснование создания металломатричного слоистого композиционного материала (МСКМ) системы Ti-Cu-C.....	97
4.2 Применение вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов.....	106
Выводы по главе 4.....	112
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	114
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	116
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b> .....	132
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b> .....	133
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b> .....	134

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы диссертации**

Информационное обеспечение является неотъемлемой частью системы управления качеством продукции, которая должна реализовывать как функции оперативного управления, так и планирования с учетом средств их реализации.

Анализируя существующие информационные подсистемы для управления качеством композиционных материалов, следует отметить, что они не в полной мере отвечают требованиям по качеству информации для оперативного управления и планирования, что приводит к падению эффективности управления и соответственно к ухудшению качества выпускаемой продукции.

В результате анализа опубликованных материалов по управлению качеством изделий, в том числе из композиционных материалов, выявлено, что разработанные ранее модели невозможно применить к металломатричным слоистым композиционным материалам (МСКМ) в связи со спецификой их производства. Кроме того, все опубликованные результаты исследований направлены на решение задач оперативного управления и, таким образом, не рассматривался важнейший аспект управления – планирование, которое требует построения прогнозных моделей, что в свою очередь приводит к необходимости включения блока прогнозной информации, а также блока средств реализации технологии (оборудование) в подсистему информационного обеспечения.

Кроме того, проблемы качества продукции, изготовленной из металломатричных композиционных материалов, а именно подкласса слоистых металломатричных композиционных материалов, не были в достаточной степени рассмотрены в научных работах.

Таким образом, разработка научно обоснованного информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами является актуальной задачей.

## **Степень разработанности темы исследования**

Среди научных разработок отечественных ученых в области управления качеством наибольший интерес представляют работы Б.В. Бойцова, Ю.С. Ключкова, В.В. Бойцова, А.А. Богданова, А.Я. Боярского, В.Н. Азарова, И.Г. Резника и другие.

Основные методы и инструменты управления качеством продукции были предложены в научных разработках и докладах следующих иностранных авторов: В. Парето, Г.Л. Ганта, В. Шухарта, Э. Деминга, Дж. Джурана, Г. Тагути, Ф. Тейлора, К. Исикава и других.

Кроме того, существуют наработки по научному обоснованию и внедрению информационного обеспечения технических систем в различных сферах деятельности М.Р. Когаловского, Ю.В. Бородакия, Ю.П. Липунцова.

## **Область исследования**

Область данного исследования соответствует паспорту специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства, в том числе пунктам:

- п.1 Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства.
- п.9 Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов.
- п.23 Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

**Объект исследования:** система менеджмента качества металлматричных слоистых композиционных материалов (МСКМ).

**Предмет исследования:** подсистема информационного обеспечения системы управления качеством металлматричных слоистых композиционных материалов.

**Цель:** разработка структуры информационного обеспечения для системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать основные теоретические положения построения подсистемы информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричных слоистых композиционных материалов.

2. Обосновать структуру информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных композиционных материалов для обеспечения оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

3. Провести экспериментальное исследование для выявления зависимостей и построения комплекса графических и математических моделей с целью обоснования параметров технологических операций с учетом возможностей оборудования для получения требуемых показателей качества.

4. Разработать модель управления качеством изделий из металломатричного слоистого композиционного материала.

5. Провести экспериментальное исследование для обоснования технологии получения нового металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C.

### **Научная новизна диссертационной работы**

В результате проведенных исследований были получены следующие новые научные результаты:

1. Разработаны основные требования к построению системы информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричных слоистых композиционных материалов, основанные на принципах системного и процессного подходов и гарантирующие получение качественной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

2. Обоснована структура системы информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричного слоистого композиционного

материала, которая обеспечивает реализацию требований по полноте информации для оперативного управления (управляющих воздействий), мониторинга (информации обратной связи) на всех стадиях технологических процессов, оценки соответствия качества продукции требованиям заказчика, а так же планирование производства новой продукции.

3. На основании проведенных экспериментальных исследований получен комплекс математических и графических зависимостей, обеспечивающих информацию для выполнения технологических операций, гарантирующих получение изделий с заданными показателями качества. В том числе получены зависимости показателя качества конечной продукции (толщина) от характеристики полуфабриката (средняя толщина насыщенного углеродного холста) и обоснованы их достоверные значения 0,0119 - 0,0129 мм, которые обеспечивают получение толщины конечной продукции  $y = 0,55 - 0,58$  мм. Так же получена зависимость показателя качества конечной продукции (толщина) от параметра технологической операции (температуры спекания) и обоснованы их достоверные значения от 800 до 1900°C, которые обеспечивают заданные заказчиком толщины конечной продукции  $y = 4,3 - 4,9$  мм.

4. В развитие полученной концептуальной модели технологии производства продукции из металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C разработана блок-схема управления качеством продукции из данного материала, которая представляет собой совокупность элементов (технологических операций), каждый из которых связан входными и выходными потоками информации об исходных материалах, управляющих воздействиях (параметрах технологических операций) и характеристиках полуфабрикатов. Данная модель позволяет обосновать структуру системы информационного обеспечения для оперативного управления качеством новых металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами.

### **Практическая значимость результатов**

Обоснована технология изготовления нового металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C, отвечающая перспективным

требованиям заказчика для применения в разработках авиационной, ракетно-космической и военной техники. Основными факторами, влияющими на показатели качества МСКМ, являются технологические параметры, одним из них является горячевакуумное прессование.

В результате экспериментальных исследований разработаны рекомендации по рационализации технологического процесса горячевакуумного прессования, а именно выдержка при 700°C в течение 30-60 минут с последующим поднятием температуры до 1000-1800°C и последующей выдержкой в течение часа при давлении 10 МПа с применением схемы послойной выкладки с соотношением фольг титана и меди Cu- 55%, Ti -45%.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО «Центр безопасности информации» (Королев), ФБУ «Авиалесоохрана» (Пушкино), в учебный процесс Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика космонавта А.А. Леонова» для подготовки обучающихся по направлениям 27.03.02 «Управление качеством» (уровень образования - бакалавриат), 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» (уровень образования - бакалавриат), 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» (уровень образования - специалитет).

### **Методология и методы исследования**

Исследования основаны на методологии системного и процессного подходов, а также применены методы графического и математического моделирования, сравнительный и риск-ориентированный анализ.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Основные теоретические положения построения подсистемы информационного обеспечения производства металломатричных слоистых композиционных материалов.

2. Структура системы информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C.



3. Комплекс математических и графических зависимостей показателей качества конечной продукции от параметров технологических операций, характеристик полуфабрикатов.

4. Модель управления качеством металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C, основанная на методологии системного и процессного подходов и учитывающая особенности производства и пооперационный характер формирования показателей качества продукции.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Изучение и анализ научной литературы по теме диссертационного исследования, применение общепринятых методов и подходов, экспериментальное подтверждение полученных результатов обеспечивают достоверность результатов диссертационного исследования.

Наиболее важные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. 4-я Всероссийская научная конференция перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху» (Курск, 2021 г.);

2. XI Ежегодная научная конференции аспирантов «МГОТУ» «Инновационные аспекты социально-экономического развития региона». Д.С. Бабкин, В.Г. Исаев. Применение вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов (Королев, 2021 г.);

3. Всероссийская научно-техническая конференция «От качества инструментов к инструментам качества». Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин. Управление качеством создания композиционных материалов для авиационной и космической техники: теория и практика (Тула, 2023 г.);

4. X Всероссийская научно-практическая интернет-конференция «Актуальные проблемы менеджмента качества, стандартизации и метрологии». Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин. Повышение эффективности управления качеством композиционных материалов для авиационной и космической техники (Белгород, 2025 г.);

5. X Всероссийская научно-практическая интернет-конференция

«Актуальные проблемы менеджмента качества, стандартизации и метрологии». Д.С. Бабкин. Экспериментальное исследование влияния технологических параметров изготовления композиционных материалов на качество металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C (Белгород, 2025 г.).

**Личный вклад автора** заключается в выборе и обосновании актуальности темы исследования, идентификации цели и постановки задач для ее достижения. Проведение анализа современных методов по разработке моделей информационного обеспечения системы управления качеством, разработка модели информационного обеспечения системы управления качеством на примере предлагаемого автором нового металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C, разработка теоретических положений информационного обеспечения системы управления качеством металлматричных слоистых композиционных материалов, разработка графических и математических моделей, подготовке статей по теме диссертационного исследования.

### **Публикации**

По теме диссертационного исследования опубликовано 8 статей, в том числе 2 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 131 страницах, содержит 38 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 113 наименований, 3 приложения на 3 страницах.

# **Глава 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОДСИСТЕМАМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **1.1 Теоретические и практические аспекты построения информационного обеспечения современных систем управления качеством продукции**

### **1.1.1 Основная нормативная документация по управлению качеством композиционных материалов**

Первичной проблемой композиционных материалов (КМ) является отсутствие структурированной нормативной документации. Обращая на это внимание, можно соотнести, что в мировой доле производства, согласно документации, изготовление композиционных материалов составляет более миллиона тонн, а объем российского производства не составляет и доли процента от общемирового [1].

Рассмотрим имеющиеся стандарты в области металломатричных композиционных материалов:

ГОСТ Р 57407-2017 – Национальный стандарт Российской Федерации. Волокна углеродные. Общие технические требования и методы испытаний. ОКС 25.220.20. Дата введения 2017-09-01 [2].

Настоящий стандарт нацелен на углеродное волокно, изготовленное из: пековых, целлюлозных, полиакрилонитрильных прекурсоров. И применяются в изготовлении ткани на углеродной основе, а также при создании КМ в качестве наполнителя, допустим углепластика, углерод-углеродных материалов, металлических КМ и т.д.

Данный стандарт устанавливает основные термины и определения, так же в нем представлена категоризация волокна по его модулю упругости:

- углеродное волокно, если при растяжении, обладает модулем упругости в радиусе ниже 250 ГПа, называется низко модульным;

- углеродное волокно, если при растяжении, обладает модулем упругости в радиусе пределе 250-300 ГПа, называется среднемодульным;
- углеродное волокно, если при растяжении, обладает модулем упругости в радиусе более 300 ГПа, называется высокомодульным.

Так же следует отметить наличие методов испытаний и выделения основных характеристик волокна, а именно: определение прочности, модуля упругости и относительного удлинения волокна.

ГОСТ Р 58062-2018 – Национальный стандарт Российской Федерации. Ткани на основе углеродных волокон. Технические требования и методы испытаний. ОКС 59.100.20. ОКП 19 1632. Дата введения 2018-08-01 [3].

Настоящий стандарт распространяется на углеродные ткани конструкционного назначения, изготовленные из углеродных нитей и предназначенные для применения в качестве наполнителей при изготовлении полимерных композиционных материалов, в том числе с применением наномодифицированных полимерных связующих, и устанавливает технические требования, предъявляемые к углеродным тканям, и методы испытаний их основных характеристик.

ГОСТ Р 56467-2015 – Национальный стандарт Российской Федерации. Системы космические. Материалы порошковые металлические и металлические композиционные. Классификация. Номенклатура показателей. ОКС 49.025.99. Дата введения 2016-01-01 [4].

Представленный стандарт действует на порошковые металлические и металлические композиционные материалы, которые были получены по методике порошковой металлургии.

Следует особо отметить наличие классификации по структуре, представленной на рис. 1.

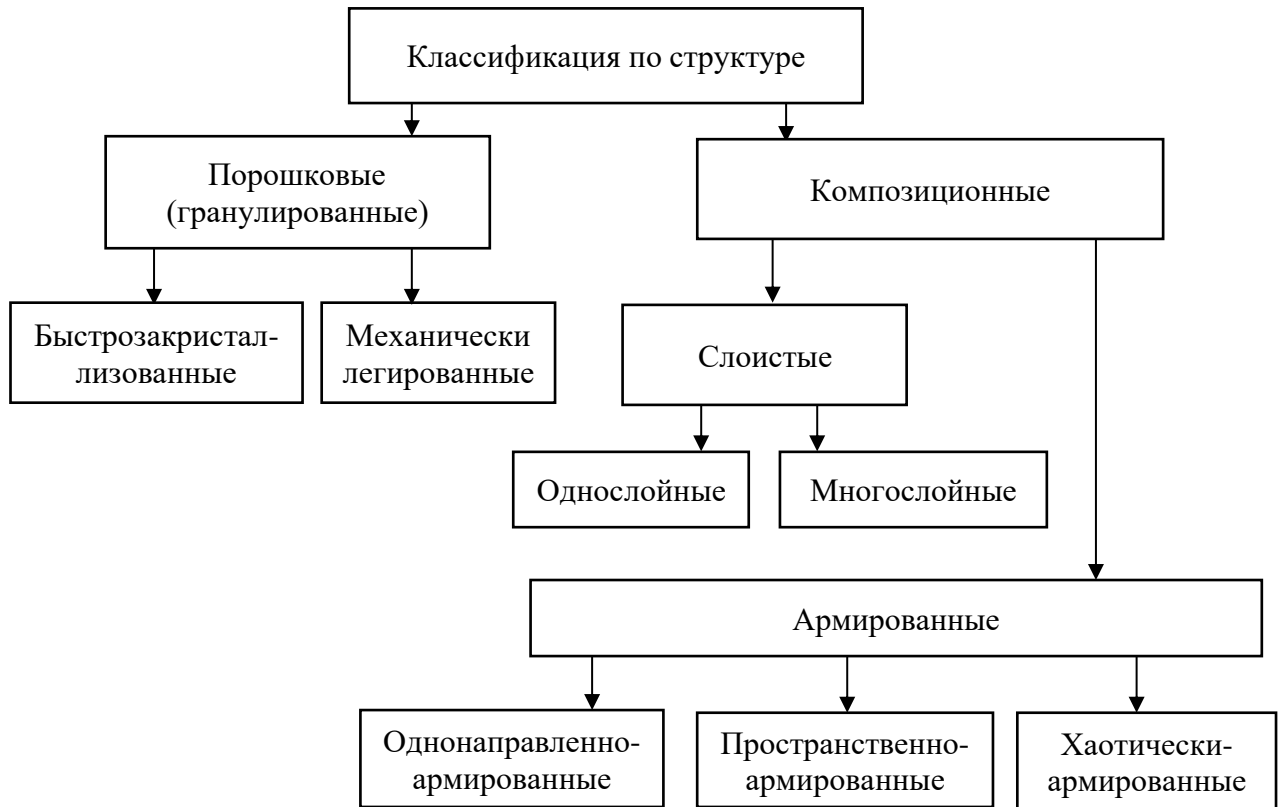


Рисунок 1 – Классификация порошковых материалов по структуре [4]

ГОСТ Р 56656-2015 – Национальный стандарт Российской Федерации. Композиты металлические. Метод определения характеристик прочности при растяжении армированных волокнами композитов с металлической матрицей. ОКС 77.040.10. Дата введения 2017-01-01 [5].

Настоящий стандарт устанавливает метод определения характеристик прочности при растяжении композиционных материалов с металлической матрицей, армированной непрерывным и прерывистым высокомодульным волокном, а также нетрадиционных композиционных материалов с металлической матрицей.

Метод, представленный в данном стандарте, заключается в испытании образцов на растяжение при нормальной или повышенной температурах с постоянной скоростью деформирования до разрушения, при котором определяют:

- предел прочности при растяжении;
- модуль упругости при растяжении;
- относительное удлинение при разрушении;

- коэффициент Пуассона.

Работа по анализу направления и разработки нормативной документации проводилась авторами [6].

В данной работе отмечается, что авиационная и ракетная промышленность смогла выйти на более высокий уровень из-за появления нормативной документации для КМ, что в свою очередь улучшило и расширило использование данных материалов.

Проанализировав данные технического комитета 497 «Композиты, конструкции и изделия из них», можно констатировать объемное рассмотрение подкласса полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Считаю, что данный факт связан с широким распространением ПКМ в гражданской промышленности. Однако следует отметить недостаточное количество систематизированной общепринятой нормативной документации по металлматричным композиционным материалам, а также отсутствие системы показателей качества на подкласс материала – металлматричного слоистого композиционного материала. Рассмотрим показатели качества в нормативной документации.

В изготовленной производством продукции свойства могут быть зафиксированы как: качество и количество, где качество – определяет характеристику соответствия по цвету, дизайну и т. д., а количество – фиксирует совокупность одного или нескольких свойств продукции, решающим фактором которого рассматривают заданные условия его создания и (или) эксплуатация, (например, размеры изделий, безотказность при работе, себестоимость, масса и размер выпускаемого изделия). Все это называется показателем качества продукта [7].

Обоснование выбора номенклатуры показателей качества производится с учетом:

- назначения и условий использования продукции;
- анализа требований потребителя;
- задач управления качеством продукции;

- состава и структуры характеризующих свойств;
- основных требований к показателям качества.

Если рассмотреть табл. 1 подробнее, то определенные показатели могут оценить один или несколько свойств продукта, следовательно, полученные данные можно отнести к единичной или совокупной однородной продукции.

Таблица 1 – Признаки и группы показателей качества [11]

Признак	Группа
По количеству характеризующих свойств	Единичные Комплексные Интегральные
По характеризующим свойствам	Назначения Надежности Экономичности Эргономичности Эстетичности Технологичности Стандартизации и унификации Патентно-правовые Экологические Безопасности Транспортабельности
По способу выражения	В натуральных единицах (кг, мм, баллы и др.) В стоимостном выражении
По этапам определения значений показателей	Прогнозные Проектные Производственные Эксплуатационные

Чтобы получить характеристику одного сложного или нескольких простых свойств, используют комплексные показатели. Термин комплексный показатель качества продукции означает согласно ГОСТ 15467-79 [8], что показатель качества продукции, характеризующий несколько ее свойств.

К комплексным показателям надежности относятся коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент общего использования [9].

Комплексные показатели количественно характеризуют два (и более) простых свойства продукции или одно сложное свойство. Например, такой показатель, как «пищевая ценность», отражает полезные свойства продукции, связанные с содержанием основных пищевых веществ (белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ), а также энергетическую ценность (килокалории, килоджоули), органолептические свойства [10].

Показатели назначения характеризуют особенности продукции, устанавливающие ключевые функции, ради исполнения которых она предназначена, что обуславливает сфера ее применения.

Таким образом, можно разделить их на функциональные и технические показатели, на примере производительности станка или прочности используемой ткани; конструктивные – включают в себя коэффициент сборности и взаимозаменяемости, а также габаритные размеры; данные по структуре и составу, демонстрируемые на примере серы, содержащейся в коксе или содержание в кислотах концентрации примесей.

Свойства конечной продукции можно рассматривать в виде безотказности, долговечности, легкости при ремонте и надёжности.

Безотказность – представляет допустимость долгосрочной работы, среднюю наработку до поломки, интенсивность отказов.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Определённый срок службы изделия и его ресурс демонстрируют его долговечность исходя из единичных показателей. Само определения «ресурс» можно применить к изделию основываясь на его долговечности при использовании, в то время как «срок службы» – фиксирует реальное время до износа и непригодности.



Ремонтопригодность – свойство изделия, заключающееся в приспособленности его к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Единичными показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления работоспособного состояния и среднее время восстановления.

Восстанавливаемость изделия характеризуется средним временем восстановления до заданного значения показателя качества и уровнем восстановления.

Сохраняемость – свойство износостойкости продукции, при котором продукт должен сохранять своё рабочее состояние до истечения срока пригодности при хранении, транспортировке и после. За единичный показатель можно выбрать приблизительный средний срок сохраняемости и конечный срок годности хранения.

Характеризующая система «человек-изделие-среда обитания» учитывает эргономичные показатели, а также сводку человеческих гигиенических, антропометрических, физиологических, психологических свойств, которые подразделяются на приведенные ниже подгруппы:

1. Гигиенические свойства, включающие освещение, температуру, шум и т.д.;
2. Антропометрические свойства, где само изделие по конструкции соответствует размерам, форме человека и его весовой категории;
3. Физиологические свойства соответствия изделия по силовому и скоростному признаку человека;
4. Психологические свойства должны соответствовать при обработке и переработке восприятия информации.

Материальные, трудовые и топливно-энергетические затраты, должны фиксировать показатель эргономичности изделия при эксплуатации на производстве. Первичным должны фиксироваться себестоимость, рентабельность изготовленной продукции и ценовая политика.

Оригинальность, оформление, соответствие по моде, рациональность формы и прочие параметры должны олицетворять художественную эстетическую грамотность изделия (соответствие, упорядоченность, особенность изготовления, применяемые материалы), а также сама композиция должна сохранять свою целостность в виде графических представлений и пластичности различных элементов.

Показатель технологичности обязан иметь отношение с достижением минимальных затрат на производстве, при эксплуатации и восстановительных работах для возвращения своей целостности до заданных изначальных значений качества. Подобная сводка определит приспособляемость изделия и задаст ему фиксированный параметр экономичности. Единичный показатель технологичности закрепляется на эргономичности изделия, акцентируя большее внимание на трудоёмкости, материалоемкости, восстановительных и ремонтных работах при поломке. Не стоит забывать параметры энергоёмкости изготовления и эксплуатации и др.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность изделия стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями, таковыми являются входящие в него детали, узлы, агрегаты, комплекты и комплексы. К данной группе относятся коэффициенты применяемости, повторяемости, унификации изделия или группы изделий.

Патентно-правовые показатели характеризуют степень патентной защиты и патентной чистоты технических решений, использованных в изделии и определяющих его конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынке.

Экологические показатели определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду в процессе эксплуатации или потребления изделия. К такому показателю можно отнести выработку вредных примесей в открытый мир и среду, газов, излучения, которые не должны допускать фиксированных законом значений допустимой концентрации.

Безопасность – характеристика продукции, показывающая способность при работе с ней гарантировать безопасность обслуживающему персоналу и другим

объектам или лицам. Если при работе с оборудованием будут необходимы надлежащие меры безопасности и средства защиты, то это должно быть описано и отражено правилами безопасности на рабочем месте, что в свою очередь должно защитить человека от непредусмотренных правилами чрезвычайных ситуаций.

Показатель перевозки (транспортабельности) характеризует её приспособленность к перемещению без её применения. Основными показателями можно представить:

1. Продолжительность подготовки продукции к транспортировке должна находиться на приемлемом уровне;
2. Подготовка продукции к транспортировке не должна быть труднореализуемой;
3. Подготовка продукции к погрузке на средство перевозки должно быть как можно короче.

Наиболее просто можно оценить процесс транспортабельности по критериям: материальной и трудовой затратности; по численности и обученности людей, занимающихся такой работой [12].

### 1.1.2 Теоретические положения управления качеством, методы и инструменты их реализации

Исходя из заключений С.В. Мальцева, процессный подход к управлению – это «делегирование полномочий и ответственности через бизнес-процессы, где бизнес-процесс – это устойчивая (многократно повторяющаяся) деятельность, преобразующая ресурсы (ВХОДЫ) в результаты (ВЫХОДЫ)» [13].

Процессный подход включает в себя систематическое определение и менеджмент процессов и их взаимодействия таким образом, чтобы достигать намеченных результатов в соответствии с политикой в области качества и стратегическим направлением организации.

Менеджмент процессов и системы как единого целого может достигаться при использовании цикла PDCA совместно с особым вниманием к риск-ориентированному мышлению, нацеленных на использование возможностей и предотвращение нежелательных результатов [14].

Применение процессного подхода в системе менеджмента качества позволяет:

- понимать и постоянно выполнять требования;
- рассматривать процессы с точки зрения добавления ими ценности;
- достигать результативного функционирования процессов;
- улучшать процессы на основе оценивания данных и информации.

Взаимосвязь терминов в области системного подхода к управлению качеством показана на рис. 2 и позволяет применять общепринятую терминологию во избежание двойственности толкований.

#### Системный подход



Рисунок 2 – Взаимосвязь терминов в области системного подхода к управлению качеством согласно ИСО 9001 [14]

Обеспечение качества изготавливаемой продукции при системном подходе достигается:

- оптимизируется рабочий процесс и изменения, вносимые в технологию. В неё входит такие параметры как создание и оптимизация системы операционного контроля, а также анализ причин брака и дефекта;
- оптимизация основных норм при проектировании, где учитываются характеристики определенной технологии производства;
- надзор и слежка за производственным процессом, заблаговременный анализ бракованной продукции [15].

Многие факторы при производственном процессе позволяют выявить и контролировать статистический анализ. Данный инструмент позволяет внести зафиксированные наблюдения, отклонения характеристик, обнаруживать определенные факторы, оптимизировать процесс при изготовлении продукции.

Системный подход к качеству продукции обеспечивает решение следующих задач:

- получение параметров качества в производственном процессе, при многофакторном анализе;
- создание улучшенной системы операционного контроля, затрагивая задачу по расчёту плана контроля;
- введение технологического ограничения в проектировании и его расчет;
- задействование итоговой информации для оптимизации проектирования;
- улучшение показателей операций и самого процесса производства [16, 17].

Методы управления и контроля качества технологического процесса, направленные на показатели качества конечного продукта.

Комплексные методы управления качеством продукции применяются, когда необходимо уменьшить объем затрат и сроки изготовления продукции для рынка, учесть пожелания потребителя и сократить время создания продукции. Различный анализ изготовленных деталей и изделий по специальной технологии позволяет реализовать комплексный метод.

Данная группа методов включает в себя такие инструменты как:

- FMEA – анализ (Failure Mode and Effects Analysis) дает возможность анализа дефектов, а также преподносит причину и последствия их проявления, оценить последствия их несвоевременного обнаружения и появления на

предприятию. Подобный анализ также гарантирует принятие мер по устранению и снижению вероятности их последующего проявления. На данный момент этот анализ является одним из наиболее эффективных методов доработки конструктивных технических объектов и процессов, ведь это очень важно при жизненном цикле изготавливаемой продукции при её разработке и подготовке [18].

- QFD (Quality Function Deployment) – метод внедрения функции качества, затрагивающий важные аспекты технологических операций и качества продукции, заключающий в себе преобразование требований потребителя в показатели качества [19].

Управление качеством с применением статистических методов

Статистические методы управления качеством продукции – это методы управления качеством продукции, основанные на использовании математической статистики.

Позволяет фиксировать состояние объектов в системах качества, возможность вовремя урегулировать их проблемы на всех этапах жизненного пути продукции. Помимо перечисленного имеется возможность быстрого, заблаговременного обнаружения разного рода отклонений, которые отходят от технологического процесса, до того момента пока не была изготовлена целая партия изделий. Также позволительно во время работы этих изделий вмешаться в процесс для своевременной корректировки.

Подобные методы можно распределить на три основные группы:

Графический метод:

1. Метод расслоение (стратификация) – разложение множества объектов для последующего упорядочения по соответствующим критериям [20].

2. Диаграмма Парето – это представление в графическом виде степени влияния различных факторов на исследуемые объекты или процесс [21].

3. Диаграмма Исикавы позволяет определить и систематизировать фактические причины возникновения проблем и отобразить их в доступной наглядной форме [22].

4. Контрольная карта – представляет собой график с определенным порядком, в котором на последовательность выборки заносят показательные значения статистического метода, отбираемые выборочными данными. График, используемый для анализа, применяют для снижения изменений контролируемых статистических показателей.

5. Контрольный лист – данный инструмент используют для повышения эффективности при использовании сохранённой информации и её последующей систематизации.

6. Диаграмма разброса – один из инструментов статистического контроля качества, применяется в производстве и на различных стадиях жизненного цикла продукции для выяснения зависимости между показателями качества и основными факторами производства [23].

7. Гистограмма.

Методы анализа статистических совокупностей:

- сравнения средних;
- сравнения дисперсий;
- регрессивный вид анализа;
- дисперсионный вид анализа;

Экономико-математические методы:

- математическое программирование;
- планирование эксперимента;
- имитационное моделирование;
- метод оценки риска и последствий отказов (FMEA);
- теория массового обслуживания;
- теория расписаний;
- функционально-стоимостный анализ;
- методы Тагути;
- структурирование функции качества (СФК).

Метод экспертного управления качеством.

Зачастую экспертный метод используют для принятия различных управленческих заданий. Данный метод заключается в анализе экспертных мнений по рассматриваемым вопросам путем усреднения множества мнений.

К разновидностям экспертных методов можно отнести органолептический и социологический.

Наиболее распространенный метод для получения экспертных оценок во время принятия решений разделяется на:

- метод рангов;
- метод непосредственного оценивания;
- метод сопоставления.

Преимущества данного метода заключаются в первую очередь своей скоростью реализации.

Недостатками можно назвать субъективность и погрешности во мнении экспертов, предоставивших свою оценку. Помимо перечисленного, затратность на приглашение экспертной комиссии, влиятельное мнение авторитетных экспертов группы на мнение отдельных людей.

Исследовательские методы и методы сродства.

К исследовательским методам управления качеством относится бенчмаркинг. В основе бенчмаркинга как метода управления качеством продукции лежит сравнение продукта конкурента или какой-либо его части, по сопоставимым параметрам с продуктом компании, проводящей анализ, с целью повышения качества и конкурентоспособности последнего.

К методам сродства относятся:

- матричная диаграмма;
- диаграмма связей;
- блок-схема процессов.

Таким образом, представленный инструментарий в полной мере может быть использован для решения задач, поставленных в данной работе.



## **1.2 Современное состояние информационного обеспечения в управлении качеством изготовления изделий из композиционных материалов**

Информационное обеспечение является неотъемлемой частью любой системы управления, таким образом, для управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов требуется научно обоснованная информационная подсистема (информационное обеспечение).

В работе рассмотрена информационная система в области композиционных материалов, с применением современных средств таких как Laravel. Авторы сделали упор на техническое обеспечение на программном уровне, а также краткое описание разработки всей информационной системы. К недостатку данной системы следует отнести отсутствие пооперационного рассмотрения технологического процесса создания композиционных материалов, оценки влияния оборудования и полуфабрикатов, не раскрыт вопрос обоснования контролируемых показателей в зависимости от изготавливаемого материала [24].

Так же вопрос построения информационной системы, а именно интеграционной оболочки был рассмотрен в работе. Данное исследование так же рассматривает техническое обеспечение на программном уровне. В данной работе отсутствует привязка к существующим процессам, данная интеграционная оболочка рассматривается как общий инструмент, вследствие этого трудно оценить работу данной оболочки на материальных примерах, так как создание композиционных материалов является сложным многооперационным процессом. Отсутствует раскрытие показателей и параметров возможных для рассмотрения в системе [25].

В научной работе была рассмотрена основная информация, которая должна включаться в структуру и программу информационного обеспечения, а также требования к ней. Система информационного обеспечения, согласно авторам, формируется на основе вида товаров, услуг и их особенностей, организацией системы управления качеством и её задачами. Исследование авторов направлено на рассмотрение информационной поддержки управления качеством продукции в

управленческо-экономических аспектах для совершенствования менеджмента предприятия, включающего бухгалтерию, документооборот и др. К недостаткам данной работы следует отнести отсутствие рассмотрения информационного обеспечения производственных процессов, направленных на изготовление продукции [26].

Автор в работе выделяет следующую цель: разработка научно-практических рекомендаций по внедрению системы информационного обеспечения управления качеством на промышленных предприятиях и методов оценки эффективности ее функционирования. Исследование выполнено на базе ОАО «Невский завод». Основным направлением в данной работе является осуществление мониторинга с применением универсальных показателей и обобщающего показателя контроля эффективности информационного обеспечения, однако отсутствует учет в информационном обеспечении технологического процесса, оборудования и возможности прогнозирования [27].

Данная работа [28] направлена на совершенствование автоматизированных систем управления информационного обеспечения предприятия. В работе предлагается применение генетического и телеологического прогноза, а также предложены рекомендации по разработке функциональной модели адаптивной ИС АСУ качеством на примере «ГОЗ Обуховский завод». Однако в данной работе не в полной мере раскрыто влияние технологического процесса, применяемого оборудования, нет апробации АСУ на выпускаемой продукции.

Применение информационных систем в управлении качеством проведено в исследовании [29]. Авторами были выявлено, что внедренные на предприятии ИС (информационных систем) позволяют отслеживать такие аспекты управления качеством в изготовлении бытовых электрических приборов, к данному модулю имеют доступ заказчик и сотрудники компании изготовителя, однако отсутствует описание наличия возможности прямой обратной связи, не раскрыто авторами, но заявляется: управление поставками, управление и мониторинг техпроцессов, складское хозяйство и некоторые другие. Описываемая в работе информационная система направлена лишь на входной контроль качества.

Управление качеством информационных систем и идентификация парадигмы было рассмотрено в работе [30]. Термин парадигма рассматривался авторами как «парадигма научная – теория (или модель постановки проблемы), принятая в качестве образца решения исследовательских задач». В результате исследования была предложена следующая трактовка базового понятия качества ИС: философия качества информационных систем – это учение о качестве информационных систем, предметом которого являются свойства, структура и закономерности процессов изменения качества информационных систем в разнообразии их отношений. К недостаткам следует отнести рассмотрение информационной системы без учета технологических аспектов, показатели качества рассмотрены только к самой системе.

Наибольший интерес из литературных источников представляет работа Олешко А.Ю. [31], в которой автор предлагает организованную информационную подсистему для получения продукции из композиционных материалов, учитывающая приоритетные требования заказчика. В данной работе рассматривался смежный подкласс металломатричных волокнистых композиционных материалов. Были предложены следующие показатели качества с учетом ГОСТ Р 56518-2015 [32]. Следует отметить, что несмотря на смежность подклассов металломатричного слоистого и волокнистого композиционных материалов технологии их получения существенно различаются, из чего следует существенное различие в параметрах технологических операций. Кроме того, обоснованные автором показатели качества продукции, основанные на требованиях заказчика, не возможно применить к подклассу металломатричных слоистых композиционных материалов в связи с различными сферами применения. Таким образом, структура показателей может быть идентична в некоторых аспектах, однако применение представленной структуры для металломатричных слоистых композиционных материалов без учета специфики производства нецелесообразно, так как может привести к падению качества выпускаемой продукции и отсутствию учета необходимых показателей качества.

Так же автором предложен комплекс параметров технологических операций и свойств материалов. Данная система отражает параметры технологических операций на всех этапах изготовления продукции и соответствует принципам процессного и системного подходов. Однако считаю, что к недостаткам следует отнести отсутствие учета характеристик оборудования, а также не полное раскрытие характеристик полуфабрикатов.

В исследовании представлена концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита. В данной модели управления качеством продукции из металломатричного волокнистого композиционного материала исследователь выделил объект управления, управляющие воздействия, информацию обратной связи и блок принятия решений. Однако не в полной мере раскрыты характеристики полуфабрикатов, а также полностью отсутствует учет влияния оборудования на характеристики полуфабрикатов и показателей качества конечной продукции, из чего можно сделать вывод, что в данной информационной системе отсутствует блок характеристик оборудования, так же в данной работе отсутствует проработка возможности получения и обработки прогнозной информации для создания перспективной продукции.

Таким образом, в результате анализа исследований по управлению качеством выявлено, что оценке и управлению качеством информационного обеспечения композиционных материалов не уделялось должного внимания. Следовательно, при применении информационных систем с ненадлежащим качеством, падает эффективность управления процессами, что приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции.

Система информационного обеспечения предназначена для сбора, анализа и хранения информации, необходимой для принятия управленческих решений и прежде всего для обоснования технологии производства.

## 1.3 Металломатричные композиционные материалы

### 1.3.1 Классификация МКМ

Композиционный материал (КМ) – материал, изготовленный из двух или более компонентов с существенно различными физическими и/или химическими свойствами, которые, в сочетании, приводят к появлению нового материала с характеристиками отличными от характеристик отдельных компонентов [33].

В процессе изучения опубликованных источников было выявлено несколько определений металломатричного композиционного материала МКМ.

На основе обобщения изученных публикаций предлагается следующее определение МКМ – это один из классов современных материалов, характеризующихся высокой прочностью и модулем упругости, малой плотностью, повышенной сопротивляемостью распространению трещин при статических и циклических нагрузках, которые широко применяются при реализации новых проектов в авиационной, космической и машиностроительной промышленности, а также в энергетике, судостроении и других отраслях. Благодаря наличию высокомодульных непрерывных волокон такие КМ демонстрируют значительное повышение эксплуатационных свойств [34, 35, 36, 37].

Таким образом, слоистые композиционные материалы представляют собой материал с чередующимися слоями матричного и армирующего материала (рис. 3). Волокнистые композиционные материалы представляют собой материал, армированный волокнами [34, 35, 36, 37].

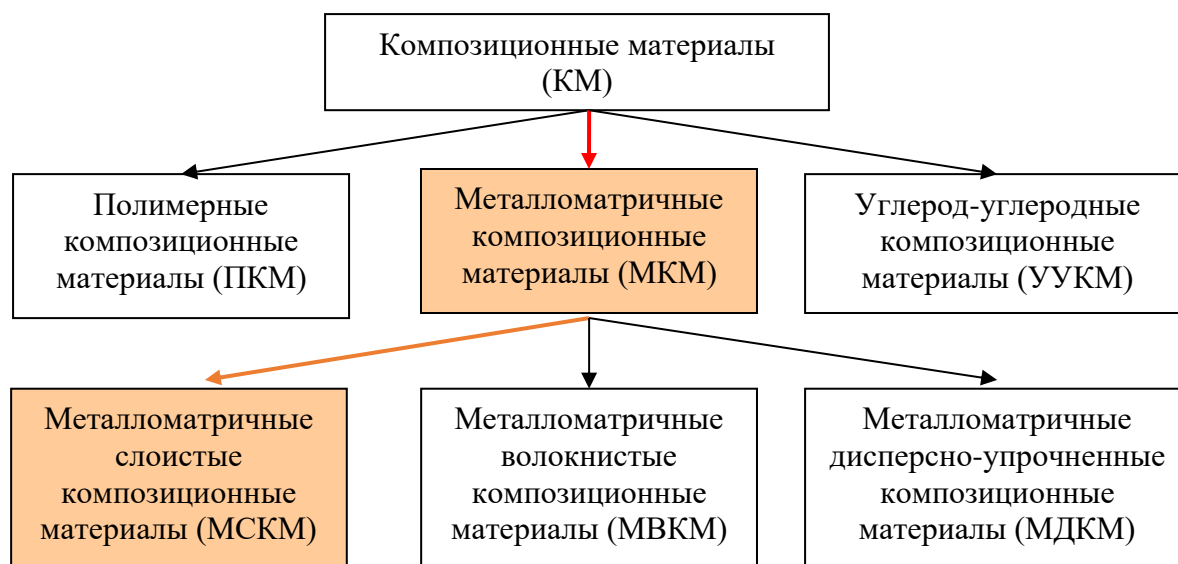


Рисунок 3 – Классификация композиционных материалов

Классификация по методам получения. Исходя из данной классификации композиционного материала, его можно разделить на материалы, которые можно получить жидкофазным и твердофазным методом, а также методом осаждения – напыления и комбинированным методом.

Направленная кристаллизация сплавов и пропитка относятся к жидкофазному методу (пропитка материала расплавленными металлами или полимерами).

Получение КМ путём прокатки, штамповки, диффузионной сварки, волочением, экструзией и другие относят к твердофазному методу. При получении КМ подобным методом его используют в виде тонких листов или порошка.

При получении КМ методами осаждения-напыления матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т. п.

Комбинированный метод включает в себя параллельное или последовательное использование нескольких методов [38].

По расположению компонентов (схеме армирования):

– волокна изотропные или квазиизотропные (дискретные или непрерывные волокна, порошковые, хаотично укрепленные дисперсионными частицами, дисперсионно упрочненные);

– анизотропные (слоистые с определённой ориентацией армирующих элементов относительно матрицы).

По количеству компонентов:

Полиматричные – присутствие нескольких матриц в материале; гибридные (полиармированные) – применение наполнителей различной природы.

Если в составе композиционного материала находятся два или более армирующих элемента, и они различные по составу, то такие композиционные материалы называются полиармированными или гибридными. Помимо названного стоит дополнить, что, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковое геометрическое строение, такие гибридные композиционные материалы называются простыми (к примеру, стеклоуглепластик – это укрепленный стеклянными и углеродными волокнами полимер). В свою очередь, если композиционный материал имеет различную природу и геометрию армирующих элементов, то он называется комбинированным (например, боралюминий, армированный прослойками титановой фольги) [39].

### 1.2.2 Классификация МКМ с титановой матрицей и методы их получения

Сравнение механических и эксплуатационных свойств композиционных материалов (КМ) на основе титановой матрицы и свойств традиционных титановых сплавов показывает, что по ряду параметров МКМ существенно их превосходят, а именно: имеют повышенную жесткость, высокое сопротивление ползучести и усталостному разрушению, а также обладают высокой износостойкостью [40].

Наибольшее влияние на качество будущего МКМ оказывает процесс насыщения армирующего материала матричным расплавом. Так как на этом этапе создания КМ происходит химическое взаимодействие матрицы и армирующего, которое определяет будущие физико-механические характеристики (ФМХ). Вследствие этого при создании МКМ следует уделить повышенное внимание данному этапу создания КМ, так как качество отражает степень соответствия совокупности характеристик продукции требованиям, в первую очередь заказчика [41].

Композиционные материалы на основе титановой матрицы изготавливают при довольно высоких температурах (800–1000°C) [40]. Данный диапазон температур приводит к тому, что применение углеродного армирования без дополнительной подготовки становится нецелесообразным, так как химическое взаимодействие приводит к деструкции волокон и появлению хрупкой фазы карбида титана [42]. В свою очередь, химическое взаимодействие матрицы титана и углеродного волокна приводит к хорошей адгезионной связи на границе раздела матрицы и наполнителя [43, 44, 45]. Для уменьшения химического взаимодействия между углеродным наполнителем и титановой матрицей с сохранением приемлемой адгезии применяют нанесение защитных покрытий, интерфейсов на армирующие волокна различными способами: гальваническим, химическим осаждением из газовой фазы и напылением [46, 47]. Исследования по созданию МКМ проводились в работе [48], где МКМ Cf / Ti-6Al-4V для применения в автомобилестроении получали искровым плазменным спеканием, с помощью которого спекались заранее подготовленные слои углеродного материала и титанового сплава Ti-6Al-4V. Автором [49] разработана экспериментальная твердофазная технология получения ВКМ «Ti – углеродное волокно» с использованием титанового порошка и дискретных углеродных волокон, а также с использованием газофазного способа формирования титановой матрицы на непрерывных углеродных волокнах.

Металломатричный композиционный материал системы Ti-Mo получают с применением метода динамического горячего прессования. Перед прессованием контейнеры с сырьем вакуумируются. После проведения процесса динамического горячего прессования получают заготовки типа «сендвич». Данный тип прессования и армирования позволяет уменьшить воздействие высоких температур на изготавливаемый композиционный материал.

К недостаткам данного метода получения металломатричного композиционного материала следует отнести увеличение плотности, которое в свою очередь приводит к уменьшению показателя удельной прочности.



Металломатричный композиционный материал Ti-B с применением волокон SiC. Волокна карбида кремния достаточно хрупкие, вследствие этого, для создания малогабаритных конструкций применяют метод диффузионной сварки в вакууме. Достоинствами применения волокон карбида кремния являются повышенные показатели внеосевой прочности, а также предела ползучести.

Композиционный материал системы Ti-B отличается относительно высокой кратковременной и длительной прочностью. При изготовлении данного композиционного материала следует учитывать, что длительные выдержки при температурах более 1000 К приводят к увеличению хрупкости материала в связи с проходящими фазовыми превращениями и, вследствие этого, образования боридов титана. Одним из вариантов комбинирования данных систем является покрытие волокон бора карбидом кремния, что повышает термическую стабильность волокон для нивелирования фазовых превращений при температурах свыше 1000 К.

Металломатричный композиционный материал системы Ti-Be характеризуется образованием интерметаллидных сплавов при температурах выше 900 К. Однако в тоже время реакция на границах раздела фаз до достижения этой же температуры не происходит.

МКМ Ti-углеродное волокно может быть изготовлено твердофазной технологией при использовании дискретного углеродного волокна и титанового порошка. Помимо вышесказанного можно использовать на непрерывных волокнах способ газофазного формирования титановой матрицы. Огромным плюсом данной технологии является создание МКМ с превышающими показателями удельной прочности и жесткости, которые не имеют аналогов в уже известных конструкционных материалах на основе титановых и алюминиевых сплавов. Однако в таком изготовлении МКМ присутствует проблема, что при взаимодействии углеродных волокон с расплавом Ti образуются его карбиды. Поэтому, чтобы защитить углеродный каркас стоит использовать жаростойкие, инертные покрытия по типу SiC и Mo.

Жидкофазные методы насыщения углеродного армирующего применяют для изготовления металломатричных композиционных материалов. Однако данный метод имеет ряд сложностей в связи с недостаточными углами смачивания углеродного армирующего рядом основных применяемых металлов или же высокой степенью карбидизации, которая приводит к увеличению скорости реакции на границе раздела фаз и, соответственно, деструкции углеродного армирующего. Следовательно, во избежание высокой степени химической реакции требуется дополнительная обработка углеродного армирующего [50, 51].

На основании изучения данных работ [50, 51] можно сделать вывод о необходимости предварительной обработки углеродного армирующего и обосновании выбора барьерных слоев во избежание деструкции армирующего в результате химического взаимодействия в процессе пропитки расплавом металлов. В связи с выбором титана в роли матричного материала стоит обратить особое внимание на интерфейсы карбида кремния для защиты углеродного армирующего, так как они инертны к материалу матрицы.

### 1.2.3 Виды углеродного армирующего и их взаимодействие с титановой матрицей

Углеродные волокна обладают весьма уникальными механическими свойствами благодаря чему активно используются в КМ, потому как экономия массы изделия считается главенствующим фактором. Например, в аэрокосмической, ветроэнергетической или спортивной отрасли [37, 46, 52]. Чтобы в дальнейшем рос спрос на углеродные волокна, в прочих отраслях промышленности необходимо понижение себестоимости.

Углеродное волокно в наше время производят преимущественно из волокон-прекурсоров полиакрилонитрила (ПАН). Однако в некоторых высокомодульных волокнах используют пеки. Пеки используются именно потому, что благодаря им из волокон можно получить конструкционный углепластик [53, 54, 55, 56].

Текстильные армирующие наполнители, состоящие из углеродных волокон, чаще всего, используются в ряде форм: одномерных нитей и жгутов, двумерных лент, тканей, сеток, а также трехмерных плетёных и тканых преформ.

Наиболее распространённым укрепляющим материалом для КМ в авиационной отрасли, являются ленты и ткани из углеволокна. Такой тип волокон с углеродным наполнением и другими подобными типами волокон изготавливают на ткацких станках. Основа углеродного волокна в большинстве случаев используется с различными характеристиками (прочность, механическое растяжение и т.д.), в свою очередь в роли утка выступают нити углеродные, арамидные, стеклянные, на основе термопластичных полимеров.

При использовании тканого наполнителя очень важно обратить внимание не только на свойства основы нитей и утка, но и ширину, толщину, поверхностную плотность, тип переплетения. Выбор зависит от того какую технологию будут использовать при изготовлении углепластика. На текущий момент, препреговая технология, чаще всего используется при изготовлении изделий для авиатехники, что является крайне затратно [57].

Плотняное плетение в тканях является наиболее технологичной при изготовке. Плюсы заключаются в низкой способности к драпируемости и плетению, достаточно плотному по структуре. Полимерный КМ, основой которого будет плотняная ткань, будет иметь низкие механические свойства. Стоит отметить, что на основе углепластика полимерный КМ будет иметь гораздо большие механические свойства, нежели плотняная ткань, где их характеристики будут практически идентичны. Плотняная ткань имеет отличное от углепластика плетение, и по причине этого будет иметь больше перегибов, а это в свою очередь, приведёт к образованию большого количества областей, содержащих в себе повышенное содержание связующего. Ткани саржевого плетения в отличие от плотняного обладают большей пропитываемостью, поэтому углеродные композиционные материалы на их основе образуют наибольшую прочность. Также ткань саржевого плетения обладает повышенной склонностью к драпируемости из-за наличия меньших перегибов волокна и обладает повышенной формоустойчивостью при работе.

Ткань сатинового переплетения обладает большей асимметричностью, что стоит учитывать при работе с ней, так как часть волокон в ней направлены к основе, а противоположная часть в направлении утка [58].

В зависимости от структуры и степени ориентации кристаллитов углеродные волокна можно классифицировать по группам согласно табл. 2.

Таблица 2 – Классификация углеродных волокон по типам [59]

Тип углеродного волокна	Модуль упругости, ГПа	Отношение прочность/модуль упругости	Максимальная температура конечной термообработки, °С
Высокопрочные со стандартным модулем	200-280	0,015-0,020	~1500
Среднемодульные	280-300	0,010-0,015	
Высокомодульные	300-500	<0,01	>2000
Сверхвысокомодульные	≥500		

Отличается производство нетканых материалов (НМ) своей простотой технологии, в отличие от традиционных способов в текстильной промышленности ткачества и прядения. Отличается и тем, что в нетканом производстве присутствует большое количество плюсов в виде большей производительности оборудования, уменьшенная финансовая затратность, увеличенный ассортимент, огромный выбор различного сырья, себестоимость продукции минимальна, а самое главное – это максимальная автоматизация производства. Помимо перечисленного, нетканые материалы имеют большие, по сравнению с традиционными способами, эксплуатационные свойства.

Базовые технологические операции производства НМ [60, 61, 62, 63, 64]:

- происходит очистка сырья от примесей и смешивания волокон, рыхление;
- получение волокнистой основы самого холста или нитей;
- образование в единую систему волокнистой основы (создание НМ).

Волокнистый холст (полотно, настил).

Текстильное волокно в подавляющем числе получают механическим способом. Из чесальной машины берут прядь волокон длиной (45-55) мм, формируя из него прочес или ватку (очень тонкий и непрерывный слой волокна с заданной плотностью). После подобной процедуры с помощью специального оборудования прочес или ватку укладывают друг на друга под различными углами, в результате чего получают холст с продольно-поперечной или продольной ориентацией [57].

Следует отметить, что при выборе углеродного волокна, следует принимать в расчет тип углеродного волокна и максимальные температуры конечной обработки, так как увеличение температуры конечной термообработки карбонизации ( $\sim 1200^\circ\text{C}$ ) или графитизации ( $\sim 1800-2100^\circ\text{C}$ ) ведет к уменьшению количества исходных примесей, но также приводит к образованию в той или иной степени коксового остатка. Не маловажным фактором является увеличение длительности технологического процесса, а также себестоимости.

Основные свойства карбида титана, включающие как механические, так и теплофизические представлены на рис. 4.

Свойства	Параметр	Значение параметра
Теплофизические	Температура плавления, К	3523
	Температура кипения, К	4573
	Коэффициент термического расширения, $\text{K}^{-1} \cdot 10^{-6}$ , $T = 300 \text{ K}$	7,95
	Теплопроводность, $\lambda_{298}$ , Вт/(м·К), $T = 300 \text{ K}$	6,8
	Микротвердость, $H_\mu$ , Па $\cdot 10^{-9}$	28
Механические	Модуль упругости, $E$ , Па $\cdot 10^{-11}$	4,94 $\pm$ 0,1
	Предел прочности при растяжении, $\sigma \cdot 10^{-8}$ , Па	6,5
	Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$ , Па $\cdot 10^{-8}$ , $T = 300 \text{ K}$	13,8

Рисунок 4 – Физико-химические свойства карбида титана [65]

В работе [45] установлено, что взаимодействие между титаном и углерод-углеродными композиционными материалами (УУКМ) происходит с образованием переходной зоны из карбида титана, при этом ширина переходной зоны влияет на характер разрушения системы углерод-титан.

Благодаря легкоплавкой промежуточной матрице, используемой в твёрдо-жидкофазной схеме угле-титановых композиционных материалов, удалось создать достаточно стабильную иерархическую структуру. Исходя из подобной структуры,

можно спокойно и просто подстраиваться под заданные условия использования композиционных материалов. Такие композиционные материалы могут быть охарактеризованы как КМ с повышенной прочностью и жесткостью [66].

В работах [67, 68] были проведены эксперименты, был создан композиционный материал, в основе которого, был сплав титановой матрицы Ti6-Al4-V. FT500 выступал армирующим, содержащим углеродное волокно. Было получено, что при соединении титана с углеродом, происходила диффузия внутрь титана, где диффузия углерода происходила через карбид титана. КМ можно получить следующим способом: создают связующее из растворённого полимера и порошка титана, впоследствии приготавливая суспензию; после чего происходит пропитка волокон; удаление растворителя с преформ; под воздействием высоких температур в сжатом состоянии, при горячем прессовании удаляют связующий полимер и происходит уплотнение преформ.

Взаимодействие между титаном и углеродом рассмотрено в работе [67], в которой наглядно описано, что образование кристаллитов карбида титана происходит на границе зерна титана. Преобразования в системе Ti-C продемонстрированы в работе [69].

Исходя из проведенных исследований, было доказано, что в КМ «титан – УУКМ» из-за высокой адгезии необходимо фиксировать толщину переходной зоны, в составе которой имеется наличие карбидов титана. Основным будет использоваться трещиностойкий, в 80-200 нм карбидный слой, с зернами 30-50 нм. Данный размер является предельным и увеличение его будет плохо влиять на покрытие, из-за чего будет происходить отслоение покрытия и хрупкое разрушение карбидного слоя [44, 45].

Изучение многочисленных исследований, посвященных взаимодействиям на границе раздела фаз титан-углерод, показывает, что большинство областей исследований связаны с высокими температурами (выше 800 °C), при которых диффузия углерода внутри титана в основном контролируется диффузией углерода через карбид титана. Чтобы понять явления взаимодействия Ti-C при умеренных температурах, углеродные диски с покрытием Ti, изготовленные методом PVD,

подвергались термической обработке в вакууме при температурах в диапазоне 400-750 °С и анализировались главным образом с помощью RBS. При низких температурах и при кратковременном изотермическом воздействии образование межфазного слоя карбида титана является прерывистым и контролируется диффузионной способностью С в Тi. Как только между С и Тi образуется непрерывный слой карбида титана, взаимодействие контролируется кинетикой диффузии С в карбиде титана [70].

Композиционные материалы с титановой матрицей, армированные углеродными волокнами, могут быть изготовлены путем адаптации метода «порошковой ткани» при использовании особых условий, учитывающих высокую химическую реакционную способность титана и углерода. Температуры уплотнения матрицы могут быть снижены до 650-700°С в течение 1 часа, благодаря применению высоких давлений около 200 МПа. Осуществимость предлагаемого способа обработки сильно зависит от способности получать очень мелкие и незагрязненные титановые порошки, морфология и размер которых соответствуют достижимым объемным долям упрочнения. Такой способ обеспечивает очень умеренное взаимодействие волокна с матрицей и, следовательно, ограничивает разрушение армирования. Однако испытания на растяжение, проведенные на образцах с низкой и более высокой объемной долей волокон ( $V_f=7-11\%$  и  $V_f=30\%$ ), показали, что жесткость и прочность не могут быть полностью переданы характеристикам композиционного материала. Это может быть связано с различными причинами, такими как охрупчивание матрицы и незначительная деградация волокон или/и дезориентация [71].

Следовательно, для удовлетворения опережающего развития новых изделий авиационной и ракетно-космической техники, в том числе авиационных газотурбинных двигателей [72], возникла необходимость разработать новые композиционные материалы, обеспечивающие улучшенные физико-механические свойства и др.

## Выводы по главе 1

1. На основе изучения основных положений, изложенных в нормативной документации и работах ряда авторов, выявлено неполное или отсутствие соответствия требованиям системного и процессного подходов к моделированию системы показателей качества продукции, параметров технологии изготовления МСКМ.

2. В результате анализа исследований по управлению качеством выявлено, что оценке и управлению качеством информационного обеспечения композиционных материалов не уделялось должного внимания. Следовательно, при применении информационных систем с ненадлежащим качеством, падает эффективность управления процессами, что приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции.

3. Анализ литературных источников показал, что производство композиционных материалов сложный многостадийный процесс, который предусматривает высокую степень соответствия требуемым параметрам на каждой стадии изготовления. Таким образом, основными факторами, влияющими на показатели качества МКМ являются технологические параметры.

4. Металломатричные слоистые композиционные материалы с титановой матрицей обладают уникальными свойствами и характеристиками по сравнению с аналогичными традиционными материалами.

5. По результатам аналитического обзора опубликованных источников выявлено, что основным влияющим фактором на показатели качества МСКМ является процесс изготовления. Следовательно, требуется изучить технологическую последовательность производства и оценить влияние отдельных стадий, а также влияние характеристик полуфабрикатов и оборудования на показатели качества конечной продукции.

На основании проведенного анализа литературы сформулированы следующие задачи:



1. Разработать основные теоретические положения построения подсистемы информационного обеспечения производства металлматричных слоистых композиционных материалов.

2. Обосновать структуру информационного обеспечения системы управления качеством металлматричных композиционных материалов.

3. Разработать модель управления качеством изделий из металлматричного слоистого композиционного материала и комплекс графических и математических моделей структурных элементов информационного обеспечения управления качеством металлматричных слоистых композиционных материалов, учитывающих технологию их производства, качества исходного сырья, характеристик оборудования и реализующих системный и процессный подходы в управлении качеством.

4. Обоснование состава и получения прогнозной информации, направленной на выполнение перспективных задач планирования изготовления металлматричных слоистых композиционных материалов.

5. Разработать технологию получения нового металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C с применением элементов методологии построения систем информационного обеспечения.

## Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Цель исследования

1. Разработка основных требований к подсистеме информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричных композиционных материалов.

2. Обоснование структуры подсистемы информационного обеспечения управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов.

### 2.1 Разработка основных требований к информационному обеспечению системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов

Анализируя существующие информационные подсистемы для управления качеством композиционных материалов, следует отметить отсутствие системного подхода к их построению. При построении концептуальных схем управления качеством при этом, как правило, учитываются три основных этапа, а именно контроль исходных материалов, обоснование технологических параметров и показателей качества конечной продукции (рис. 5).

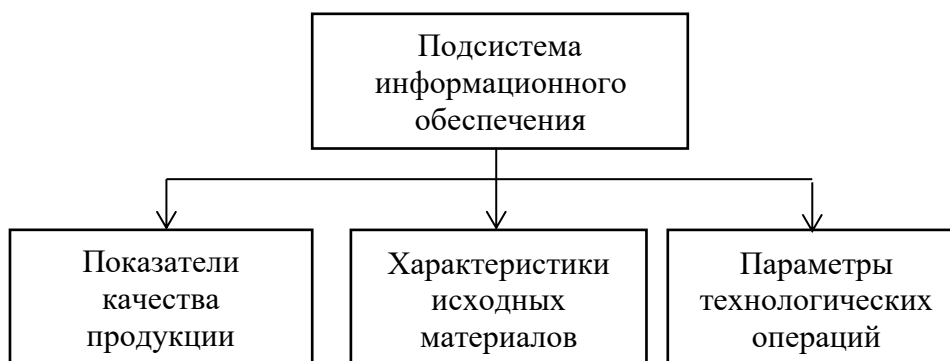


Рисунок 5 – Типовая информационная подсистема

Таким образом, структура существующего информационного обеспечения направлена только на решение оперативных задач управления [34, 73, 74] и не охватывает весь комплекс факторов, влияющих на качество конечной продукции, в том числе характеристики оборудования и полуфабрикатов. В связи с этим невозможно выполнение перспективных задач планирования, для чего необходима прогнозная информация.

Следовательно, требуется совершенствование элементов методологии построения информационных подсистем, в том числе разработка основных теоретических положений для обоснования новой структуры информационного обеспечения.

Важным элементом обоснования новой структуры информационного обеспечения является единство категорийно-понятийного аппарата, а именно определений. Существуют следующие определения термина «информационное обеспечение»:

Информационное обеспечение – информация, необходимая для управления экономическими процессами, содержащаяся в базах данных информационных систем [75].

Информационное обеспечение – совокупность информационных ресурсов и услуг, предоставляемых для решения управленческих и научно-технических задач в соответствии с этапами их выполнения [76].

Информационное обеспечение – совокупность мероприятий и документов, позволяющая успешно функционировать какой-либо сложной системе, связанной с использованием, хранением, обновлением, передачей и переработкой информации, а также с сохранением ее конфиденциальности [77].

Информационное обеспечение – совокупность мероприятий и документов, обеспечивающих успешное функционирование системы, связанной с использованием, хранением, обновлением, передачей и переработкой информации, сохранением ее конфиденциальности [78].

Информационное обеспечение – создание информационных условий функционирования системы, обеспечение необходимой информацией, включение

в систему средств поиска, получения, хранения, накопления, передачи, обработки информации, организации банков данных. Создание информационного обеспечения – непереносимое условие построения и функционирования автоматизированных систем управления [79].

Информационное обеспечение – это специализированная работа, нацеленная на реализацию единого процесса согласно подготовке и доведению информации до обучающихся, в рамках которого исполняется поиск, сбор, обработка и доведение данных вплоть до пользователей. Особенность данного процесса состоит в том, что в ходе него никак не формируются новейшие сведения, а собирается и обрабатывается ранее существующая информация, что производится в удобной форме информационного продукта и избавляет обучающегося от траты времени на поиск и обработку данных [80].

Информационное обеспечение – предоставление информации, необходимой для осуществления какой-либо деятельности, оценки состояния чего-либо, совершенствования чего-либо, предупреждения нежелательных (опасных) ситуаций и др. Основными требованиями, предъявляемыми к и.о., являются: полнота, достоверность, адресность, оперативность предоставления информации. В процессе обмена информацией можно выделить 4 основных компонента: отправитель – лицо, генерирующее идеи или осуществляющее поиск информации и передающее ее; сообщение; канал – средство передачи информации; получатель – лицо, которому адресована информация. Искажение смысла или даже полная его утрата могут произойти на каждом этапе. Чтобы этого не допустить используется принцип обратной связи. При наличии обратной связи отправитель и получатель меняются коммуникативными ролями [81].

Под информационным обеспечением понимается процесс удовлетворения потребностей конкретных пользователей для выполнения ими своих функций и обеспечения качественного протекания процессов, владельцами которых они являются в конкретной информации, осуществляемый путем применения специальных методов и средств ее получения, обработки, накопления и выдачи в удобном для использования виде [82, 83].

Информационное обеспечение – это совокупность единой системы классификации и потоков информации, задействованной в изготовлении продукции, а также включает в себя методологию построения баз данных [84].

На основе проанализированной терминологии выявлено, что данная терминология не в полной мере отражает необходимые аспекты для применения в технических системах создания композиционных материалов.

В следствие этого предлагается следующее определение информационного обеспечения: это система, состоящая из функционального и информационного элементов, непрерывно связанных с технологией изготовления изделия. Функционально включающей в себя систематизированную информацию о показателях качества конечной продукции, параметров технологических операций, характеристиках оборудования, полуфабрикатов и исходных материалов, а также прогнозных данных.

Информационный элемент включает базу данных, содержащую всю необходимую информацию для управления качеством продукции, которая должна соответствовать требованиям по достоверности, актуальности, своевременности, достаточности.

Для построения системы управления качеством необходимо обоснование определения объекта управления.

Объект управления – это и организационная система, и объективные явления, и процессы материального мира, подлежащие воздействию, преобразованию в интересах людей [84].

Объект управления – управляемая подсистема в кибернетической системе. Состояние объекта управления в каждый данный момент времени зависит от его предшествующих состояний, управляющих воздействий и воздействий среды [85].

Объект управления – орган, воспринимающий управляющие воздействия со стороны субъекта управления, получающий импульсы, команды управления и действующий в соответствии с ними. В качестве о. у. выступают, в частности, работник, трудовой коллектив, ресурсы, информация [86].

Объект управления – управляемая подсистема, воспринимающая управляющие воздействия со стороны органа управления (управляющей подсистемы) [87].

Объект управления не может быть субъектом управления в одной и той же системе. Для этого следует рассмотреть другую систему [88].

Объект управления – это процесс создания продукта, в результате которого под воздействием субъектов управления формируется качество продукции [89].

В каждой технической системе (ТС) существует функциональная часть – объект управления (ОУ). Функции ОУ ТС заключаются в восприятии управляющих воздействий (УВ) и изменении в соответствии с ними своего технического состояния (далее – состояния). ОУ ТС не выполняет функций принятия решений, то есть не формирует и не выбирает альтернативы своего поведения, а только реагирует на внешние (управляющие и возмущающие) воздействия, изменяя свои состояния predetermined его конструкцией образом [90].

На начальном этапе производства объект управления представляет собой совокупность дискретных исходных материалов: углеродный холст, газ монометилсилан, фольги титана и меди. Особенностью объекта управления является то, что вследствие прохождения технологических операций объект управления постоянно преобразовывается до получения конечного материала. Следовательно, данные преобразования можно представить в виде потока веществ

рис. 6.



Рисунок 6 – Блок-схема потока веществ при изготовлении металломатричного слоистого композиционного материала [91, 92]

Преобразование объекта управления на этапах производства происходит путем применения управляющих воздействий на каждой стадии изготовления металломатричного слоистого композиционного материала. Таким образом, рассматриваемый объект управления представляет собой динамическую систему и может быть представлен через потоки веществ или процессноориентированной моделью [31].

На основании изучения существующих публикаций, рассматривающих проблемы информационного обеспечения, выявлено отсутствие пооперационного рассмотрения технологического процесса создания композиционных материалов, оценки влияния оборудования и полуфабрикатов, не раскрыт вопрос обоснования контролируемых показателей в зависимости от изготавливаемого материала. Все выявленные недостатки носят частный характер. Общим является отсутствие систематизированных методологических подходов к построению информационных подсистем изготовления композиционных материалов, сделан вывод о их недостаточности для решения задач управления и проблем при производстве металломатричных слоистых композиционных материалов. Вследствие этого предлагаются следующие основные положения (требования)

концепции подсистемы информационного обеспечения производства металлматричных композиционных материалов.

- Информационную подсистему следует рассматривать как неотъемлемую часть системы управления качеством продукции.

- Информационная подсистема ориентирована на потребителя.

- Информационная подсистема предназначена для сбора, хранения, анализа ретроспективной и прогнозной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

- Информационная подсистема должна включать следующие элементы: показатели качества конечной продукции, характеристики объекта управления (полуфабрикаты по каждой операции), управляющие воздействия, информацию обратной связи (по каждому полуфабрикату и конечной продукции), характеристики исходных материалов и параметров оборудования.

- Информационная подсистема должна иметь возможность обосновывать технологические параметры и характеристики полуфабрикатов для получения заданных показателей качества на основе соответствующих математических и графических моделей.

- Информационная подсистема должна прогнозировать возможность изготовления новой продукции с заданными свойствами с учетом технологических возможностей и на основе экспериментально полученных математических моделей.

- Информация должна отвечать требованиям по: достоверности, актуальности, своевременности, достаточности (рис. 7), а также другим требованиям исходя из специфических требований формирования информационных баз данных.



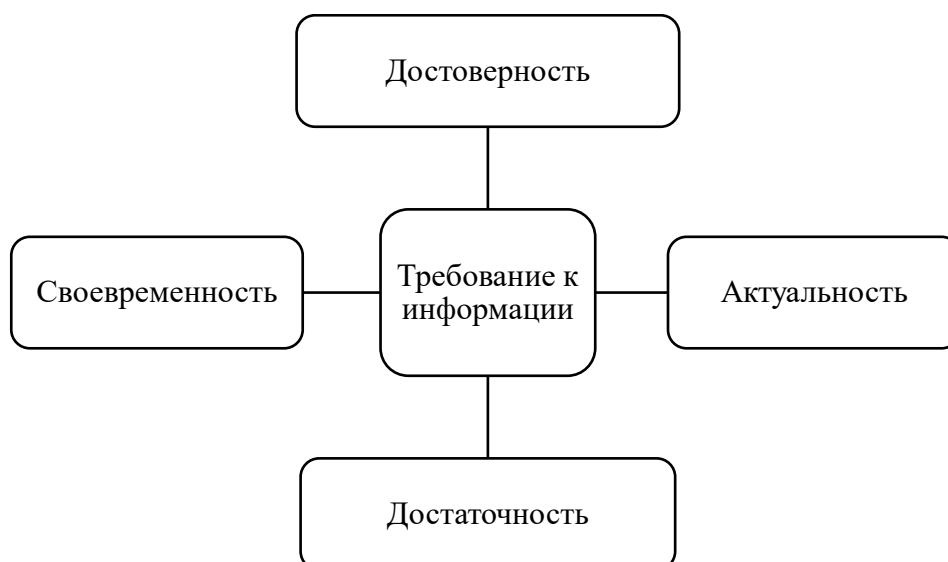


Рисунок 7 – Основные требования к информации

- Информационная подсистема должна иметь структурированную процедуру формирования информационной базы.

Отличительной особенностью основных теоретических положений концепции построения подсистемы информационного обеспечения производства металломатричных композиционных материалов является ее структура и требования к ней, гарантирующие получение качественной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

## 2.2 Структура подсистемы информационного обеспечения качества металломатричных слоистых композиционных материалов

На основании теоретических положений системного подхода и с учетом разработанных основных требований к подсистеме информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричных композиционных материалов предлагается следующая блок-схема формирования структуры информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричного композиционного материала (рис. 8), включающая следующие блоки [91]:

1. Оценки качества конечной продукции основываются на требованиях заказчика и соответствующей нормативной документации (ГОСТ, СТО, ТУ и др.).

- 1.1 Показатели качества оценки продукции (МСКМ).

2. Оценки качества исходных материалов основываются на анализе рынка и требований технологии.

2.1 Информация для оценки характеристик исходных материалов.

3. Оценки качества промежуточной продукции (полуфабрикатов).

3.1 Информация для оценки характеристик полуфабрикатов.

4. Управляющих воздействий (технологические параметры).

4.1 Информация для оценки параметров технологических операций.

5. Характеристик средств реализации управляющих воздействий (оборудование).

5.1 Информация для оценки характеристик оборудования.

6. Прогнозной информации, обеспечивающей необходимые данные для планирования производства новой продукции, совершенствования технологических процессов, наличия или разработки необходимого оборудования.

6.1 Модели для прогнозирования потенциальных показателей качества продукции.

6.2 Модели для прогнозирования характеристик полуфабрикатов.

6.3 Модели для прогнозирования характеристик исходных материалов.

6.4 Модели для прогнозирования параметров технологических операций.

6.5 Модели для прогнозирования характеристик оборудования.

6.6 Прогноз показателей качества конечной продукции и элементов подсистемы информационного обеспечения.

6.7 Планирование создания перспективной продукции.



Рисунок 8 – Блок-схема формирования структуры информационного обеспечения управления качеством изделий из металломатричного композиционного материала [91]

На основе проведенного анализа выявленных связей показателей качества с параметрами технологических операций и характеристиками оборудования и полуфабрикатов предлагается следующая структура информационного обеспечения (рис. 9) и математическая модель зависимости показателей качества от основных влияющих факторов (формула 1).

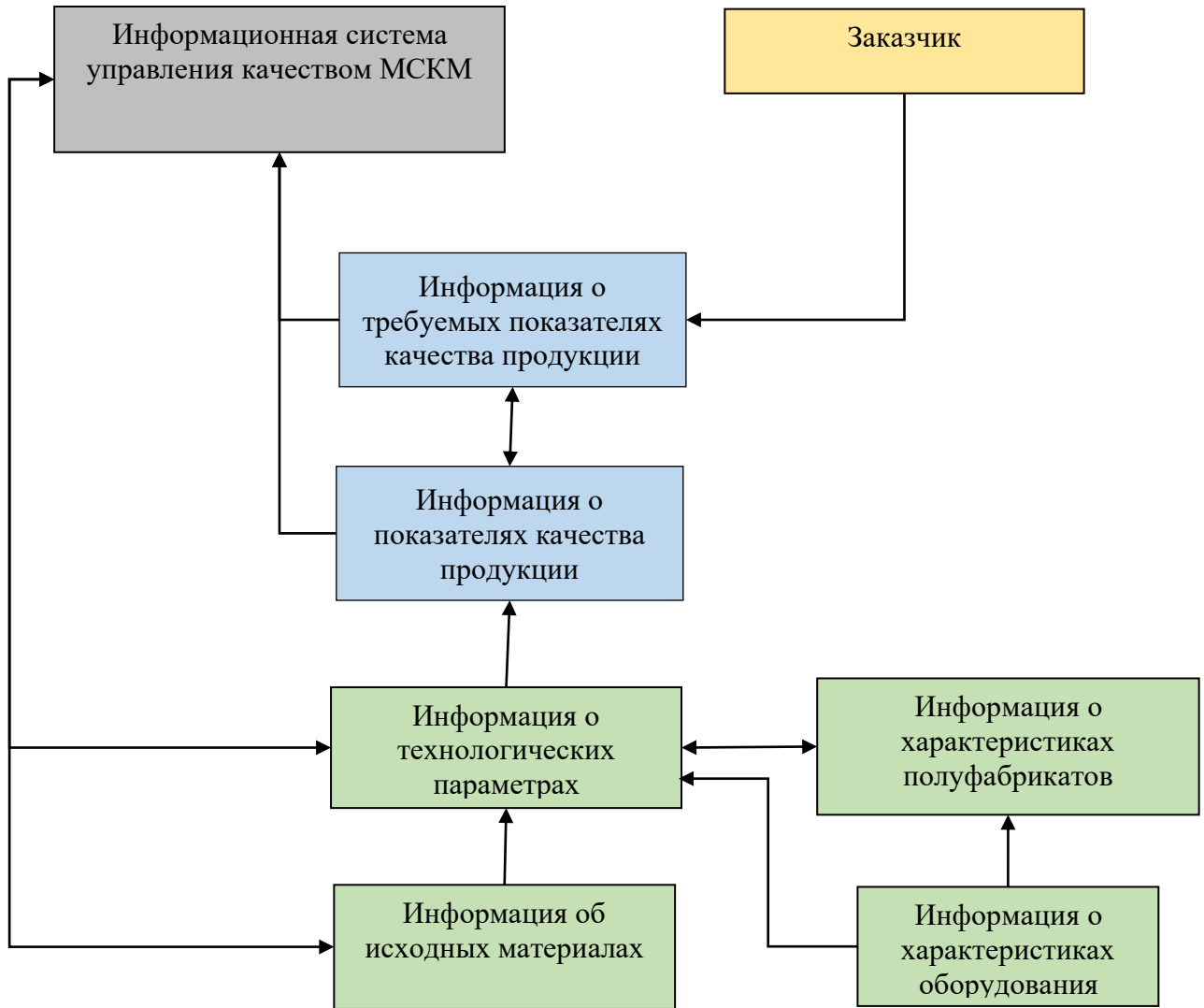


Рисунок 9 – Структура информационного обеспечения оперативного управления качеством изделий из металломатричного композиционного материала

$$y_i = f(a_i^1, \dots, a_i^n; x_i^1, \dots, x_i^n; c_i^1, \dots, c_i^n; b_i^1, \dots, b_i^n), \quad (1)$$

Где:

$y_i$  –  $i$ -ый показатель качества конечной продукции (МСКМ);

$a_i^n$  –  $i$ -ая характеристика  $n$ -ого исходного материала;

$x_i^n$  –  $i$ -ый параметр  $n$ -ой технологической операции;

$c_i^n$  –  $i$ -ая характеристика качества  $n$ -ого полуфабриката;

$b_i^n$  –  $i$ -ая характеристика  $n$ -ого оборудования.

## **Выводы по главе 2**

1. Разработана блок-схема формирования структуры информационного обеспечения изготовления металломатричных слоистых композиционных материалов, основанная на системном и процессном подходе, реализующая требования к структуре информационной подсистемы, гарантирующей получение качественной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов. Кроме того, предложен состав прогнозной информации, обеспечивающей планирование производства новой продукции, с учетом совершенствования технологических процессов и применения нового оборудования (Приложение 1,2).

2. Разработана структура информационного обеспечения оперативного управления качеством изделий из металломатричного композиционного материала, которая включает систему информационных блоков для обоснования закупки исходных материалов, оперативного управления технологическим процессом, включая управляющие воздействия (технологические параметры), а также характеристики оборудования, необходимого для реализации всех технологических операций.

## **ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ Ti-Cu-C**

### **Цель исследования**

Обоснование элементов системы информационного обеспечения управления качеством изделий и связей между ними путем выявления зависимостей влияния исходных материалов, технологических операций, характеристик оборудования и полуфабрикатов, на показатели качества конечной продукции, а так же влияния характеристик оборудования на технологические параметры.

### **3.1 Обоснование комплекса моделей информационного обеспечения производства изделий из металломатричного композиционного материала системы Ti-Cu-C**

Комплекс моделей информационного обеспечения рассматривается на примере созданного автором нового металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C. Композиционный материал МСКМ-Ti-Cu-C изготавливается путем выполнения ряда последовательных технологических процессов (операций). Концептуальная модель технологии производства МСКМ- Ti-Cu-C представлена на рис. 10. Результатом выполнения каждой технологической операции является соответствующий полуфабрикат, который переходит на следующую стадию и данный процесс может быть представлен как поток вещества. Каждая операция характеризуется комплексом технологических параметров. Для прохождения всего цикла производства необходимо специальное оборудование.

Технологический процесс можно представить, как систему взаимосвязанных элементов – технологических этапов [16, 31, 93].

*Первым этапом* технологии изготовления МСКМ является входной контроль трех основных групп применяемых исходных материалов, а именно:

1. Углеродного гидросплетенного холста, выступающего в роли армирующего;
2. Титанового и медного сплавов, а точнее фольг, применяемых в роли матричного материала;
3. Газа монометилсилана, применяемого в процессе нанесения интерфазного покрытия на термообработанный углеродный холст.

*Второй этап* технологии производства композиционного материала характеризуется изготовлением полуфабриката, а именно операции по подготовке углеродного гидросплетенного холста, включающий термообработку гидросплетенного холста из полиакрилонитрида (ПАН). Термообработка нужна для повышения прочностных характеристик будущего материала. Данный процесс характеризуется рядом технологических параметров, таких как давление, температура и др.

*Третий этап.* Нанесение интерфазного покрытия (карбидом кремния SiC) на термообработанный углеродный холст замедляет процесс химической деструкции каркаса. Результатом данной технологической операции является полуфабрикат – насыщенный армирующий углеродный материал.

Качество проведения данной операции зависит от параметров технологического процесса таких как: температура, скорость нанесения покрытия, применяемое оборудование, который должен обеспечить требуемую степень вакуумирования рабочей зоны реактора и скорость протекания газа в реакторе, а также соответствие покрытия заданной толщины и равномерности нанесения.

*Четвертый этап.* Формирование пакетов фольг требует научного обоснования и расчета состава пакета. На основании практического опыта автора выявлено, что выкладка с весовым соотношением Ti – 40-60%, Cu – 40-60%, обеспечивает наиболее тугоплавкие соединения Ti<sub>2</sub>Cu, TiCu и Ti<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub>. Следует отметить, что данная операция не автоматизирована и все действия выполняет человек, что приводит к увеличению рисков при выполнении данной операции.

*Пятый этап.* Горячевакуумное прессование является завершающей операцией, в процессе которой происходит консолидация заготовки.

Качество проведения данной операции зависит от параметров технологического процесса таких как: температура и степень вакуумирования рабочей зоны реактора, время выдержки, давление.

*Шестой этап* характеризуется контролем показателей качества получаемого металлматричного слоистого композиционного материала (МСКМ), а именно: физико-механических характеристик; конструкционных показателей; технологических показателей [93].

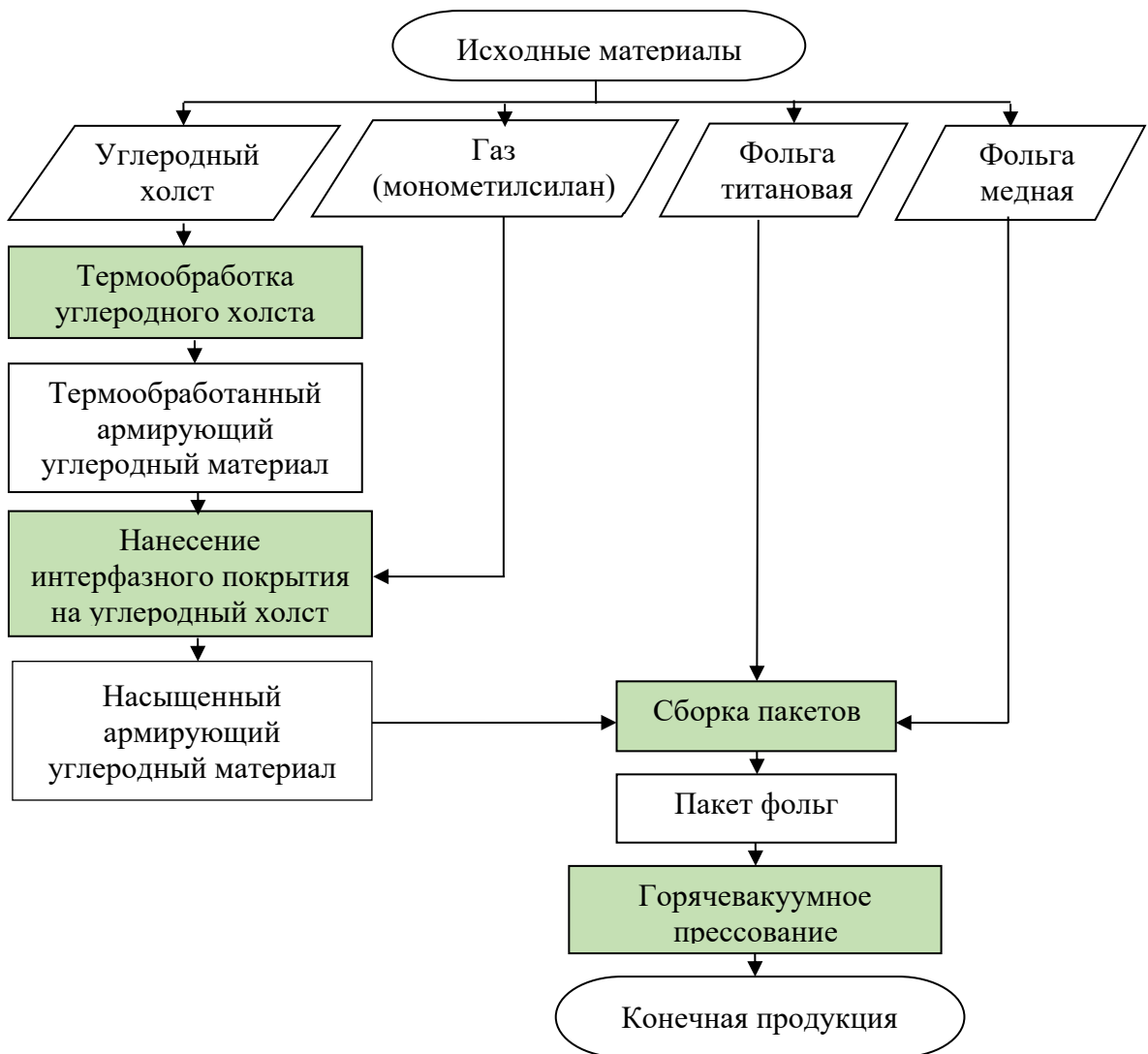


Рисунок 10 – Концептуальная модель технологии производства МСКМ- Ti-Cu-C



Полученную модель можно применять ко всему подклассу слоистых композиционных материалов, а также при составлении аналогичных моделей для материалов, изготавливаемых методом выкладки, таких как полимерные композиционные материалы.

Для управления качеством металломатричного слоистого композиционного материала (МСКМ) необходима информационная подсистема. Предлагается данную информационную подсистему представить комплексом новых моделей, построенных на основе процессного и системного подходов:

- показателей качества продукции из металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C;
- характеристик исходных материалов;
- параметров технологических операций;
- характеристик полуфабрикатов;
- характеристик оборудования, применяемого в процессе выполнения технологических операций при изготовлении МСКМ.

На рис. 11 представлена модель показателей качества конечной продукции - металломатричного слоистого композиционного материала МСКМ системы Ti-Cu-C, которые систематизированы с учетом ГОСТ 56656-2015, ГОСТ 56465-2015, ГОСТ 56683-2015 [5, 95, 96], и ранее опубликованных работ по металломатричным волокнистым композиционным материалам [16,31] и специфики металломатричного слоистого композиционного материала.

Данная модель включает основные показатели качества готовой продукции из МСКМ Ti-Cu-C, которые контролируются после процесса консолидации, а именно горячего вакуумного прессования. Отличительной особенностью данной модели является введение автором новых показателей теплостойкости и термической усталости для обеспечения требований заказчика.



Рисунок 11 – Модель структуры показателей качества конечной продукции металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C

Для обеспечения контроля качества исходных материалов разработан алгоритм, представленный на рис. 12, включающий характеристики данных материалов (газа монометилсилана, углеродного холста, фольг титана и меди), являющихся информационной основой этапа входного контроля закупаемого сырья. Закупаемые материалы должны соответствовать требованиям по геометрическим параметрам, химическому составу и внешнему виду, указанным в ГОСТ на данные материалы – ГОСТ Р 58062-2018, ГОСТ 22178-76, ГОСТ 1173-2006 [97, 98, 99].

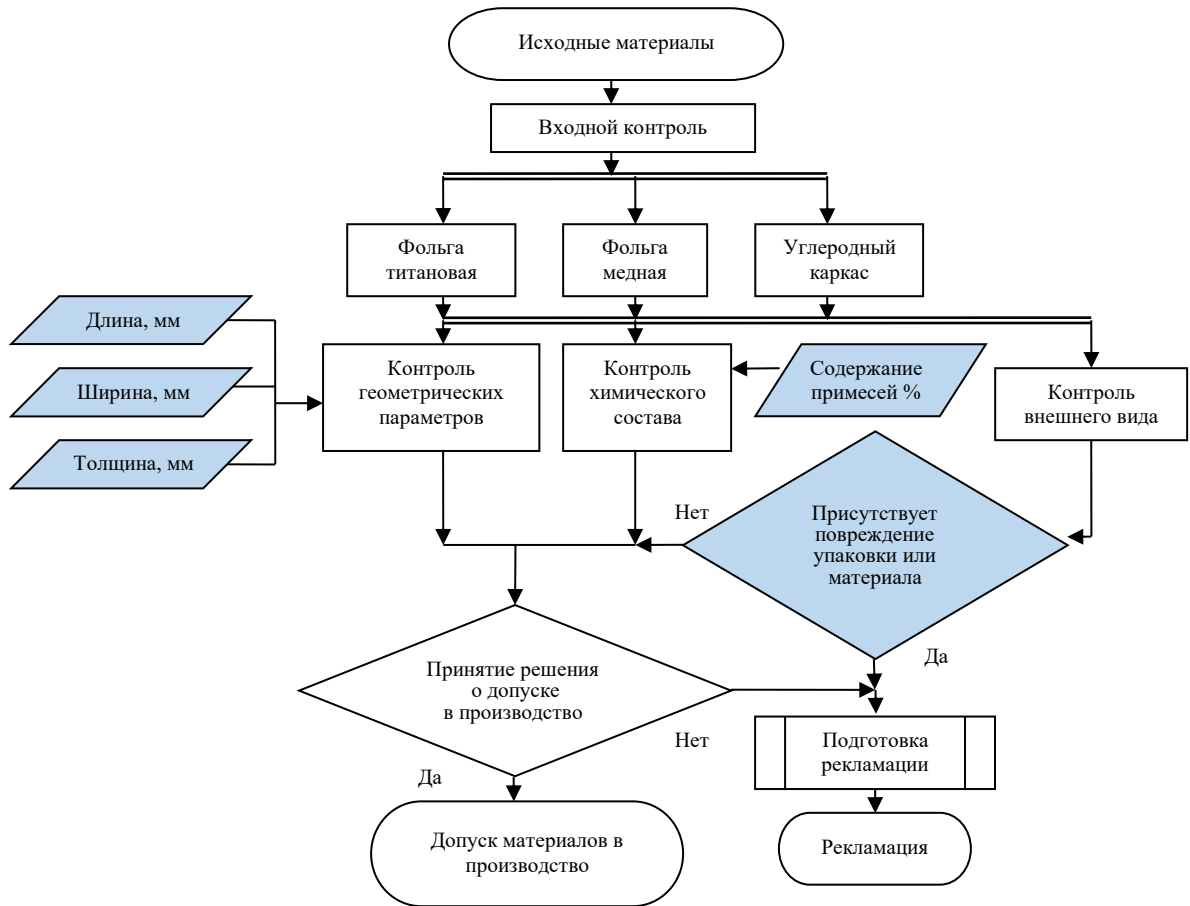


Рисунок 12 – Блок-схема алгоритма входного контроля исходных материалов для изготовления МСКМ

Одним из важнейших элементов системы информационного обеспечения управления качеством металломатричного слоистого композиционного материала является информационный блок управляемых параметров технологических операций, структура которого определяется спецификой производства МСКМ (рис. 14).

Для оценки влияния технологических параметров на показатели качества конечной продукции проведены экспериментальные исследования по выявлению зависимости показателя качества конечной продукции (толщина) от одного из технологических параметров (температура горячевакуумного прессования) на последней технологической операции – горячего вакуумного прессования.

Эксперимент был выполнен на установке - горизонтальной вакуумной печи горячего прессования модели HVHP-446S. В данном эксперименте все технологические параметры были одинаковы кроме температуры спекания, так же

были подготовлены одинаковые полуфабрикаты (пакеты фольг). После процесса горячевакуумного прессования проводились измерения толщины полученного конечного материала. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты эксперимента по выявлению зависимости показателя качества продукции (толщины конечного материала -  $Y$ ) от температуры спекания  $^{\circ}\text{C}$  ( $X$ )

$X$ – Температура спекания, $^{\circ}\text{C}$	1000	1200	1400	1700
$Y$ - Толщина конечного материала, мм	4,8	4,7	4,6	4,4

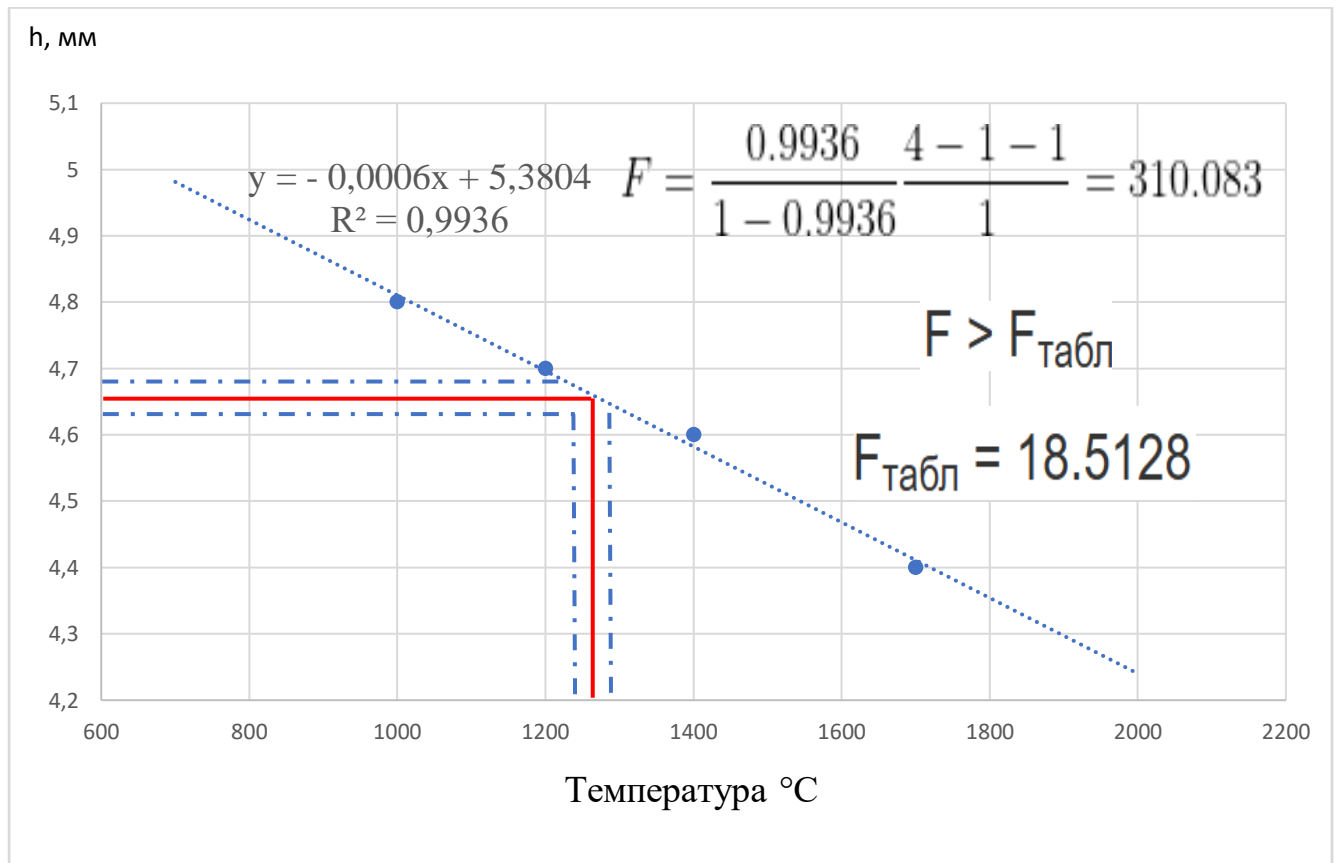


Рисунок 13 – Графическая и математическая зависимости показателя качества продукции (толщины конечного материала -  $Y$ ) от технологического параметра - температуры спекания  $^{\circ}\text{C}$  ( $X$ )

Далее методом наименьших квадратов с использованием ПО MS Excel были получены графическая и математическая зависимости (модели) показателя качества продукции от технологического параметра (рис. 13).

Математическая зависимость (модели) показателя качества продукции от технологического параметра представляет собой уравнение парной линейной регрессии:  $y = - 0,0006x + 5,3804$  с достоверным значением коэффициента детерминации  $R^2 = 0,9936$ . Например, для получения толщины конечной продукции  $y = 4,65 \pm 0,02$  мм температура спекания должна быть равна  $1250 \pm 30$  °С.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) отражает меру соответствия линейной регрессии исходным данным (формула 2), чем ближе значение  $R^2$  к единице, тем выше степень соответствия (сильнее зависимость).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - y_x)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{0,000561}{0,0875} = 0,9936$$

Проведена проверка выдвинутой гипотезы относительно коэффициентов линейного уравнения регрессии с применением критерия Фишера. Выдвинута нулевая гипотеза ( $H_0$ ) о том, что линейное уравнение зависимости толщины конечного материала от температуры спекания статистически незначимо при этом  $R^2 = 0$ .

Определим фактическое значение критерия Фишера по формуле 3:

$$F = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{ост}}} = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{n-m-1}{1} \quad (3)$$

где:

$S_{\text{факт}}$  – факторная дисперсия;

$S_{\text{ост}}$  – остаточная дисперсия;

$n$  – число наблюдений;

$m$  – число параметров при переменной ( $x$ ).

$$F = \frac{\sum(y_i - y_x)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} * \frac{n - m - 1}{m} = \frac{0,08694}{0,000561} * \frac{4 - 1 - 1}{1} = 310,083$$

Так как фактическое значение F (310,083) больше табличного (Fтабл =18,5128), то нулевая гипотеза отклоняется, следовательно, доказано, что данная зависимость линейна и статистически значима.

Полученная в результате экспериментального исследования зависимость:

- доказывает наличие зависимости показателя качества продукции (толщина) от одного из технологических параметров (температура горячевакуумного прессования);

- позволяет обосновано управлять одним из ключевых технологических параметров (температура спекания) согласно требованиям заказчика – получение требуемой толщины изделия;

- прогнозировать температуру спекания.

Информационный блок (рис. 14) включает параметры технологии получения нового металломатричного слоистого композиционного материала, который подробно рассмотрен в четвертой главе диссертационного исследования.

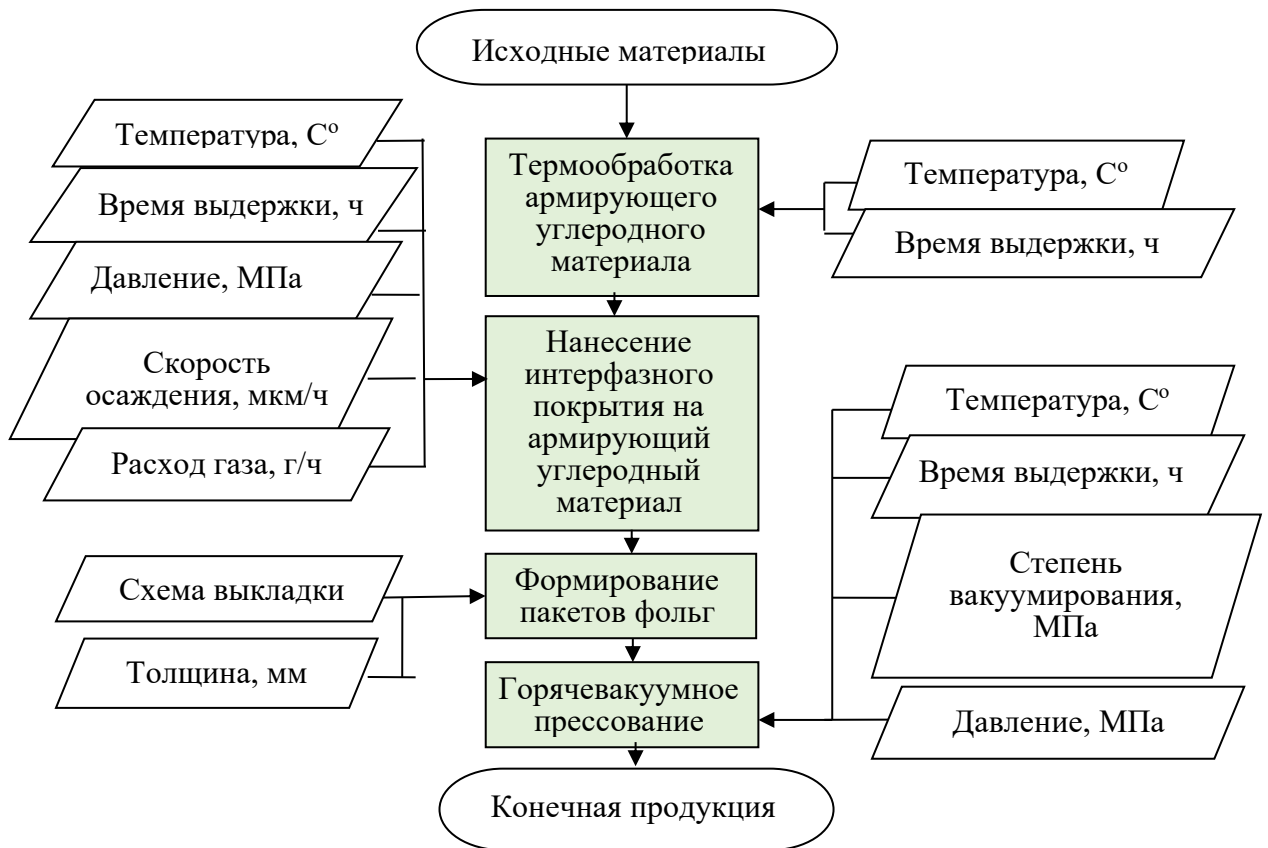


Рисунок 14 – Информационный блок (модель) управляемых параметров технологических операций изготовления металломатричного слоистого композиционного материала

Для реализации технологии изготовления металломатричного слоистого композиционного материала требуется комплекс специального оборудования со своими характеристиками.

Для обоснования влияния характеристик оборудования на параметры технологических операций проведены следующие экспериментальные исследования [93].

Исследовалась операция нанесения интерфазного покрытия на армирующий углеродный материал на четырёх различных видах установок (по 15 образцов на каждую установку с пятикратным повторением эксперимента) с идентичными технологическими параметрами (давление, температура и т.д.). Установки различаются по конструкционным характеристикам, таким как объем рабочей зоны реактора, диапазон рабочих температур и др. Результатом данной технологической

операции является полуфабрикат – насыщенный углеродный каркас, главной характеристикой которого является толщина получаемого покрытия, которая фиксировалась в процессе эксперимента.

Для получения требуемой толщины покрытия необходимо рассчитать скорости осаждения интерфазного покрытия (мкм/ч), которые в полной мере отражают функциональные особенности применяемых установок. Полученные данные варьирования скоростей осаждения (мкм/ч) представлены на рис. 15 и рассчитаны по формуле:  $v=h/t$ , где:  $v$  - скорость осаждения,  $h$  - толщина покрытия,  $t$  - время протекания процесса, в данном исследовании время принято постоянной величиной.

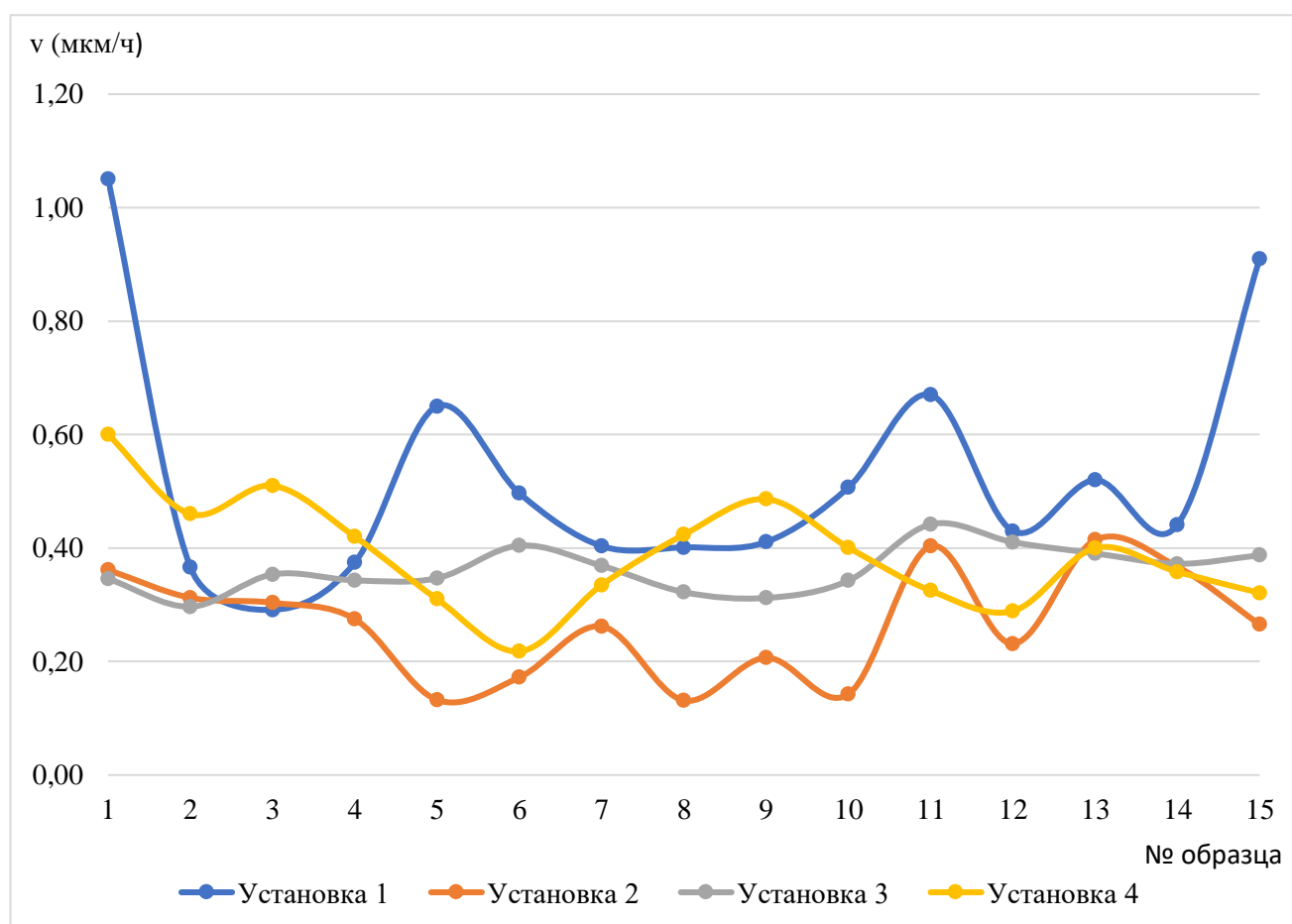


Рисунок 15 – Варьирование скоростей осаждения карбида кремния на различных установках

На рис. 15 можно увидеть наличие варьирования значения скоростей осаждения на различных установках.



Для подтверждения различий между установками (рис. 15) применен однофакторный дисперсионный анализ с использованием ПО MS Excel (табл. 4).

Принимаем нулевую гипотезу: между средними параметрами технологической операции отсутствуют различия.

Таблица 4 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

<b>ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ</b>						
<b>ИТОГИ</b>						
<i>Группы</i>	<i>Счет</i>	<i>Сумма</i>	<i>Среднее</i>	<i>Дисперсия</i>		
Установка 1	15	7,92	0,528	0,04466		
Установка 2	15	3,94	0,262667	0,008792		
Установка 3	15	5,43	0,362	0,00156		
Установка 4	15	5,86	0,390667	0,00955		
<b>Дисперсионный анализ <math>\alpha = 0,05</math></b>						
<b>Источник вариации</b>	<i>SS сумма квадратов</i>	<i>df число степеней свободы</i>	<i>MS дисперсия</i>	<i>F (реальное)</i>	<i>P- значение</i>	<i>F критическое</i>
<b>Между группами</b>	0,539592	3	0,179864	11,14365	7,72E-06	2,769431
<b>Внутри групп</b>	0,903867	56	0,01614			
<b>Итого</b>	1,443458	59				

Выдвинутая нулевая гипотеза о том, что между средними параметрами технологической операции отсутствуют различия отклоняется, так как фактическое значение F (11,14365) больше табличного (F табл = 2,769431), следовательно, доказано, что между средними характеристиками оборудования есть различия.

В связи со спецификой технологии требуется оценка амплитуды варьирования скоростей осаждения, так как данный параметр влияет на однородность получаемого покрытия.

Для оценки амплитуды варьирования, были рассчитаны разности между максимальными и минимальными значениями скоростей осаждения для представленных установок. Значение варьирования рассчитано по формуле  $\Delta = v_{\max} - v_{\min}$  для каждой из установок, результаты показаны на рис. 16 [93].

Установлено, что характеристики оборудования влияют на параметры технологических операций, следовательно, необходимо включить в информационную подсистему управления качеством изделий из металлматричных слоистых композиционных материалов блок характеристик оборудования.

Следует отметить, что на установках №1 и №4 наблюдается большее варьирование скорости осаждения, превышающие требуемые значения параметра скорости осаждения ( $v \leq 30$  мкм/ч), а установки №3 и №2 обеспечивают требуемое значение варьирования и, следовательно, рекомендуется к применению.

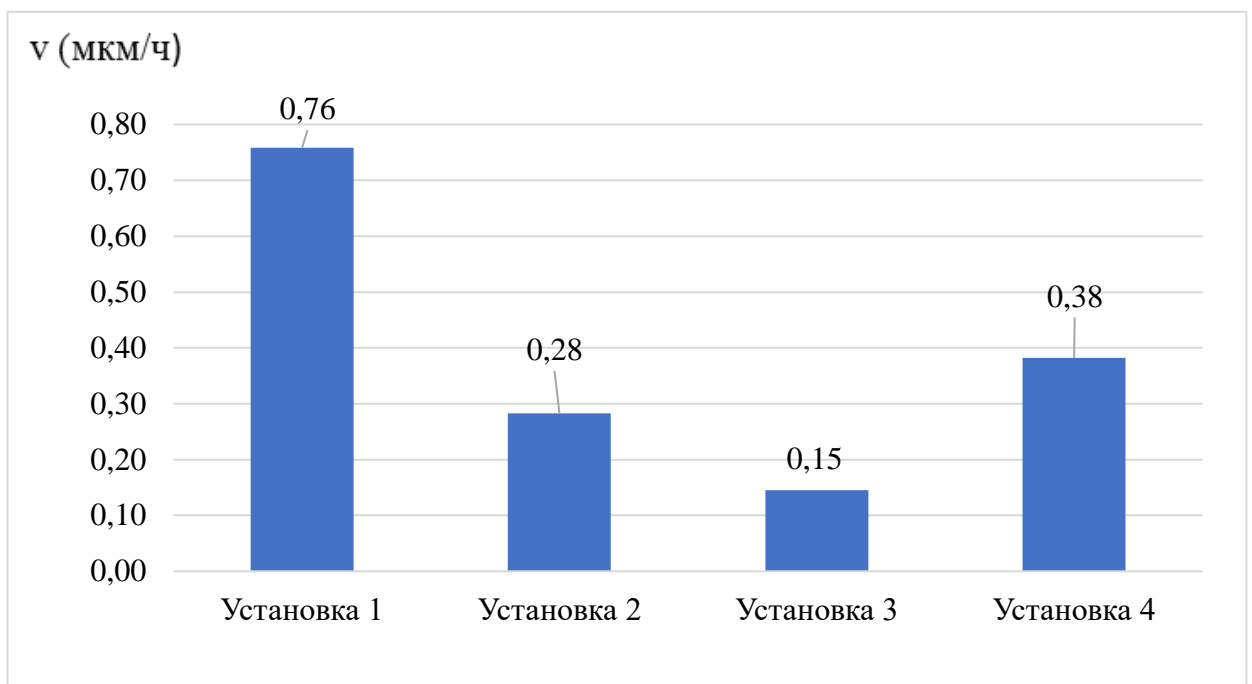


Рисунок 16 – Значение варьирования скоростей осаждения на представленных установках

В развитие проведенных исследований рекомендуется провести моделирование влияния характеристик применяемого оборудования на характеристики получаемых полуфабрикатов на каждом этапе технологического цикла и качество конечной продукции.

Целью следующего экспериментального исследования является выявление зависимости показателя качества (толщины конечного материала) от одной из характеристик полуфабриката (толщины полуфабриката).

В данном исследовании изучался этап нанесения интерфазного покрытия на армирующий углеродный материал с использованием четырех печей химического осаждения из газовой фазы, отличающихся по объему рабочей зоны,  $m^2$  однородности температуры,  $C^{\circ}$  и предельному вакууму, МПа [93].

В каждую печь загружалось по 30 термообработанных углеродных каркасов. В каждой из четырех печей при одинаковых технологических параметрах (температура, давление) были получены партии из тридцати насыщенных армирующих углеродных материалов (холстов), имеющих различные толщины. Было рассчитано среднее значение толщины каждого холста для каждой партии. Далее осуществлялась сборка пакетов с одинаковым количеством слоев фольг меди, титана и углеродных насыщенных холстов. Затем был проведен процесс горячевакuumного прессования четырех пакетов на одной установке при одинаковых технологических параметрах: температуры, давления, степени вакуумирования, и были получены образцы конечного материала с различной толщиной.

В табл. 5 представлены результаты эксперимента по выявлению зависимости показателя качества продукции (толщины конечного материала - У) от средней толщины полуфабриката (насыщенного углеродного холста), мм в каждой печи (Х).

Таблица 5 – Результаты эксперимента по выявлению зависимости показателя качества продукции (толщины конечного материала - У) от средней толщины полуфабриката (насыщенного углеродного холста), мм в каждой печи (Х)

Х - Средняя толщина полуфабриката (насыщенного углеродного холста), мм в каждой печи	0,009	0,010	0,011	0,014
У- Толщина конечного материала, мм	0,38	0,46	0,51	0,62

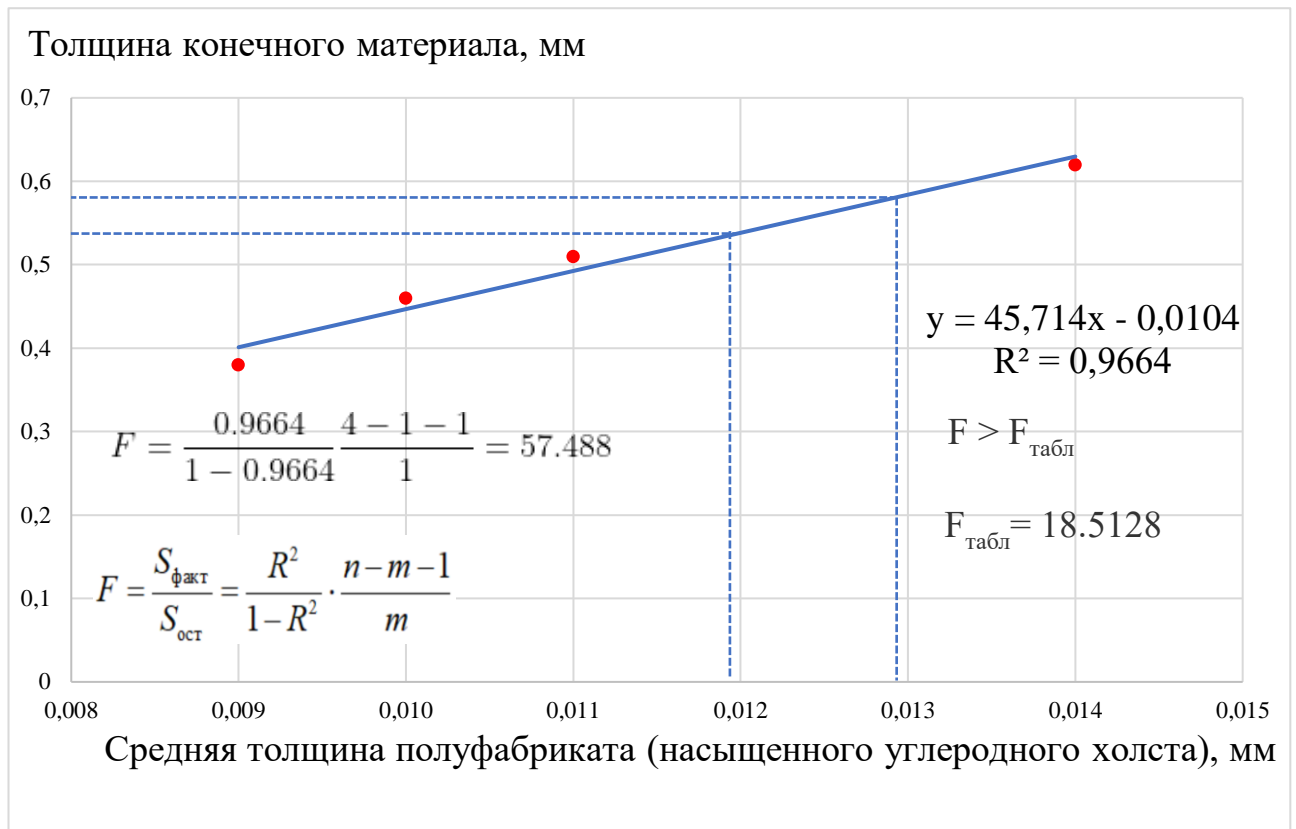


Рисунок 17 – Графическая и математическая зависимости показателя качества продукции (толщины конечного материала - Y) от средней толщины полуфабриката (насыщенного углеродного холста), (X) [93]

По результатам экспериментальных исследований построены графическая и математическая модели в виде парной линейной регрессии толщины конечного материала от средней толщины единичного полуфабриката (рис. 17), которая позволяет обосновать требуемые характеристики полуфабрикатов для получения заданного показателя качества (толщины конечной продукции) и обеспечивает реализацию требований теоретических положений построения подсистемы информационного обеспечения производства металлматричных слоистых композиционных материалов.

Например, для получения толщины конечной продукции  $y = 0,55-0,58$  мм средняя толщина единичного полуфабриката (С) должна быть равна 0,0119-0,0129 мм. Выявлено, что на интервале варьирования толщины элемента полуфабриката от 0,009 до 0,014 мм данная зависимость, полученная методом наименьших квадратов, является линейной с коэффициентом детерминации  $R^2=0,9664$ .

Кроме того, была проведена проверка выдвинутой гипотезы относительно коэффициентов линейного уравнения регрессии с применением критерия Фишера (формула 3).

Выдвинута нулевая гипотеза о том, что линейное уравнение зависимости толщины конечного материала от толщины элемента полуфабриката в целом статистически незначимо:  $H_0: R^2=0$ . Так как фактическое значение  $F$  (57,488) больше табличного ( $F_{\text{табл}} = 18,5128$ ), то нулевая гипотеза отклоняется, следовательно, доказано, что данная зависимость линейна и статистически значима.

В результате получены математическая и графическая регрессионные зависимости толщины конечного материала от толщины полуфабриката (рис. 17).

Таким образом, установлено, что характеристики полуфабрикатов влияют на показатели качества конечной продукции.

Следовательно, необходимо включить в информационную подсистему управления качеством изделий из металломатричных слоистых композиционных материалов блок характеристик полуфабрикатов [93].

Для обоснования структуры информационного блока характеристик полуфабрикатов построена модель перемещения полуфабрикатов в процессе изготовления МСКМ (рис.18) с учетом контролируемых характеристик.

В данной модели отражены три полуфабриката: термообработанный армирующий углеродный материал, насыщенный армирующий углеродный материал, пакет фольг.

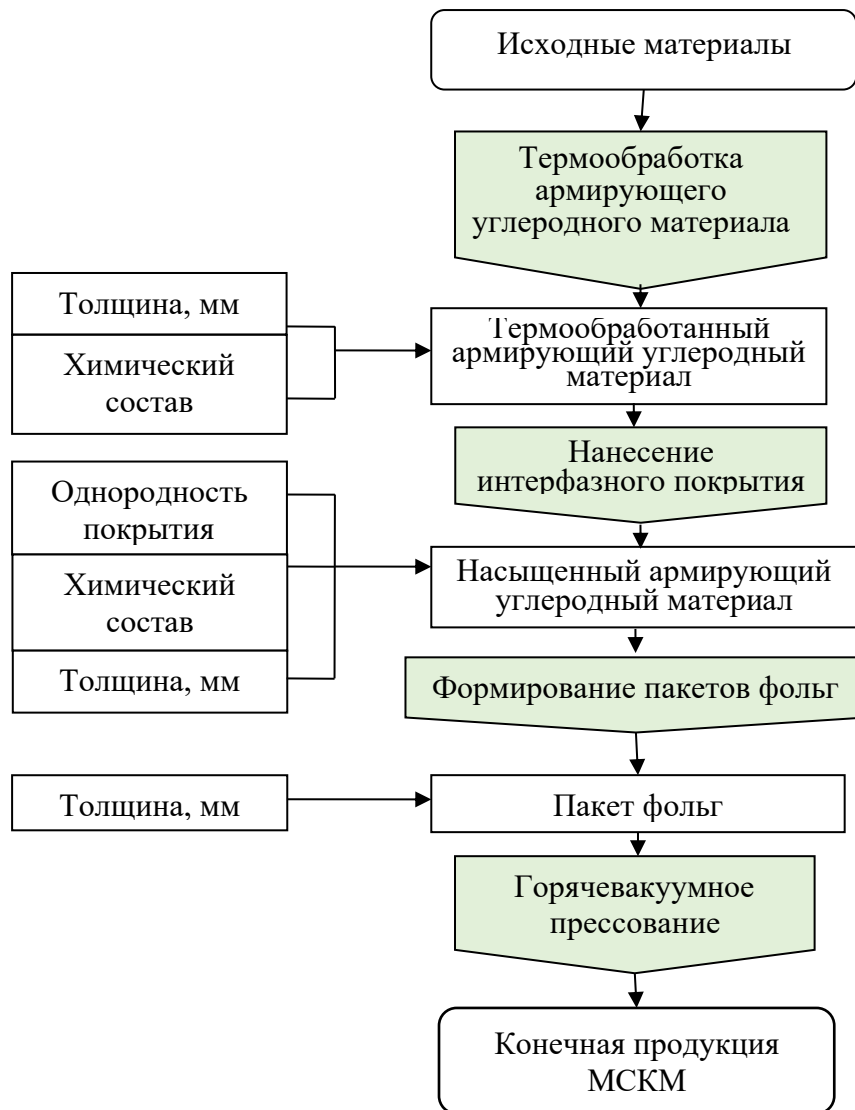


Рисунок 18 – Информационный блок характеристик полуфабрикатов

Разработанные блоки, а именно: показатели качества продукции из металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C, характеристик исходных материалов, параметров технологических операций, характеристик полуфабрикатов, характеристики оборудования, применяемого в процессе выполнения технологических операций при изготовлении МСКМ, должны быть информационной основой постоянно действующего мониторинга исходных материалов, технологических параметров, полуфабрикатов и оборудования при изготовлении металломатричного слоистого композиционного материала. Завершающей стадией мониторинга является контроль качества

готовой продукции, требования к которой определяются нормативной документацией и требованиями заказчика.

Следующим этапом исследования является выявление зависимости показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала от характеристик оборудования.

Для оценки влияния характеристик оборудования (на трех различных установках) на последней технологической операции – горячего вакуумного прессования, на показатели качества конечной продукции, исследовалась зависимость толщины конечного материала (мм), получаемого на трех различных установках горячевакуумного прессования при одинаковых технологических параметрах (давление, температура и т.д.).

Результатом данной технологической операции является конечная продукция металломатричный слоистый композиционный материал, одним из показателей которого является толщина. По требованиям заказчика допускается варьирование данного показателя 0,02 мм. Результаты, полученные в ходе эксперимента, показаны на рис. 19.

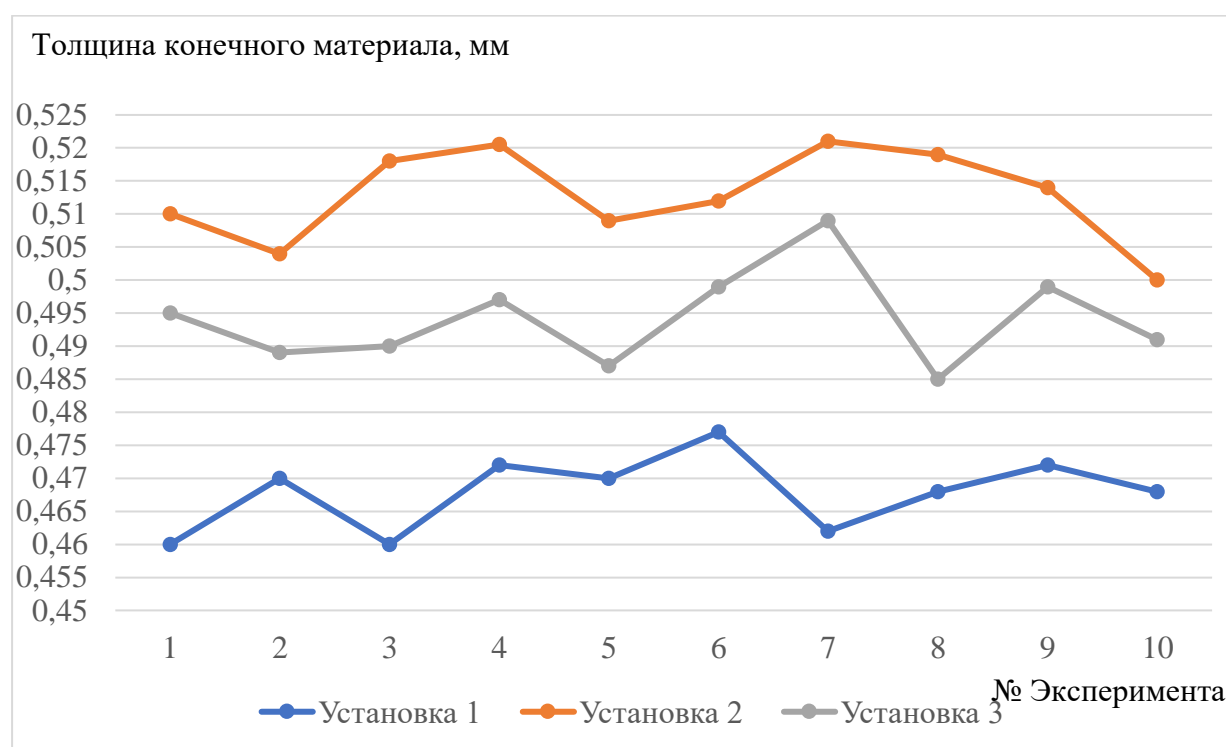


Рисунок 19 – Влияние характеристик оборудования на конечную толщину получаемого металломатричного слоистого композиционного материала

Для определения наличия разницы между установками (рис. 19) применен однофакторный дисперсионный анализ с использованием ПО MS Excel (табл. 6).

Принимаем нулевую гипотезу: между средними характеристиками представленного оборудования отсутствуют различия.

Таблица 6 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

<b>ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ</b>						
<b>ИТОГИ</b>						
<i>Группы</i>	<i>Счет</i>	<i>Сумма</i>	<i>Среднее</i>	<i>Дисперсия</i>		
<b>Установка 1</b>	10	4,679	0,4679	3,17E-05		
<b>Установка 2</b>	10	5,1275	0,51275	5,08E-05		
<b>Установка 3</b>	10	4,941	0,4941	5,17E-05		
<b>Дисперсионный анализ <math>\alpha = 0,05</math></b>						
<b>Источник вариации</b>	<i>SS сумма квадратов</i>	<i>df число степеней свободы</i>	<i>MS дисперсия</i>	<i>F (реальное)</i>	<i>P- значение</i>	<i>F критическое</i>
<b>Между группами</b>	0,010153	2	0,005076	113,5146	7,2E-14	3,354131
<b>Внутри групп</b>	0,001207	27	4,47E-05			
<b>Итого</b>	0,01136	29				

Выдвинутая нулевая гипотеза о том, что между средними показателями металлматричного слоистого композиционного материала (толщина) отсутствуют различия отклоняется, так как фактическое значение F (113,5146) больше табличного ( $F_{табл} = 3,354131$ ), следовательно, доказано, что между средними значениями показателя качества есть различия, что связано с различиями в оборудовании.

В связи с требованиями заказчика необходима оценка амплитуды варьирования толщины конечной продукции на исследуемых установках.

Были рассчитаны разности между максимальными и минимальными значениями толщины конечной продукции, полученных на представленных



установках. Значение варьирования рассчитано по формуле  $\Delta = h_{\max} - h_{\min}$  для каждой из установок, результаты показаны на рис. 20.

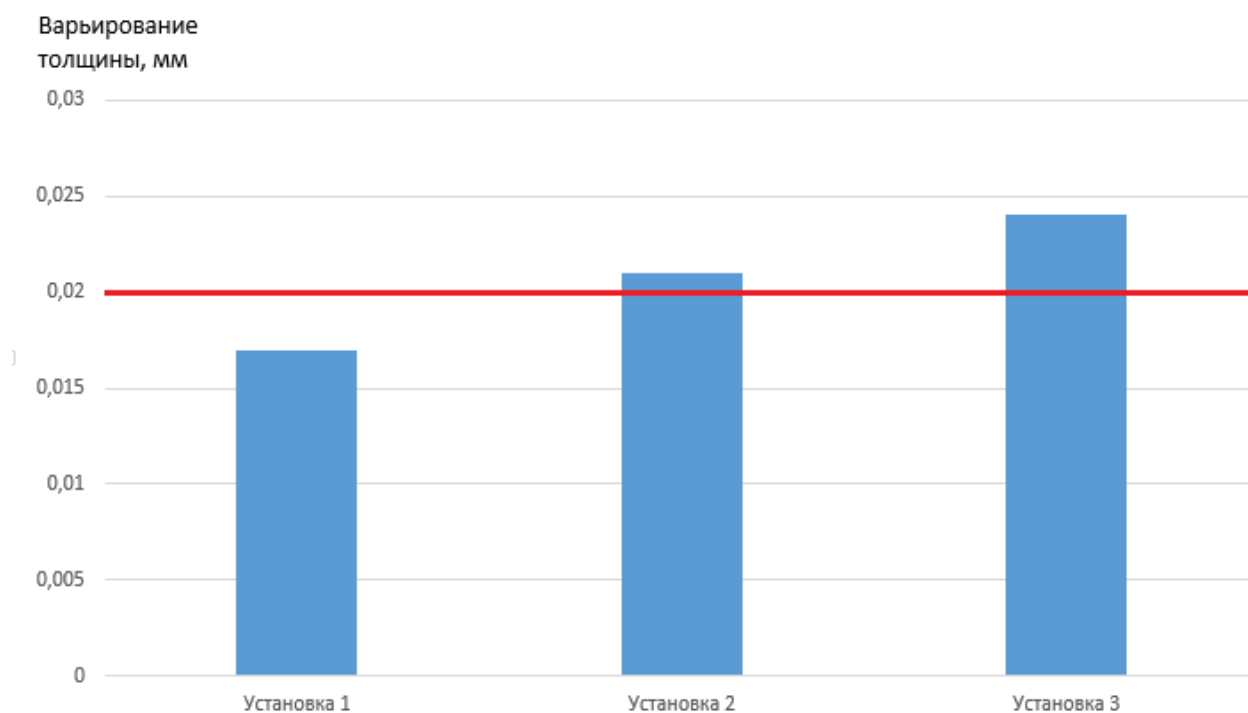


Рисунок 20 – Значение варьирования толщины на различных установках горячевакуумного прессования [92]

Выявлено, что установка 2 и 3 не соответствует предъявляемым заказчиком требованиям, так как варьирование данного показателя превышает значение 0,02 мм. Следовательно, с учетом того, что установлено влияние характеристик оборудования на показатели качества конечной продукции, необходимо включить в информационную подсистему управления качеством изделий из металломатричных слоистых композиционных материалов блок характеристик оборудования.

На рис. 21 предлагается модель характеристик оборудования для изготовления металломатричного слоистого композиционного материала, которая включает следующие блоки:

1. Технологических процессов:
  - 1.1 Термообработка армирующего;

1.2 Нанесение интерфазного покрытия на армирующий углеродный материал;

1.3 Формирование пакетов фольг;

1.4 Горячевакуумное прессование.

2. Выбора оборудования и его характеристик:

2.1 Муфельная печь.

2.1.1 Объем рабочей зоны,  $m^2$  (возможность загрузки заготовок и их количества);

2.1.2 Скорость нагрева,  $С^\circ/мин$  (соблюдение технологического режима по термообработке);

2.1.3 Диапазон рабочих температур,  $С^\circ$  (выполнение требований технологического режима по термообработке);

2.2 Печь химического осаждения из газовой фазы.

2.2.1 Объем рабочей зоны,  $m^2$  (возможность загрузки заготовок и их количества);

2.2.2 Диапазон рабочих температур,  $С^\circ$  (выполнение требований технологического режима по химическому осаждению из газовой фазы);

2.2.3 Однородность температуры,  $С^\circ$  (выполнение требований по однородности получаемого покрытия);

2.2.4 Предельный вакуум, Мпа (выполнение требований по химическому составу получаемого покрытия);

2.3 Ручные гильотинные ножницы.

2.3.1 Объем рабочей зоны,  $m^2$  (возможность разрезания листов различных геометрические размеров);

2.3.2 Угол наклона ножа, град (возможность разрезания листов их количества и толщин);

2.3.3 Максимальное усилие реза, Н (возможность разрезания листов их количества и толщин);

2.4 Вакуумная печь горячего прессования.

2.4.1 Объем рабочей зоны, м<sup>2</sup> (возможность загрузки заготовок и их количества);

2.4.2 Диапазон рабочих температур, С° (выполнение требований технологического режима по горячевакуумному прессованию);

2.4.3 Однородность температуры, С° (выполнение требований технологического режима по горячевакуумному прессованию, количество загружаемых заготовок);

2.4.4 Максимальное давление, Мпа (выполнение требований технологического режима по горячевакуумному прессованию).

Данная модель (рис. 21), включающая алгоритм выбора оборудования, может быть без особых сложностей адаптирована для применения в других отраслях промышленности.

В результате проведённых исследований установлено, что информационная подсистема управления качеством изделий из МСКМ должна состоять из следующих блоков: показатели качества конечной продукции, параметры технологических операций, характеристики исходных материалов, полуфабрикатов и оборудования.

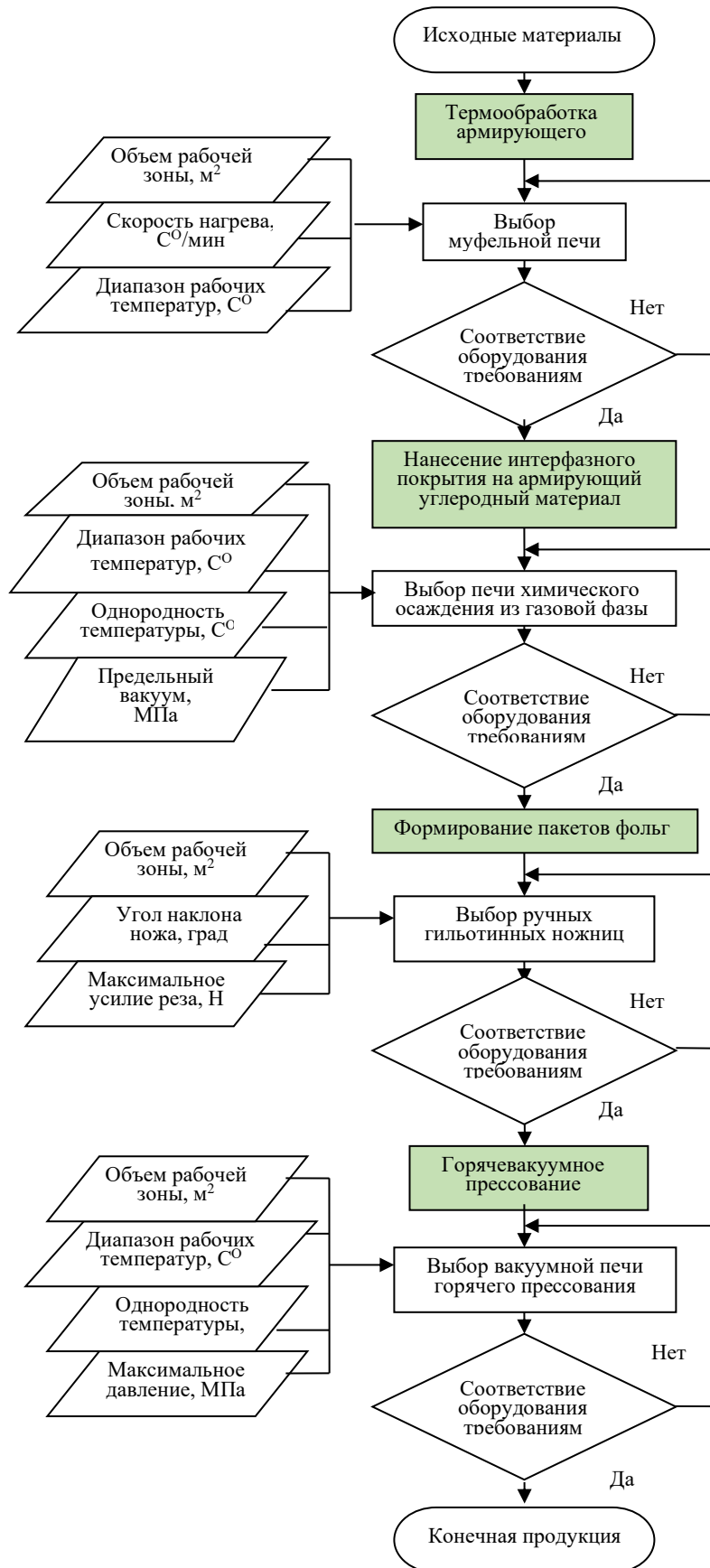


Рисунок 21 – Характеристики оборудования, применяемого в процессе выполнения технологических операций для изготовления МСКМ [93]

### 3.2 Разработка системы управления качеством изготовления металломатричного слоистого композиционного материала

В развитие проведенных исследований (раздел 3.1) разработана система управления качеством изделий из металломатричного слоистого композиционного материала с учетом требования заказчика (рис. 22) [91, 94], которая состоит из следующих блоков.

1. Блок показателей качества продукции из металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C:  $y_i$  (см. рис. 11).

2. Блок исходных материалов:

- $a_i^1$  - гидросплетенный углеродный холст;
- $a_i^2$  - газ монометилсилан;
- $a_i^3$  – фольги титана и меди.

3. Блок технологических (управляющих) параметров:

- $X_i^1$  - технологические параметры на этапе термообработки углеродного армирующего холста (температура, время выдержки);
- $X_i^2$  - технологические параметры на этапе нанесения интерфазного покрытия на углеродный армирующий холст (температура, время выдержки, давление, скорость осаждения, расход газа);
- $X_i^3$  - технологические параметры на этапе формирования пакетов фольг (толщина, схема выкладки);
- $X_i^4$  - технологические параметры на этапе горячего вакуумного прессования (температура, время выдержки, давление, степень вакуумирования).

4. Блок характеристик полуфабрикатов:

- $C_i^1$  – характеристики термообработанного углеродного холста;
- $C_i^2$  – характеристики термообработанного углеродного холста с нанесенным интерфазным покрытием;
- $C_i^3$  – характеристики пакета с чередующимися в определённом порядке углеродного холста, фольги титана и фольги меди.

5. Блок характеристик оборудования:

- $b_i^1$  – характеристики муфельной печи;
- $b_i^2$  – характеристики печи химического осаждения из газовой фазы;
- $b_i^3$  – характеристики ручных гильотинных ножниц;
- $b_i^4$  – характеристики вакуумной печи горячего прессования.

После получения конечной продукции проводится анализ соответствия показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала требованиям заказчика. Требования заказчика представляют собой численные характеристики, обусловленные назначением и свойствами, необходимыми для выполнения конкретных задач.

Требования заказчика определяются в зависимости от предполагаемой сферы применения материала (поставленной цели) и, соответственно, могут варьироваться.

Следовательно, неотъемлемой частью оценки качества продукции является блок сравнения показателей качества продукции (МСКМ) с предъявляемыми требованиями от заказчика по следующей формуле:

$$K_{n \min} \leq y_i < K_{n \max},$$

где:

$K_{n \min}$  – минимальные требуемые показатели качества конечной продукции, полученные от заказчика;

$K_{n \max}$  – максимальные требуемые показатели качества конечной продукции, полученные от заказчика;

$y_i$  – показатели качества конечной продукции.

Если данные требования выполняются, продукция отправляется заказчику, если результат не соответствует, тогда требуется проведение анализа полученных результатов и внесение изменений в систему управления получения металломатричного слоистого композиционного материала [91, 94].

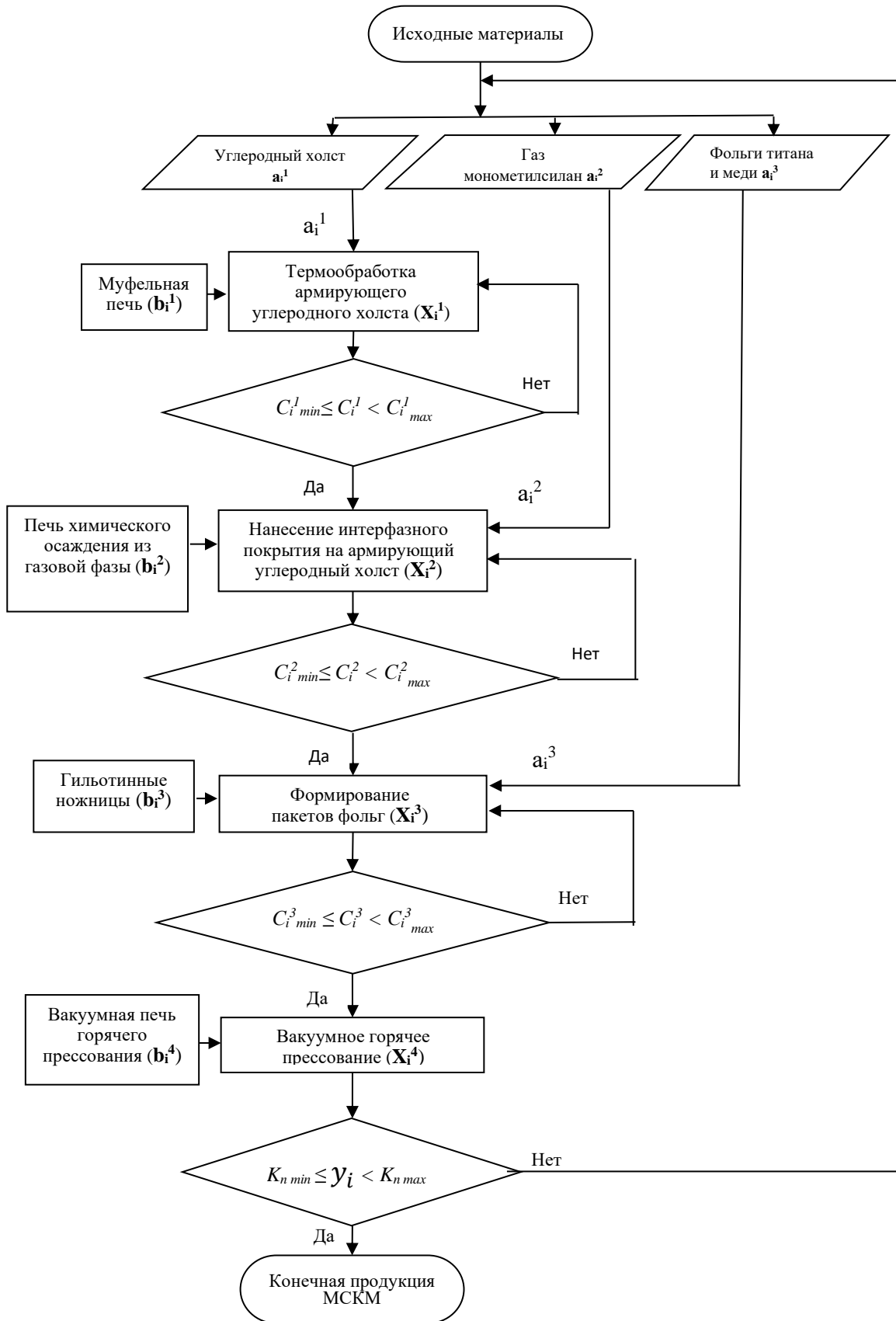


Рисунок 22 – Блок-схема системы управления качеством изготовления металломатричного слоистого композиционного материала [91, 94]

На основании математической модели зависимости показателей качества от основных влияющих факторов (формула 1, раздел 2.2) впервые разработан комплекс математических зависимостей характеристик полуфабрикатов для каждой операции и показателей качества конечной продукции [91].

В результате первой операции получается полуфабрикат термообработанный армирующий углеродный холст:

$$C_i^1 = f(a_i^1; x_i^1; b_i^1), \quad (4)$$

Вторая операция – нанесение интерфазного покрытия на армирующий углеродный холст:

$$C_i^2 = f(c_i^1; a_i^2; x_i^2; b_i^2), \quad (5)$$

Третья операция – формирование пакетов фольг:

$$C_i^3 = f(c_i^2; a_i^3; x_i^3; b_i^3), \quad (6)$$

Четвертая операция – вакуумное горячее прессование:

$$y_i = f(C_i^3; x_i^4; b_i^4), \quad (7)$$

Так же значение каждого (i-ого) технологического воздействия на (n-ой) операции -  $X_i^n$  зависит от характеристик оборудования ( $b_i^n$ ) на каждом этапе технологического процесса и должно выполняться следующее неравенство:

$$X_i^n \leq b_i^n, \quad (8)$$

Принципиальной новизной модели системы управления (рис. 22) является структура, включающая элементы, которые связаны вещественными и информационными потоками, основанные на специфике производства металлматричного слоистого композиционного материала с учетом характеристик оборудования и требований пооперационного контроля характеристик полуфабрикатов, что гарантирует требуемый уровень качества конечной продукции.



Отличительной особенностью создания нового металломатричного слоистого композиционного материала (системы Ti-Cu-C) является штучное производство, содержащее ручную сборку пакетов фольг.

Данную операцию предлагается оценивать как критичную с повышенным уровнем риска, так как после данного этапа брак невозможно исправить. Оценка влияния человеческого фактора проводится на этапе планирования и организации производства.

Для оценки влияния человеческого фактора на этапе ручной сборки пакетов фольг был проведен анализ рисков на всех этапах изготовления МСКМ системы Ti-Cu-C с применением приоритетного числа рисков табл. 7 [91].

$$\text{ПЧР} = O * S \quad (9)$$

Где:

ПЧР – приоритетное число рисков;

O – оценка вероятности появления риска, шт.;

S – оценка значимости последствий риска по каждому из шести технологических этапов в баллах.

Таблица 7 – Результаты оценки экспертов значимости последствий каждого риска в баллах [91]

Технологические этапы	1	2	3	4	5	6
S - оценка значимости последствий каждого риска по этапам в баллах	2	3	2	5	1	1

После чего в процессе изготовления были получены данные по количеству брака на 100 изготовленных изделий табл. 8.

Таким образом, можно вычислить частоту появления брака по формуле 10 и вычислить приоритетное число рисков (ПЧР) для каждого риска формула 9.

$$W = \frac{m}{\sum n} \quad (10)$$

Где:

$W$  – относительная частота возникновения события,

$m$ - количество брака, шт.,

$\sum n$ - общее количество изделий.

Таблица 8 – Расчет приоритетного числа рисков на этапах изготовления металломатричного слоистого композиционного материала [91]

Этап	1	2	3	4	5	6
Кол-во брака	0	1	0	4	1	0
Частота возникновения брака	0	0,01	0	0,04	0,01	0
ПЧР	0	0,03	0	0,2	0,01	0

Высокая частота появления брака и, соответственно, значение приоритетного числа рисков (0,2) на четвертом этапе создания изделия, а именно сборка пакетов фольг, обусловлена большим влиянием человеческого фактора.

Следовательно, рекомендуется внедрять методы автоматизированной сборки пакетов фольг на данном этапе производства для минимизации влияния человеческого фактора и сокращения количества бракованной продукции.

В разработанных в настоящее время системах управления качеством композиционных материалов структура информационного обеспечения «как правило» направлена только на решение оперативных задач управления. Однако в связи с этим невозможно выполнение перспективных задач планирования для чего необходима прогнозная информация, которая может быть получена только на основе соответствующих математических моделей.

На основе математической и графической зависимостей влияния параметров оборудования и технологии на показатели качества металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C возможно спрогнозировать получение материала с заданными показателями качества.

Например, для того чтобы получить МСКМ системы Ti-Cu-C с заданной толщиной необходимо обосновать температурный режим и средства его реализации.

На первом этапе была обоснована нижняя граница температуры спекания  $800^{\circ}\text{C}$ , что обусловлено химической реакцией, протекающей во время горячевакуумного прессования. При меньшей температуре не происходит химическая реакция взаимодействия углеродного армирующего с титановой матрицей.

В свою очередь увеличение температуры более  $2000^{\circ}\text{C}$  приводит к сильному увеличению скорости химической реакции (карбидизации титановой матрицы) и результатом является увеличение содержания карбида титана, что не позволяет достичь требуемого значения одного из показателей качества (разрушающее напряжение при растяжении, МПа). Следовательно, полученный материал становится хрупким.

Таким образом, температурный интервал должен быть в границах  $800 \leq T < 2000^{\circ}\text{C}$ .

Следует так же отметить, что диапазон температуры ограничен по возможности обеспечить необходимый интервал температур (ось  $x$ ) более  $1900^{\circ}\text{C}$ , что связано с характеристиками оборудования и особенностями технологического процесса, а именно используемое оборудование позволяет варьировать температуру спекания от  $800$  до  $1900^{\circ}\text{C}$ , что связано с возможностями оборудования и физико-механическими процессами [91].

На рис. 23 представлена графическая и математическая прогнозная модель зависимости толщины конечной продукции ( $h$ , мм) от температуры спекания с учетом лимитирующих факторов [91].

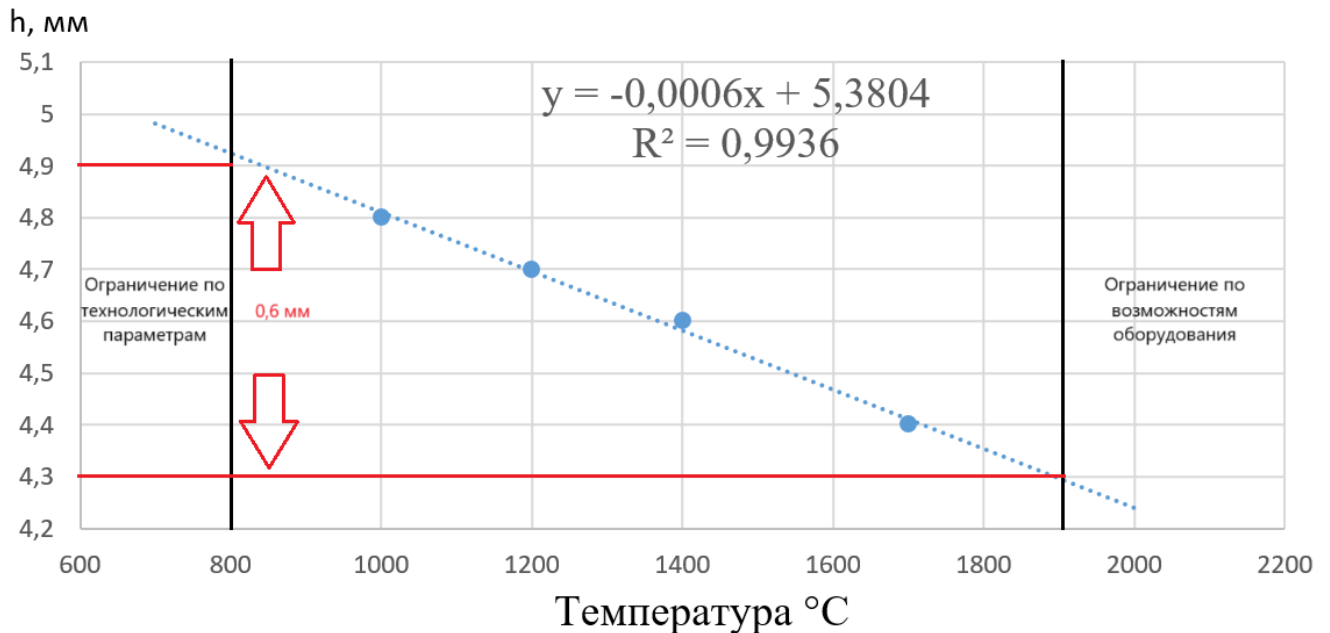


Рисунок 23 – Графическая и математическая прогнозная модель зависимости толщины конечной продукции ( $h$ , мм) от температуры спекания [91]

По результатам проведенных экспериментальных исследований обоснована возможность обеспечения толщины конечной продукции как одного из основных показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала в диапазоне от 4,3 до 4,9 мм.

В результате проведенных экспериментальных исследований доказано, что: характеристики оборудования (диапазон рабочей температуры) являются лимитирующими факторами для обеспечения необходимых значений технологических параметров, что в свою очередь ограничивает возможности получения перспективной продукции с заданными свойствами.

Прогнозная модель позволяет определить наименьшую и наибольшую возможную температуру спекания для получения необходимой толщины пакета при неизменной схеме выкладки и количестве слоев.

Кроме того, данная модель позволяет спрогнозировать диапазон требуемых технологических параметров (температуры спекания) для получения продукции с перспективными свойствами.

Следовательно, доказана необходимость включения в систему информационного обеспечения управления качеством блока прогнозной информации, включающего комплекс соответствующих математических моделей.

Таким образом, доказано, что информационное обеспечение системы управления качеством металлматричного слоистого композиционного материала (Ti-Cu-C) должно иметь следующую структуру:

- показатели качества продукции из металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C;
- характеристики исходных материалов;
- параметры технологических операций;
- характеристики полуфабрикатов;
- характеристики оборудования, применяемого в процессе выполнения технологических операций при изготовлении МСКМ;
- прогнозная информация (комплекс математических моделей).

На основании проведенного исследования разработан комплекс моделей информационной подсистемы управления качеством продукции из металлматричного слоистого композиционного материала, включающий блоки характеристик исходных материалов, полуфабрикатов, параметров технологических процессов, оборудования и показателей качества конечной продукции. Разработанная информационная подсистема позволяет осуществлять мониторинг на всех стадиях изготовления металлматричных слоистых композиционных материалов, который гарантирует соблюдение всех технологических операций и получения качественной продукции с заданными заказчиком свойствами.

Полученные модели можно применять к подклассу слоистых композиционных материалов, а также учитывать полученные данные при составлении аналогичных моделей для материалов, изготавливаемых методом выкладки.

### **Выводы по главе 3**

1. Разработана блок-схема (модель) управления качеством продукции из

металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C. Принципиальной новизной модели системы управления являются элементы, которые связаны вещественными и информационными потоками, учитывают специфику производства металломатричного слоистого композиционного материала с учетом характеристик оборудования и требований пооперационного контроля характеристик полуфабрикатов, что гарантирует требуемый уровень качества конечной продукции. Данная модель позволила обосновать структуру системы информационного обеспечения управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами.

2. Разработана математическая модель, описывающая процесс формирования показателей качества продукции как функции характеристик исходных материалов, полуфабрикатов, оборудования и параметров технологических операций. Впервые предложен комплекс математических зависимостей характеристик качества полуфабрикатов для каждой операции и показателей качества конечной продукции.

3. На основе экспериментальных исследований разработаны математические и графические зависимости влияния характеристик оборудования на технологические параметры, показатели качества конечной продукции, которые позволили доказать необходимость включения характеристик оборудования в структуру информационного обеспечения (Приложение 1,2,3).

4. Разработаны графическая и математическая модель зависимости толщины конечной продукции ( $h$ , мм) от температуры спекания. Данная модель доказывает наличие влияния технологического параметра (температура спекания) на показатель качества конечной продукции (толщина), а так же позволяет определить наименьшую и наибольшую возможную температуру спекания для получения необходимой толщины пакета при неизменной схеме выкладки и количестве слоев, следовательно, можно спрогнозировать диапазон технологических параметров для получения продукции с перспективными свойствами, то есть планировать ее выпуск.

5. Обоснована перспективная возможность изменения конечной толщины продукции как одного из основных показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала от технологических параметров. При этом температура спекания может варьироваться от 800 до 1900°С, что связано с возможностями оборудования и физико-механическими процессами.

## **ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ Ti-CU-C**

### **Цель исследования**

Создание металломатричного композиционного материала, армированного углеродными волокнами, для применения в элементах газотурбинного двигателя с заданными заказчиком показателями качества.

### **4.1 Экспериментальные исследования по получению металломатричного композиционного материала Ti-C**

В связи с растущими требованиями ракетно-космической техники требования к материалам возрастают, вследствие этого возникла необходимость в усовершенствовании показателей качества композиционных материалов. Для решения данной задачи специалистами Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН [49] в 2004 году был разработан новый экспериментальный материал металломатричный волокнистый композиционный материал «Ti -углеродное волокно», получаемый засыпкой углеродного волокна в титановый расплав. Однако полученный материал не в полной мере соответствовал новым требованиям заказчика, в том числе по физико-механическим показателям. По оценке специалистов – это было связано с особенностями данной технологии, которая приводила к высокой степени химического взаимодействия между расплавом титана и углеродного волокна, что вследствие являлось причиной утончения волокна и образованию карбида титана, и следовательно, к несоответствию показателя (разрушающее напряжение при растяжении, МПа) качества требованиям заказчика.

В 2020 году эксперименты по получению композиционного материала Ti-C были продолжены с применением других отличных от предыдущих технологий при непосредственном участии автора на базе АО «Композит», а именно:



1. Методом литья с применением прута сплава титана ВТ-14.
2. Методом литья с применением порошка титана марки ВТ-1-0.

#### **4.1.1 Исследование получения композиционного материала Ti-C методом литья с применением прута титана марки ВТ-14**

На первом этапе исследования был проведен анализ исходного органоморфного углеродного каркаса с целью определения требований к закупаемому углеродному каркасу для создания металломатричного композиционного материала с применением метода литья.

На базе лаборатории Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» гетерогенного синтеза перспективных материалов инжинирингового центра «высокотемпературные композиционные материалы» при участии автора был проведен порометрический анализ образцов исходного органоморфного каркаса методом эталонной порометрии. Порометрический анализ применяется для определения пористости материала и характеристик распределения пор в материале по их диаметру, как основных характеристик углеродного органоморфного каркаса.

Принцип метода эталонной порометрии заключается в сравнении влагосодержания эталона и образца. Образцы взвешивают и пропитывают специальной жидкостью при отрицательном давлении. Для получения корректных данных перед проведением исследования производится просушка эталона и исследуемой заготовки. Следующим этапом из полученных образцов извлекается лишняя измерительная жидкость, производится взвешивание. Полученные данные анализируются, определяется объем и масса жидкости. Данные операции повторяются до полного удаления из эталона и образца измерительной жидкости.

При использовании полученных объема, масса жидкости и тарировочной порометрической кривой, которая уже определена для эталона, возможно провести

расчет порометрической зависимости для исследуемой заготовки. Изображение поромера представлено на рис. 24.

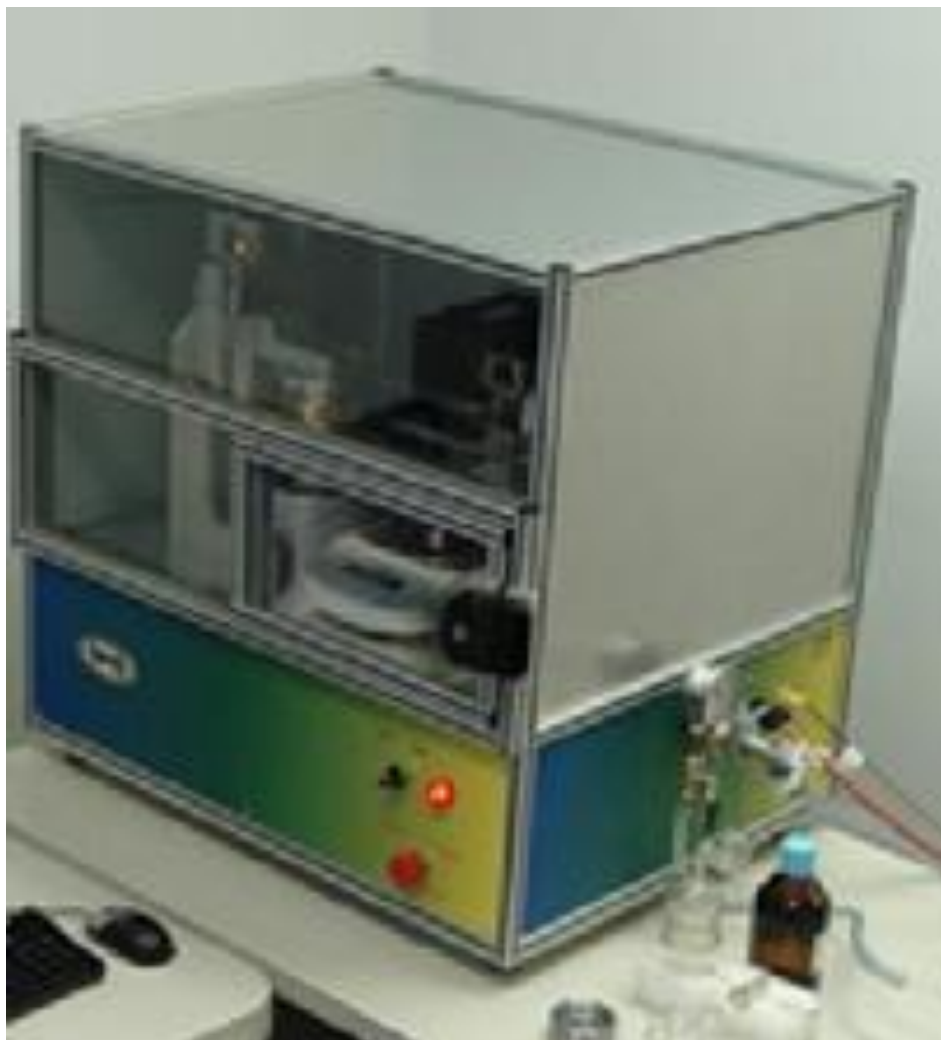


Рисунок 24 – Поромер марки Porosimetr 3.2

Автоматизированный эталонный поромер (далее поромер) – это робот-манипулятор, который реализует метод эталонной порометрии в автоматическом режиме.

Эталонный поромер состоит из следующих основных частей:

- станция сушки;
- станция взвешивания;
- вакуумная система;
- манипулятор;
- защитный бокс;
- блок электронного управления и персональный компьютер;

- комплект кассет;
- периферийное оборудование для предварительной подготовки эталонов и образцов;
- эталоны и измерительные жидкости.

По результатам испытания полученных образцов исходного органоморфного каркаса на установке укомплектованной программным комплексом получена зависимость распределения пористости исходного органоморфного каркаса (рис. 25).

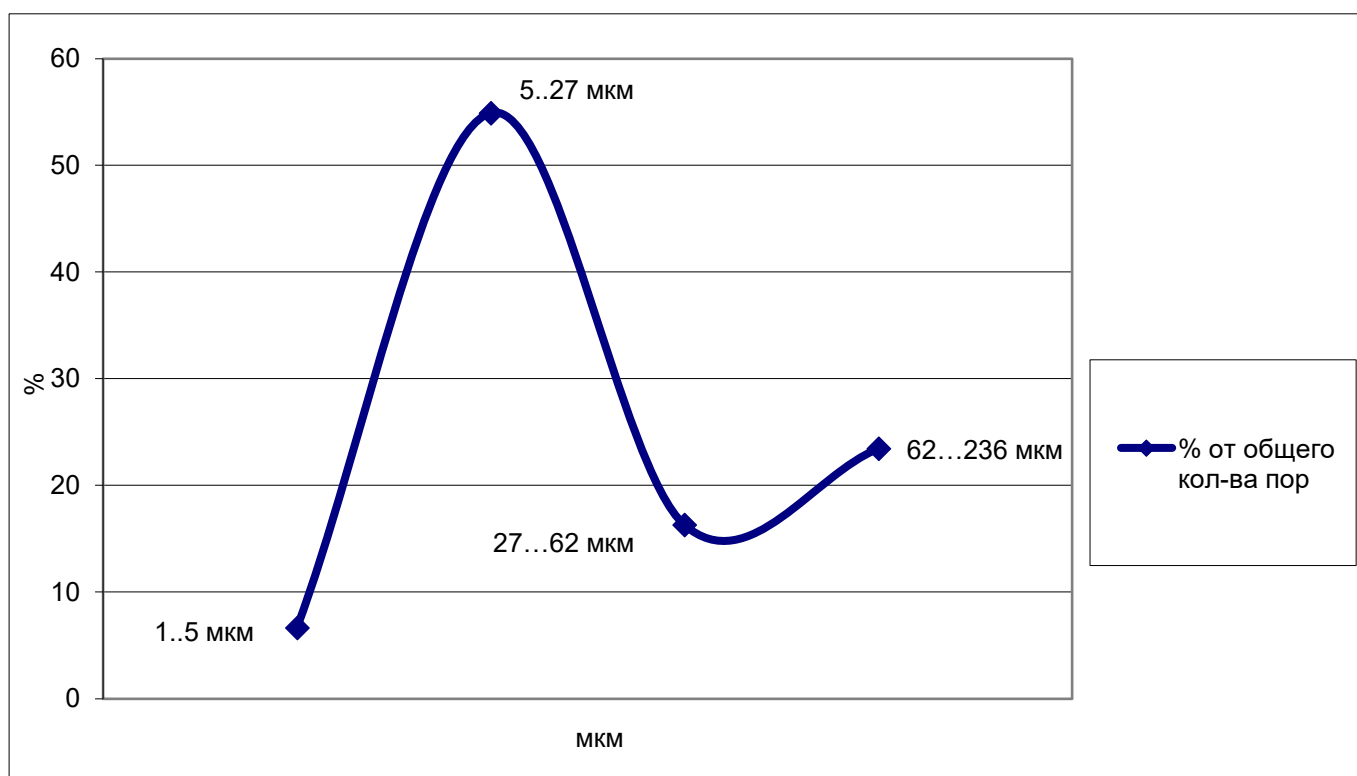


Рисунок 25 – Распределение пористости исходного органоморфного каркаса

На рис. 25 представлены результаты анализа распределения пористости исходного органоморфного каркаса, на основании которого можно утверждать о преобладающем количестве пор в диапазоне от 5 до 27 мкм. Открытая пористость материала составляет 66%, что позволяет пропитать исходный углеродный каркас расплавами металлов и является требованием к выбору исходного закупаемого материала.

На втором этапе исследования, проведенном на базе АО «Композит», при непосредственном участии автора, были применены метод литья для получения металлматричного композиционного материала системы Ti-C, а именно: пропитка углеродных высокопористых органоморфных каркасов расплавами металлов.

Цель экспериментального исследования: определить возможность внедрения расплава титана (BT-14) в высокопористый армирующий каркас Ипресскон<sup>®</sup> с интерфазным покрытием карбида кремния.

При пропитке углеродных высокопористых органоморфных каркасов расплавом применялись следующие материалы:

1. Прут сплава BT-14.
2. Армирующий углеродный каркас с открытой пористостью 62-68% и величиной приведенного диаметра пор – в интервале 10-30 мкм [44, 100].

Температурная обработка исходного армирующего углеродного каркаса из ПАН проводилась в две стадии:

1. Термостабилизация в окислительной среде.
2. Карбонизация.

Термостабилизация исходного каркаса из ПАН волокна проводилась в температурном интервале 200-300°C [101, 102, 103].

Высокотемпературная карбонизация для получения углеродного каркаса Ипресскон<sup>®</sup> проводилась в установке высокотемпературной обработки в инертной среде. При температуре 1400-1600°C и давлении  $1 \times 10^{-4}$  Па [47, 104, 105].

Нанесение интерфазных покрытий на все образцы нетканых каркасов проводили химическим осаждением из газовой фазы. При температуре 500-700°C и давлении 80-100 Па [106, 107, 108].

Первым был проведен эксперимент по возможности внедрения расплава титана (BT-14) в высокопористый армирующий каркас Ипресскон<sup>®</sup> с интерфазным покрытием карбида кремния [109]. На рис. 26 показан контейнер, пуансон, металлическая шайба из сплава BT-14 и образец в виде шайбы армирующего каркаса Ипресскон<sup>®</sup>.

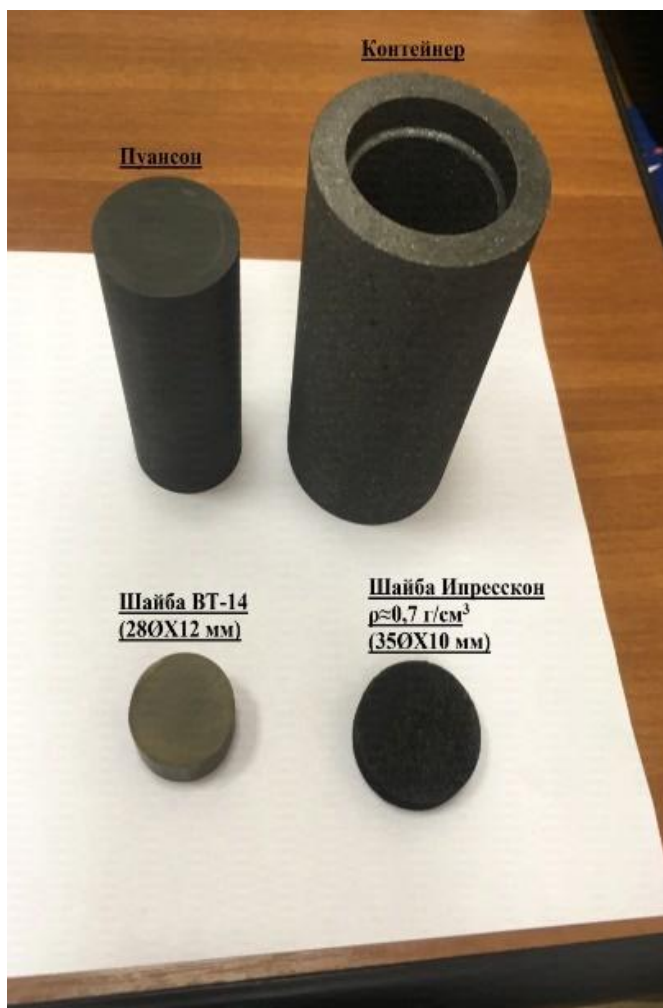


Рисунок 26 – Внешний вид садки [108]

Данный эксперимент показал возможность внедрения титановой матрицы в углеродный каркас, однако, как видно на рис. 27, внедрение оказалось не равномерным. На рис. 27 (б) отчетливо видны три точки, в которых расплав прошел на всю толщину образца. Несмотря на применение интерфазного покрытия, во всех пяти проведенных экспериментах с изменением температуры (800-1650°C) и прилагаемого давления (5-15 МПа), было зафиксировано взаимодействие филаментов с матричным материалом в образовании карбида титана. Это привело к утончению волокна на 50 %.



Рисунок 27 – Внешний вид образца, полученного после насыщения расплавом титанового сплава ВТ-14 [109]

а) Вид сверху, место контакта с расплавом;

б) Вид снизу, не контактирующий с расплавом на начальном этапе

В результате проведенного эксперимента доказана возможность внедрения расплава титана (ВТ-14) в высокопористый армирующий каркас Ипрескон® с интерфазным покрытием карбида кремния. Однако внедрение оказалось не равномерным и исходное волокно подверглось химической деструкции в результате реакции с титаном, приведшей к образованию карбида титана, что негативно влияет на физико-механические показатели. Следовательно, при применении данной технологии не был получен материал соответствующий требованиям заказчика.

#### **4.1.2 Исследование получения композиционного материала Ti-C методом литья с применением порошка титана марки ВТ-1-0**

Следующим этапом исследования было изучение применения метода литья с использованием порошка титана марки ВТ-1-0 для получения металломатричного композиционного материала системы Ti-C с заданными свойствами.

Для проверки возможности внедрения титанового порошка в углеродный каркас было произведено нанесение порошка на образец.

При пропитке углеродных высокопористых органоморфных каркасов расплавами металлических порошков применялись следующие материалы:

1. Порошок титана марки ВТ-1-0 фракции 80-125 мкм.
2. Армирующий углеродный каркас с открытой пористостью 62-68% и величиной приведенного диаметра пор – в интервале 10-30 мкм [44, 100].

Температурная обработка исходного каркаса из ПАН проводилась в две стадии:

1. Термостабилизация в окислительной среде.
2. Карбонизация.

Термостабилизация исходного каркаса из ПАН волокна проводилась в температурном интервале 200-300°C [101, 102, 103].

Высокотемпературная карбонизация для получения углеродного каркаса Ипресскон® проводилась в установке высокотемпературной обработки в инертной среде. При температуре 1400-1600°C и давлении  $1 \times 10^{-4}$  Па [47, 104, 105].

Нанесение интерфазных покрытий на все образцы нетканых каркасов проводили химическим осаждением из газовой фазы. При температуре 500-700°C и давлении 80-100 Па [106, 107, 108].

Данный метод показал более равномерное проникновение матричного материала, однако на меньшую глубину. Внешний вид образца представлен на рис. 28.

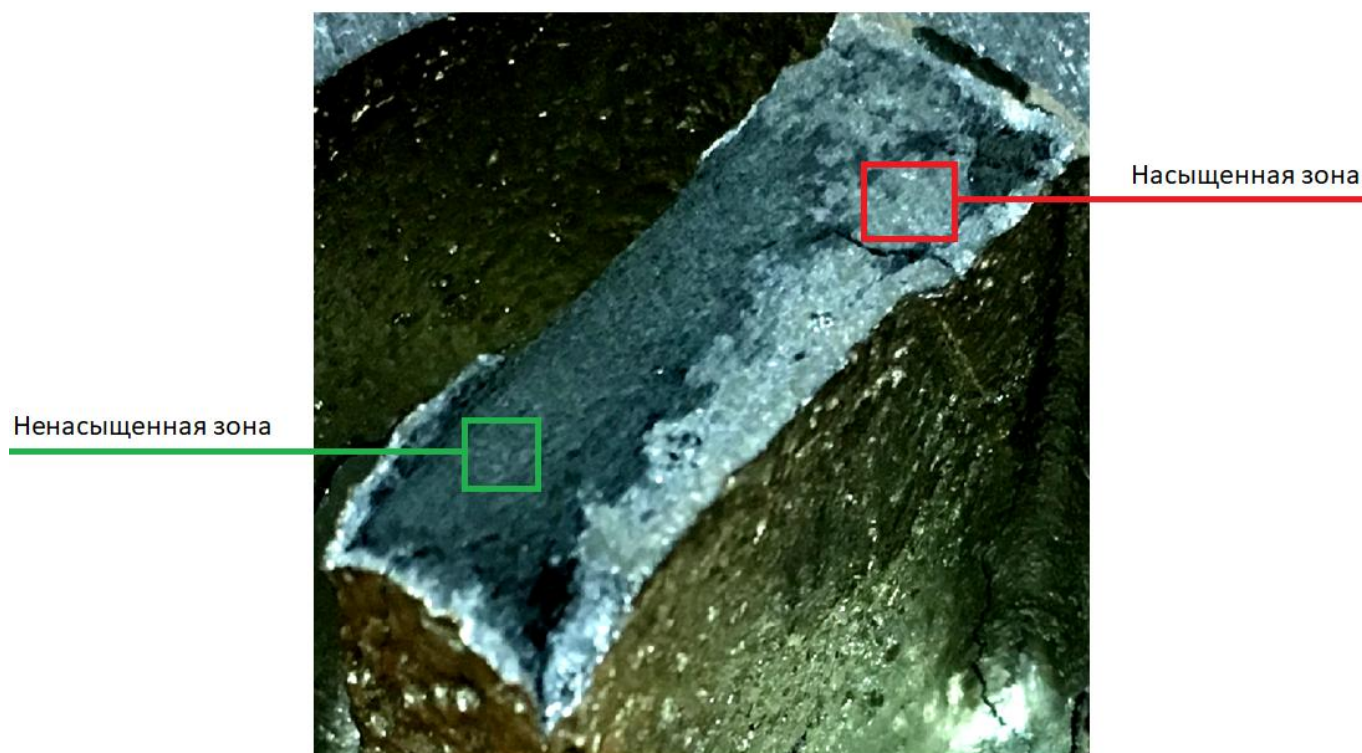


Рисунок 28 – Внешний вид образца после проведения процесса насыщения порошком ВТ-1- 0 [108]

Насыщение образцов на всю толщину является трудно реализуемым в связи с химической реакцией образования карбида титана, который препятствует дальнейшему проникновению матричного материала. Химическое взаимодействие в данном методе слишком сильное даже при наличии интерфазы на волокнах.

В результате проведенного эксперимента доказано, что внедрение расплава порошка титана марки ВТ-1-0 оказалось неравномерным и химическое взаимодействие в данном методе так же привело к химической деструкции волокна, в результате реакции с титаном, приведшей к образованию карбида титана, что негативно влияет на физико-механические показатели.

Следовательно, метод литья в обоих проведенных экспериментах не дал желаемых результатов и была выдвинута гипотеза о возможности создания металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C (МСКМ) [72].



### 4.1.3 Обоснование создания металломатричного слоистого композиционного материала (МСКМ) системы Ti-Cu-C

Цель данного исследования - подтверждение гипотезы о возможности создания металломатричного слоистого композиционного материала (МСКМ) системы Ti-Cu-C.

Для создания композиционного материала Ti-Cu-C был применен метод порошковой металлургии, включающий в себя горячее вакуумное прессование (ГВП) пакетов из фольг титана, меди и гидросплетенных углеродных холстов.

В данной технологии были применены следующие исходные материалы:

1. Фольга титана марки ВТ-1-0 толщиной 50 мкм.
2. Спрессованный гидросплетенный холст толщиной 1 мм.
3. Медная фольга толщиной 15 мкм марки М1.

Температурная обработка спрессованного гидросплетенного холста из ПАН проводилась в две стадии:

1. Термостабилизация в окислительной среде.
2. Карбонизация.

Термостабилизация исходного каркаса из ПАН волокна проводилась в температурном интервале 200-300°C [101, 102, 103].

Нанесение интерфазных покрытий на все образцы нетканых каркасов проводили химическим осаждением из газовой фазы. При температуре 500-700°C и давлении 80-100 Па [106, 107, 108].

Прессование пакета фольг проводилось с применением горизонтальной вакуумной печи горячего прессования модели HVHP-446S. При горячем прессовании фольг было приложено давление 5-15 МПа. В результате были получены несколько образцов металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C. Для анализа химического состава, степени химического взаимодействия фольг титана и углеродного холста, а так же наличия трещин, было проведено исследование микроструктур.

Исследование микроструктур должно позволить:

1. Определить отсутствие включений, влияющих на химический состав;

2. Оценить качество полученного композиционного материала, а именно оценить степень химического взаимодействия углеродного волокна с расплавом титана, степень которого напрямую влияет на физико-механические показатели получаемого изделия и температуру эксплуатации;

3. Определить наличие дефектов таких как трещины.

Микроструктуру данных образцов, полученных во всех экспериментах, изучали на сканирующем электронном микроскопе (JSM-6610 LV с энергодисперсионным анализатором Advanced AZtec (рис. 29)).



Рисунок 29 – Сканирующий электронный микроскоп (JSM-6610 LV с энергодисперсионным анализатором Advanced AZtec

Для минимизации химического взаимодействия гидросплетенных углеродных холстов и фольг титана, использован метод послойной выкладки спрессованных гидросплетенных углеродных холстов с интерфазным покрытием SiC и фольг титана ВТ -1-0 с применением инертных к углероду фольг меди.

Наибольшее влияние на характеристики получаемого КМ оказывает процесс насыщения армирующего материала расплавом титановой матрицы, а также предварительная подготовка пакета фольг.

Для создания КМ было выбрано весовое соотношение Ti- 40-60%, Cu – 40-60%, так данный интервал имеет наиболее тугоплавкие соединения:  $Ti_2Cu$ ,  $TiCu$  и  $Ti_3Cu_4$ . Фазовая диаграмма Ti-Cu, представленная на рис. 30.

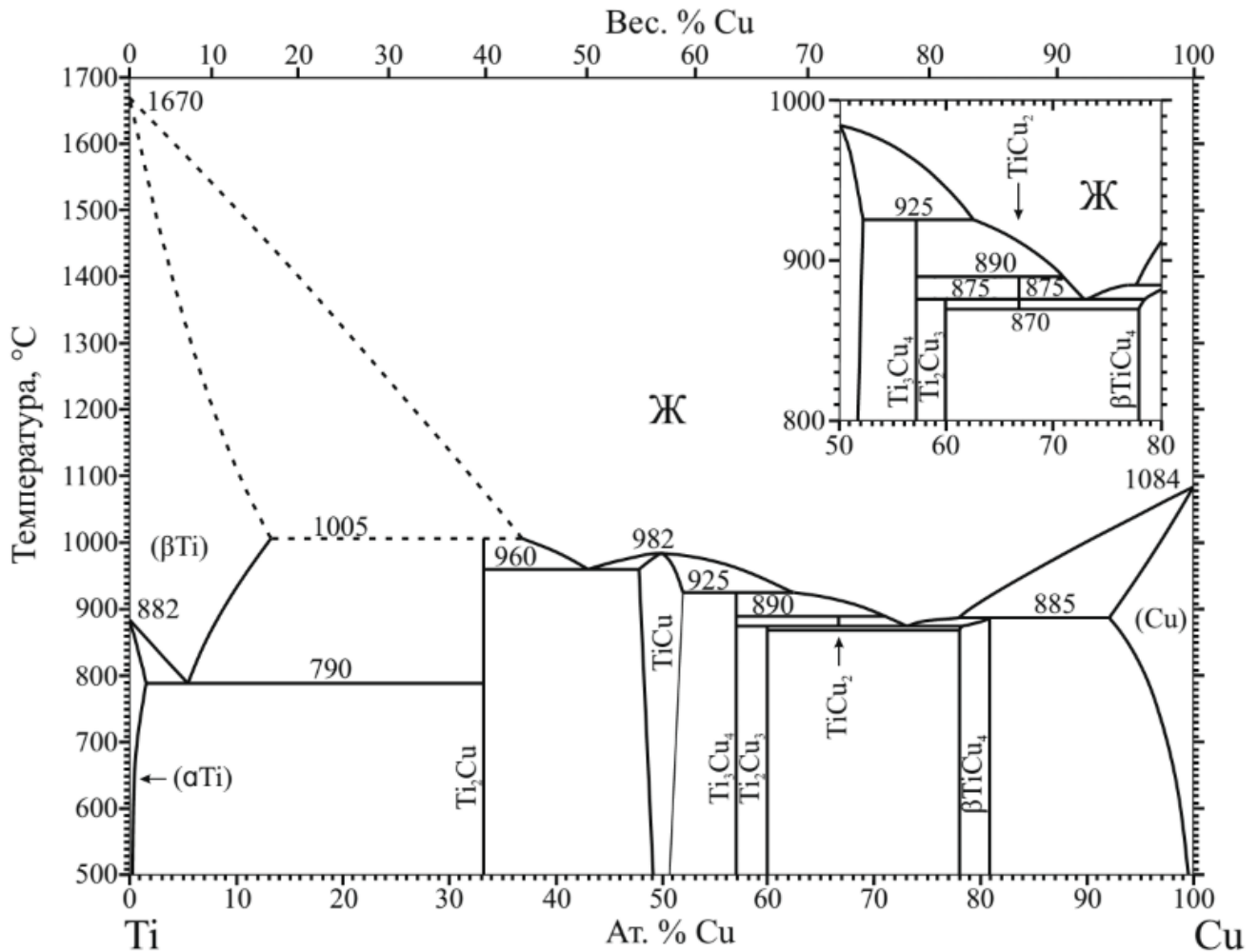


Рисунок 30 – Фазовая диаграмма системы Ti-Cu [111]

В связи с требуемым соотношением Ti-Cu и нецелесообразностью размещения углеродных холстов в прямом контакте с фольгой титана была создана следующая выкладка пакета, представленная в табл. 9, которую в последующем можно наращивать [112].

Таблица 9 – Схема послойной выкладки пакета фольг [112]

№	Слой	Толщина фольги, мкм
1	Cu	30
2	Ti	50
3	Cu	30
4	C-(SiC)	10
5	Cu	30
6	Ti	50
7	Cu	30
8	C-(SiC)	10
9	Cu	30
10	Ti	50
11	Cu	30
Суммарная толщина фольги, мкм		350

Данная выкладка характеризуется весовым соотношением Cu-55%, Ti -45%, что соответствует соединению TiCu (рис. 30).

Таким образом, данный метод позволяет замедлить химическое взаимодействие титана с филаментами углеродного наполнителя. Зафиксирована потеря диаметра филамента примерно 15-20% (рис. 31) при среднем диаметре филаментов исходного каркаса 8 мкм [109], что лучше ранее полученных результатов с применением методов литья, где потеря диаметра филамента составила  $\approx$  50-70%.

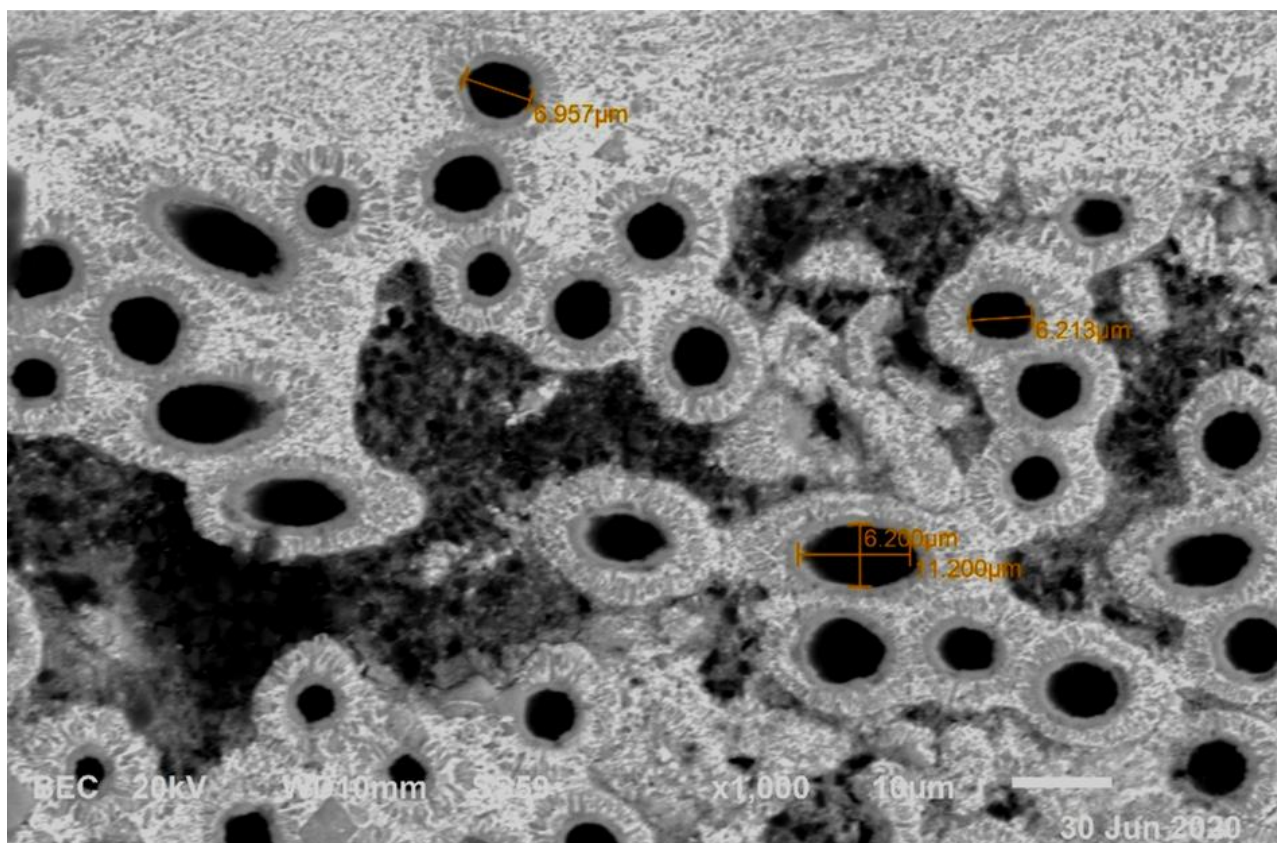
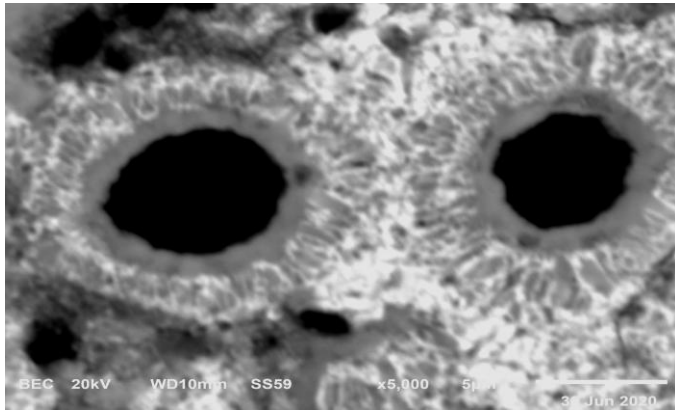
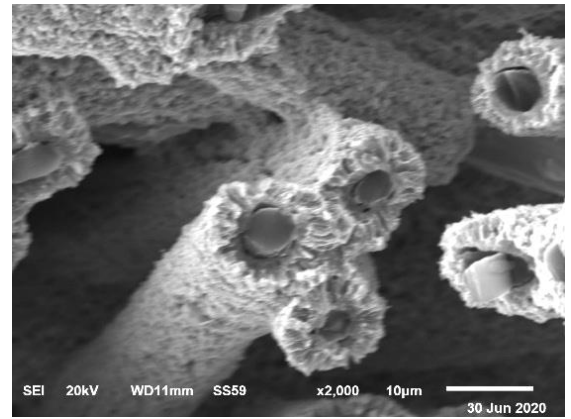


Рисунок 31 – Микроструктура образца с диаметром филаментов 6,5 мкм [109]

Однако, следует отметить, увеличение длительности процесса в связи с необходимостью проведения ступенчатого нагрева и охлаждения с большим количеством выдержек, чем в предыдущих процессах, для нивелирования эффектов образования трещин на границе раздела Ti-Cu, изложенных в работе [110]. Интерфаза карбида кремния в виде равномерного покрытия на филаментах реагирует с титаном, что приводит к образованию тонкой оболочки карбида титана вокруг волокна (рис. 32 а, 33) толщиной приблизительно 1 мкм (рис. 31). Волокно, таким образом, покрыто слоем карбида титана, который образовывается в результате химической реакции с карбидом кремния. Межфиламентное пространство, согласно рис. 31 в, 33 занимает фаза Ti-Cu-C, результаты определения атомного состава, который представлен на рис. 35 и в табл. 10 [109].



а

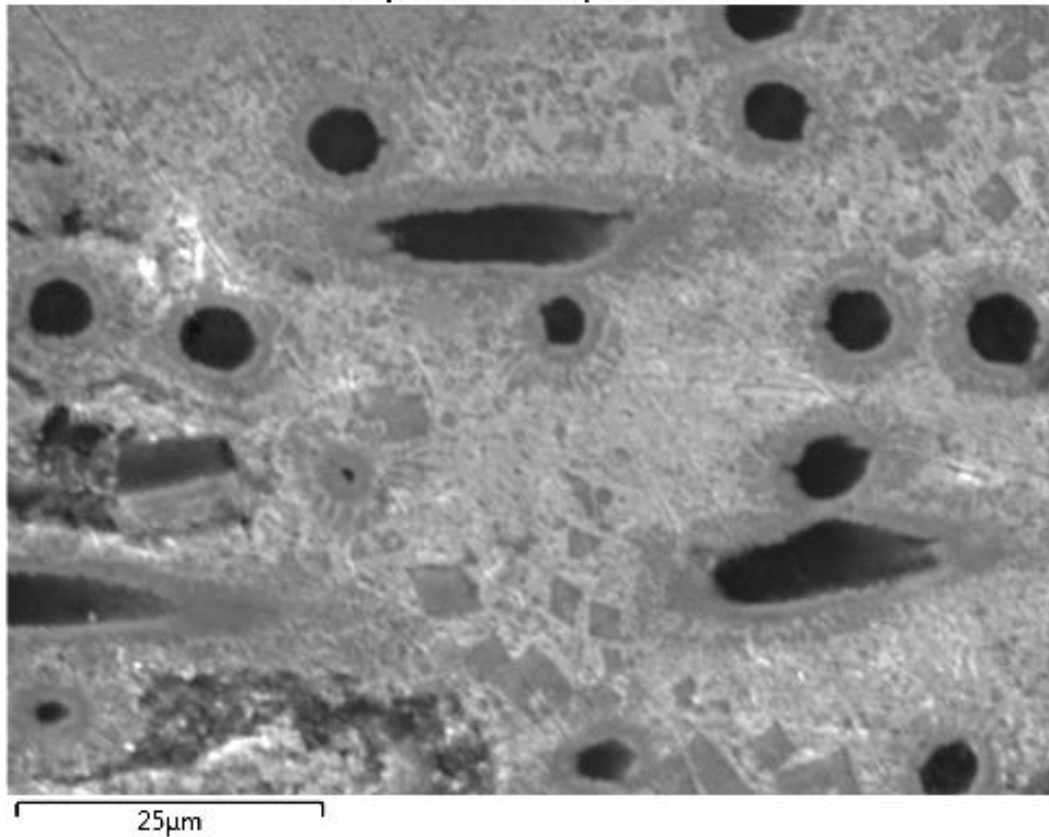


б

Рисунок 32 – Микроструктура полученного выкладкой образца [109]

На рис. 32 (б) заметно, что при изломе образца предположительно происходит вязкое разрушение.

### Электронное изображение 13



а

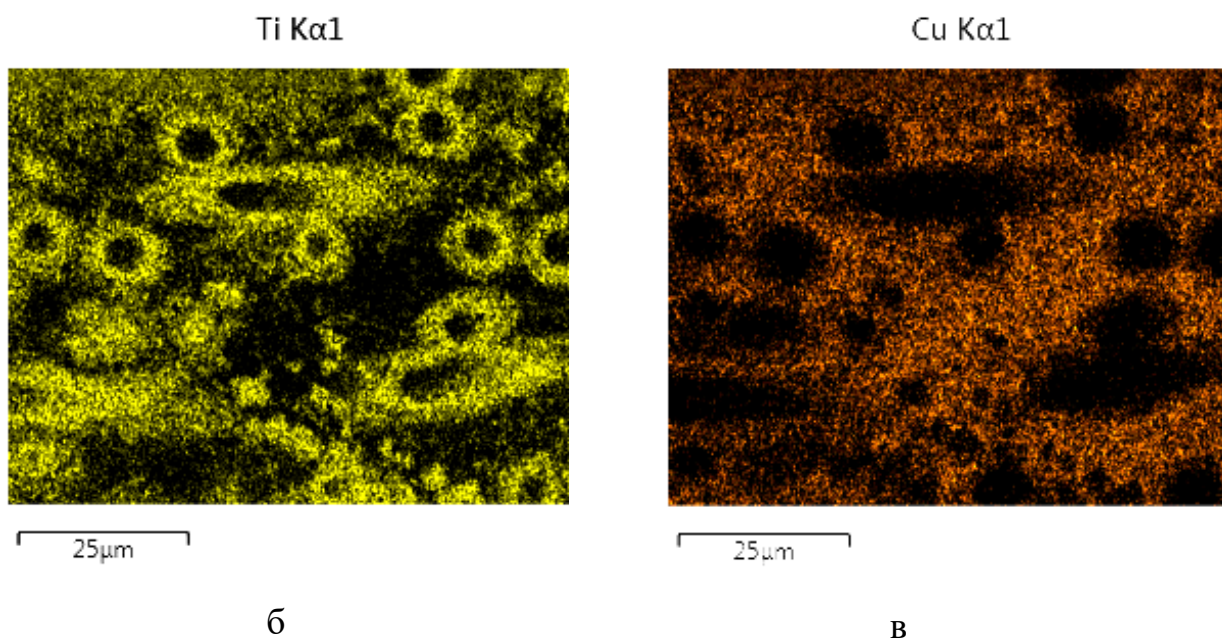
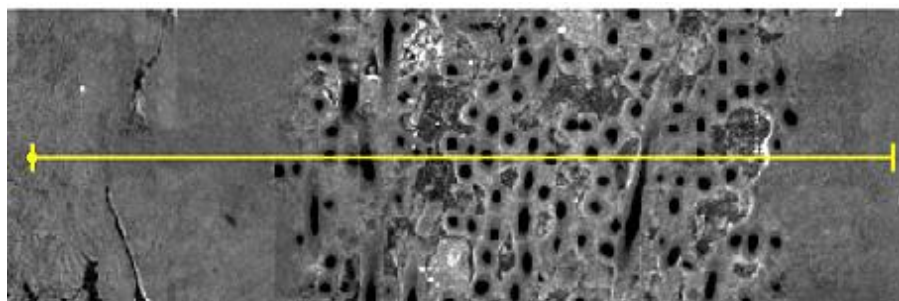
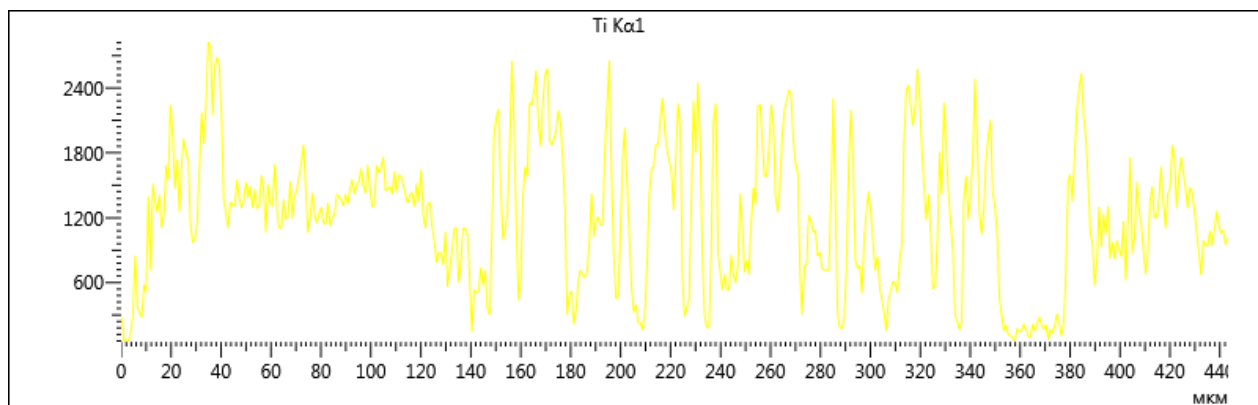


Рисунок 33 – Многослойная карта распределения элементов в полученном образце, где: а - микроструктура участка образца, б, в - распределение отдельных элементов [109]

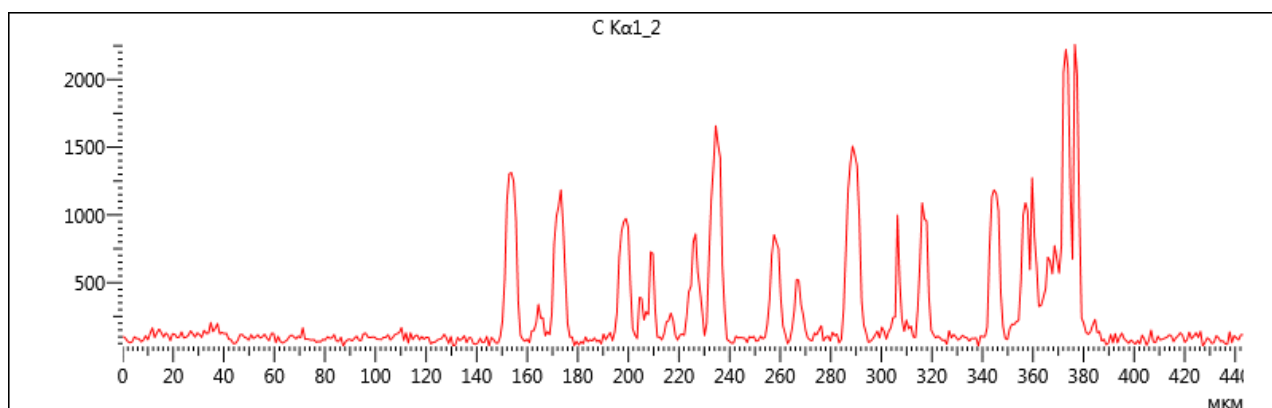
Рисунок 33 (б, в) указывает на повышенную концентрацию титана вблизи углеродных волокон; медь, в свою очередь, сконцентрирована в межфиламентном пространстве. Это подтверждается профилем по элементам, который представлен на рис. 34, на котором видно, что пики углерода и титана совпадают, а пики меди противоположны пикам углерода.



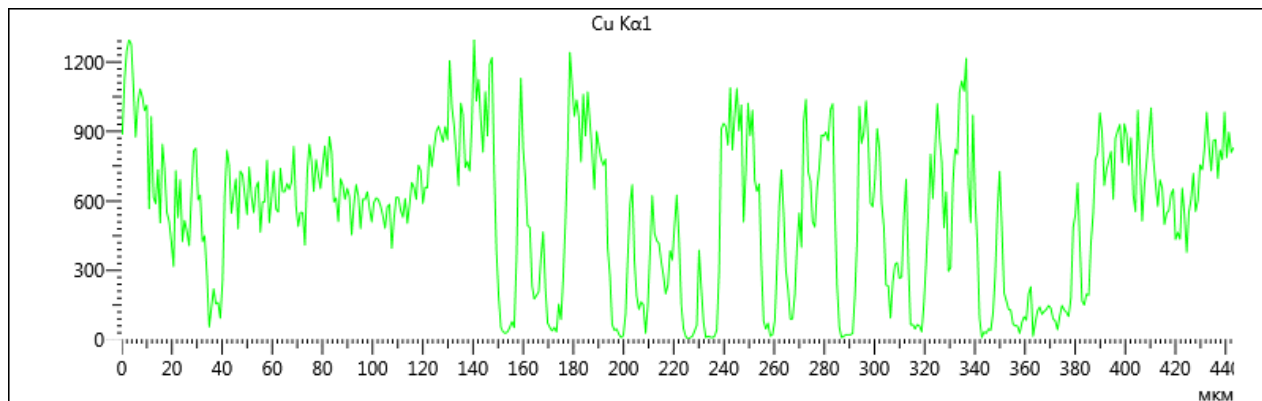
а



б



в



г

Рисунок 34 – Профиль по элементам полученного образца: а – диапазон снятия данных; профили в заданном диапазоне: б - титана, в - углерода, г – меди



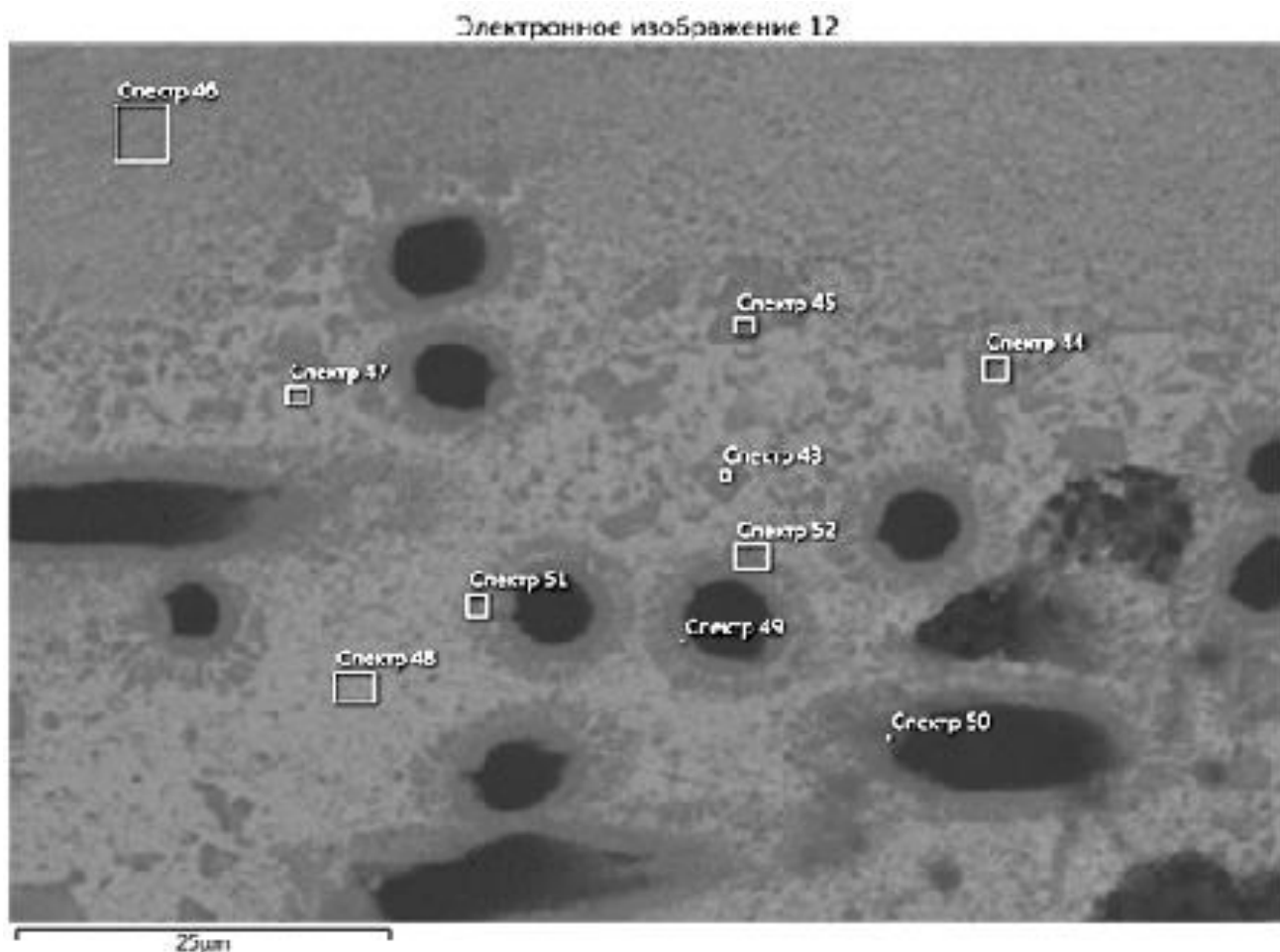


Рисунок 35 – Микроструктура участка образца, взятого для проведения спектрального анализа [109]

Таблица 10 – Результат спектрального анализа [109]

Тип результата	Атом, %								
	Спектр 43	Спектр 45	Спектр 44	Спектр 46	Спектр 47	Спектр 49	Спектр 48	Спектр 50	Спектр 52
С	46.88	50.23	50.19	48.52	52.33	50.52	39.11	73.66	51.21
Ti	30.59	36.49	16.78	27.68	11.11	37.85	4.99	6.45	14.86
Cu	21.93	13.05	32.51	23.55	35.95	11.63	51.28	7.52	33.65
Сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Результаты микрорентгеноспектрального анализа, представленные в табл. 10 спектр 43, 48, показывают, что межфиламентное пространство занимает

трехфазный сплав Ti-Cu-C, следует отметить образование покрытия карбида титана на филаментах (спектр 49) [109].

Результаты проведенного экспериментального исследования микроструктур металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C показали, что в материале отсутствуют трещины, включения, а так же снижение химического взаимодействия титана с филаментами углеродного наполнителя на 50-70% по сравнению с предыдущими двумя экспериментами. Следовательно, характеристики микроструктуры влияют на физико-механические показатели. Данный вывод обосновывает введение температуры эксплуатации как показатель качества конечной продукции. Таким образом, доказана возможность создания металлматричного слоистого композиционного материала (МСКМ) системы Ti-Cu-C.

#### **4.2 Применение вакуумного горячего прессования при создании металлматричных композиционных материалов**

Горячевacuумное прессование является завершающей технологической операцией (рис. б), в процессе которой происходит консолидация заготовки и получается конечная продукция.

Качество проведения данной операции зависит от параметров технологического процесса таких как: температура и степень вакуумирования рабочей зоны реактора, время выдержки, давление.

Следовательно, необходимо провести экспериментальные исследования, по обоснованию параметров данной технологической операции и разработать рекомендации по параметрам горячевacuумного прессования.

Для определения технологических параметров прессования было создано восемь пакетов по 11 слоев по выбранной схеме выкладки (табл. 9), которые прессовались в контейнерах из высокоплотного графита (ГВП) при одинаковой степени вакуумирования рабочей зоны реактора. Исследовалось влияние температуры, давления и времени выдержки на физико-механические показатели

металломатричного слоистого композиционного материала. Заданные параметры при проведении экспериментов и их результаты представлены в табл. 11 [112, 113].

Таблица 11 – Параметры и результаты экспериментов [112]

№ эксперимента	Температура, °С	Давление, МПа	Время выдержки, мин	Результат
1	990	5	60	Материал не получен, фольги локально не прореагировали
2	990	15	60	Материал не получен, фольги локально не прореагировали, разрушение контейнера
3	1000	10	30	Материал получен
4	1000	10	60	Материал получен
5	1000	15	60	Трещины на поверхности контейнера, попадание материала контейнера в прессуемый пакет
6	1400	10	60	Материал получен
7	1400	15	30	Материал не получен, присутствует карбидизация матрицы, трещины на поверхности контейнера, попадание материала контейнера в прессуемый пакет
8	1700	10	30	Материал получен присутствует карбидизация матрицы

На основании проведенных экспериментов были выбраны параметры в экспериментах № 3,4, так как при температуре 990 °С фольги локально не прореагировали (эксперимент № 1 и 2), что приводит к неоднородности материала.

Выдержка при температуре 700 °С была применена во всех экспериментах для предотвращения образования трещин на границе раздела Ti-Cu.

Увеличение времени выдержки при температуре более 1000 °С приводит к увеличению карбидизации титановой матрицы (эксперимент № 7,8). На основании полученных данных оптимальное время выдержки находится в интервале 30-60 минут. Давление в 5 МПа в первом эксперименте предположительно привело к недостаточной степени спрессовки пакета фольг, что может быть причиной локального отсутствия реакции.

В результате проведенного эксперимента разработаны рекомендации по рационализации технологического процесса горячевакуумного прессования, а именно, выдержка при температуре 700°С в течение 30 - 60 минут с последующим поднятием температуры до 1000°С и последующей выдержкой в течение часа при давлении 10 МПа с применением схемы послойной выкладки с соотношением фольг титана и меди Cu-55%, Ti -45%. Все полученные образцы имели толщину 40 мкм, что не позволяло провести исследования по определению физико-механических показателей и применения в конкретных изделиях.

Для получения материала большей толщины было принято решение сделать выкладку из 100 слоев.

Последовательность выкладки представлена в табл. 9. Количество слоев и толщина пакета представлены в табл. 12.

Таблица 12 –Толщина и количество слоев в одном пакете фольг

Фольга	Количество слоев, шт	Толщина, мкм
Cu	54	1620
Ti	27	1350
C-(SiC)	19	190
$\Sigma$	100	3161 мкм

Для оценки влияния масштабного фактора (кратное увеличение толщины пакета фольг) на характеристики микроструктуры металломатричного слоистого

композиционного материала, которые влияют на физико-механические показатели качества. Рассматривались микроструктуры, представленные на рис. 36, 37, 38.

На рис. 36 показана микроструктура шлифа полученного образца. Толщина образца составила 478,268 мкм, таким образом, усадка материала составила 85% от исходного значения толщины пакета фольг.

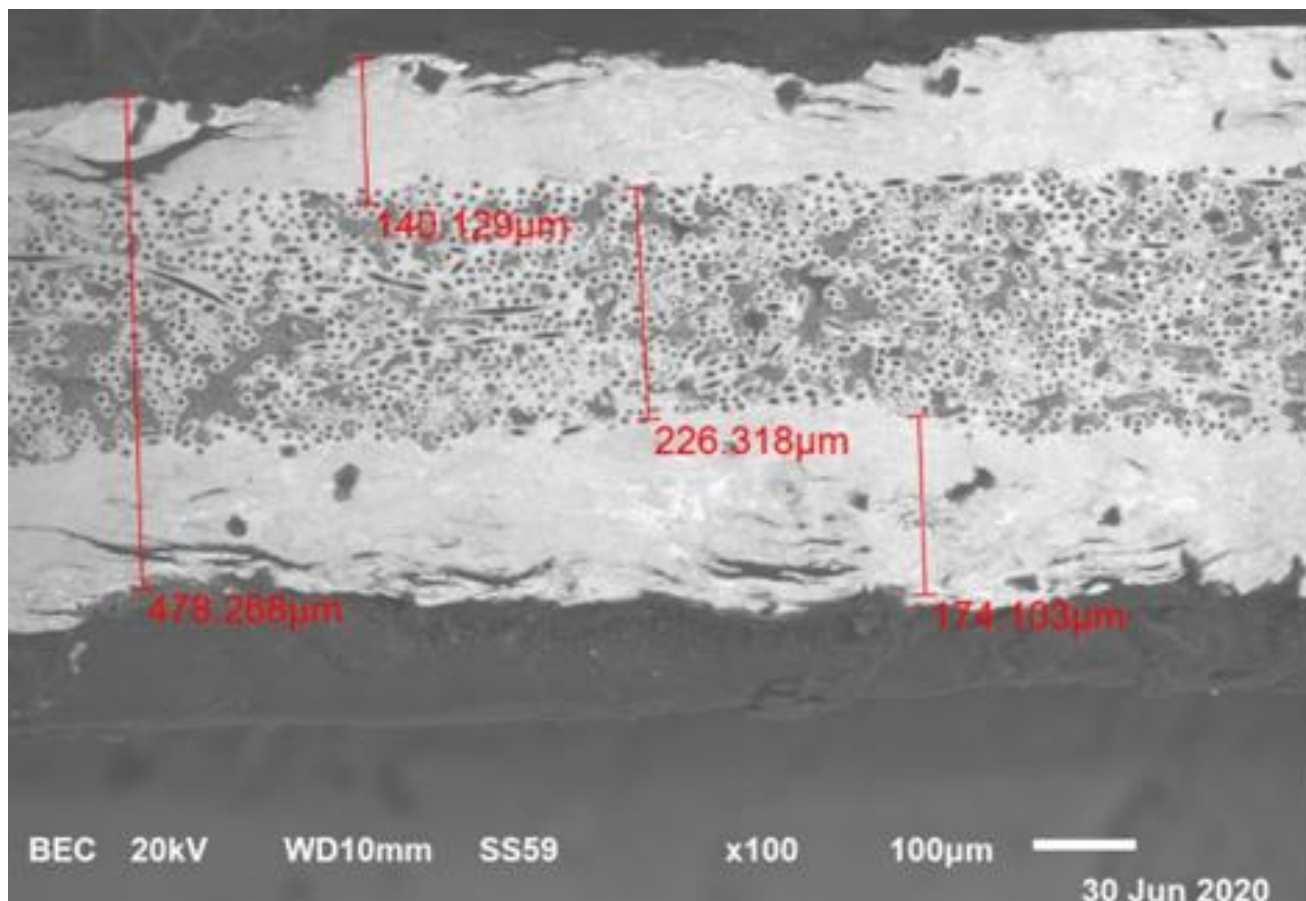


Рисунок 36 – Микроструктура шлифа полученного образца [112]

На рис. 37 представлена микроструктура излома полученного образца, на которой ярко выражены пустоты между филаментами, которые могут быть вызваны типом разрушения и характеристиками исходного гидросплетенного углеродного каркаса [112].

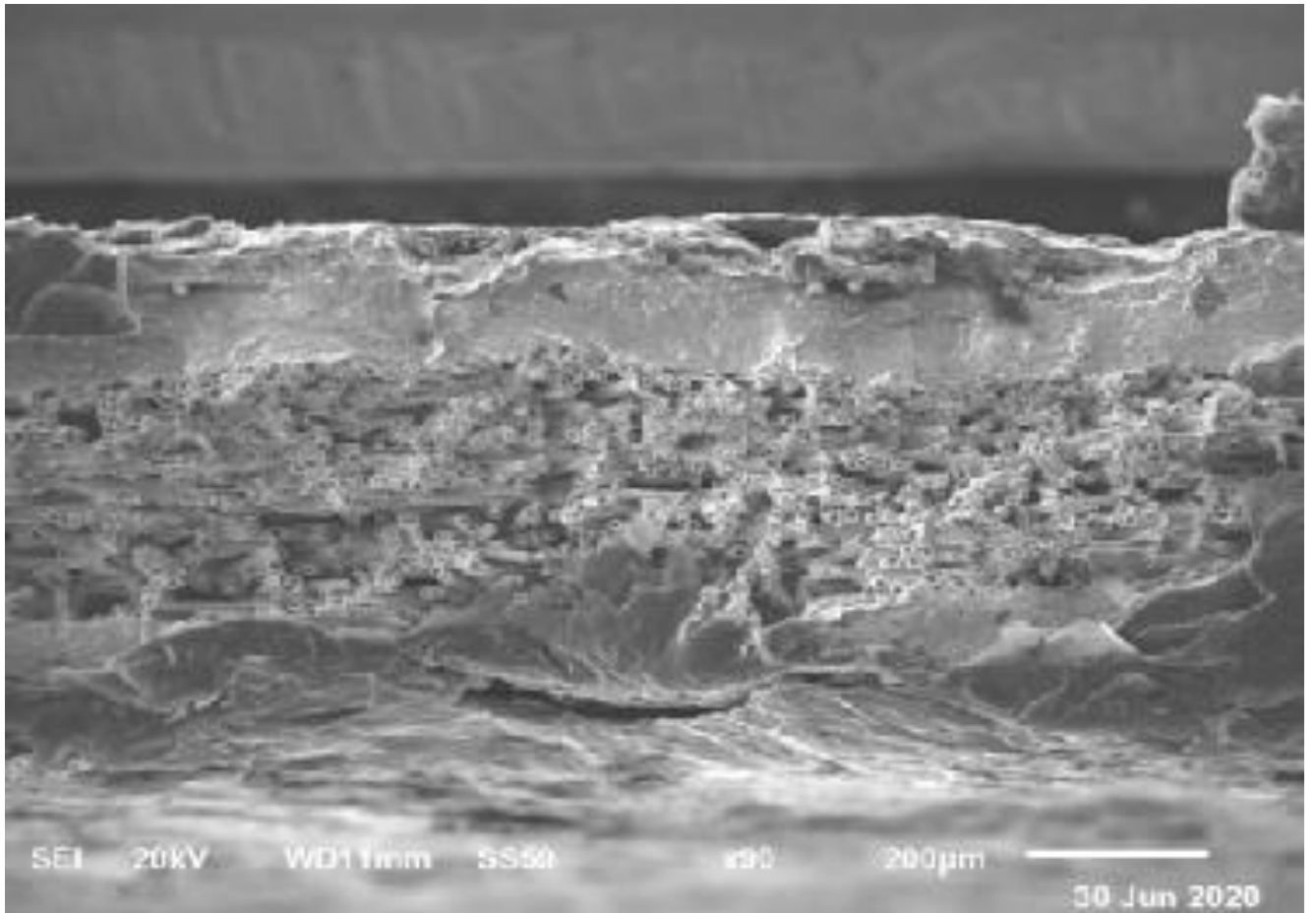


Рисунок 37 – Микроструктура излома полученного образца [112]

Для определения наличия включений в материал был проведен спектральный анализ, результаты которого представлены в табл. 13 и рис. 38. Выявлено, что данные образцы не имеют посторонних включений [112].

Электронное изображение 10

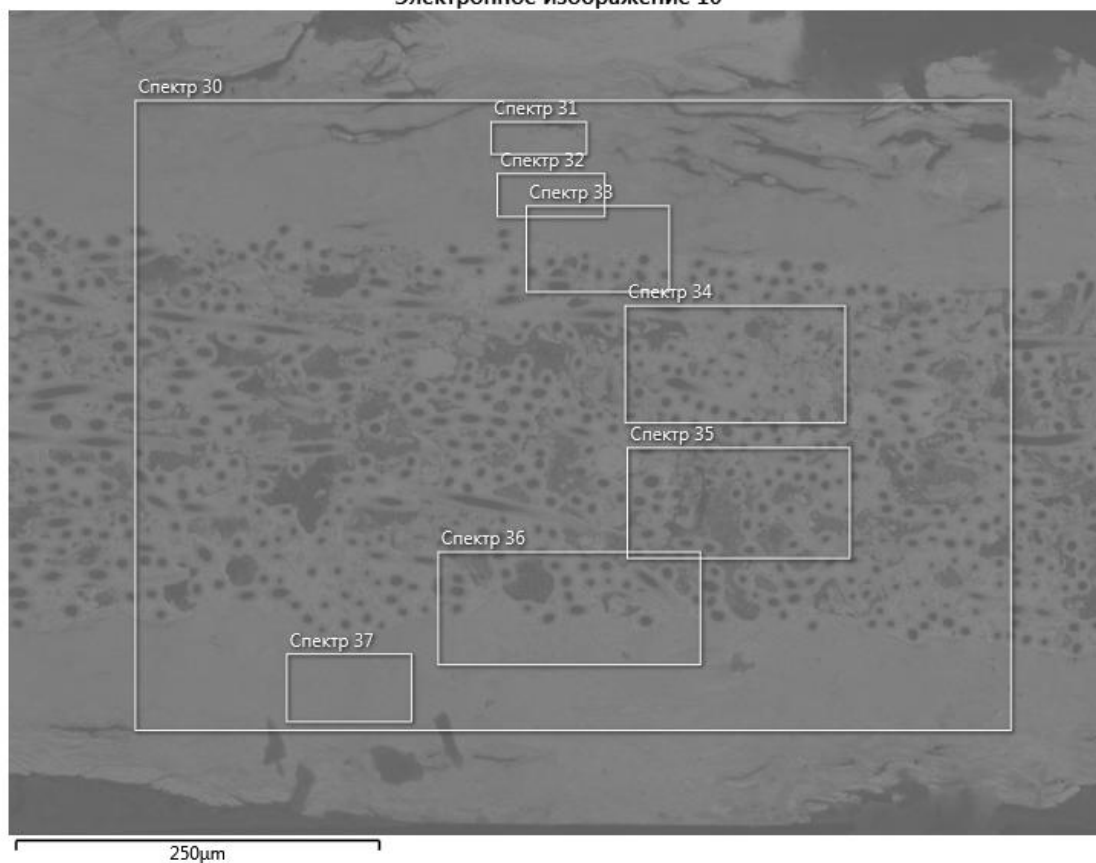


Рисунок 38 Микроструктура участка образца, взятого для проведения спектрального анализа [112]

Таблица 13 – Результат спектрального анализа [112]

Название спектра	Спектр 30	Спектр 31	Спектр 32	Спектр 33	Спектр 34	Спектр 35	Спектр 36	Спектр 37
С	66.69	56.75	47.82	56.66	64.28	69.43	69.82	56.34
Ti	13.75	21.31	27.98	21.91	14.21	10.87	11.25	23.66
Cu	13.01	21.94	24.20	21.43	13.41	10.98	11.61	20.01
Сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Для анализа соответствия показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала требованиям заказчика были изготовлены 10 образцов и проведены испытания, в результате которых получены среднее значение разрушающего напряжения при растяжении, МПа  $\delta_b$  и модуля упругости,

представленные в табл. 14. Был проведен сравнительный анализ показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C и его аналогов (табл. 14).

Таблица 14 – Результаты сравнительного анализа показателей качества полученного металломатричного слоистого композиционного материала и данные по его аналогам

Наименование материала	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа $\delta_B$	Требуемый заказчиком показатель разрушающего напряжения при растяжении, МПа $\delta_B$	Модуль упругости, ГПа	Требуемый заказчиком показатель модуля упругости, ГПа
Ti-ВМН-РК	867	<b><math>\geq 870</math></b>	121	<b><math>\geq 200</math></b>
Ti-ВМН-S	697		198	
Композиционный материал системы Ti-Cu-C	921		206	

На основании полученных данных можно сделать вывод, что полученный материал достиг требуемого заказчиком показателей разрушающего напряжения при растяжении, МПа  $\delta_B$  и его показатель на 6,23% лучше, чем у ближайшего конкурента и на 5,86% больше требуемого заказчиком показателя.

#### Выводы по главе 4

1. Подтверждена выдвинутая гипотеза о возможности создания металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C (МСКМ), и был получен новый металломатричный слоистый композиционный материал системы Ti-Cu-C, отвечающий перспективным требованиям авиационной и ракетно-космической техники, например, элементам газотурбинного двигателя.



2. Разработаны рекомендации по рационализации технологического процесса горячевакуумного прессования, а именно, выдержка при 700°C в течение 30-60 минут с последующим поднятием температуры до 1000°C и последующей выдержкой в течение часа при давлении 10 МПа с применением схемы послойной выкладки с соотношением фольг титана и меди Cu- 55%, Ti -45%, что обеспечило достижение требуемой заказчиком рабочей температуры (800-1200°C) и толщины изделия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сформулированы основные теоретические положения (требования) построения подсистемы информационного обеспечения управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов, реализующие принципы системного и процессного подходов, ориентированные на требования потребителя (заказчика) и представляющие собой структурированную систему, гарантирующую получение качественной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

2. В результате проведённых исследований разработана структура информационного обеспечения управления качеством изделий из МСКМ, которая состоит из следующих блоков: показателей качества, характеристик исходных материалов, полуфабрикатов, оборудования и параметров технологических операций. Структура в полной мере отвечает требованиям основных теоретических положений построения подсистемы информационного обеспечения по полноте и достоверности информации для реализации всех функций управления, и содержит:

- характеристики состояния объекта управления на всех этапах технологии до и после управляющих воздействий, которые следует рассматривать как информацию обратной связи;

- технологические параметры, характеризующие управляющие воздействия;

- показатели качества продукции, которые отражают требования заказчика и служат для оценки степени их реализации.

3. Проведены экспериментальные исследования, по результатам которых, построены математические и графические зависимости показателя качества конечной продукции (толщина) от характеристики полуфабриката (средняя толщина насыщенного углеродного холста) и показателя качества конечной продукции (толщина) от параметра технологической операции (температуры спекания). Это позволило обосновать значения толщины полуфабриката 0,0119 - 0,0129 мм, которые обеспечивают получение толщины конечной продукции 0,55 - 0,58 мм, а так же адаптировать параметр технологической операции температуры

спекания в пределах от 800 до 1900°С для достижения требования показателя качества конечной продукции (толщина от 4,3 - 4,9 мм), которые обеспечивают заданные заказчиком требования.

4. Разработана блок-схема (модель) управления качеством продукции из металломатричного слоистого композиционного материала Ti-Cu-C, которая позволила обосновать структуру системы информационного обеспечения оперативного управления качеством с заданными потребительскими свойствами.

5. В результате экспериментальных исследований подтверждена выдвинутая гипотеза и создан принципиально новый материал – металломатричный слоистый композиционный материал системы Ti-Cu-C. Доказано, что полученный материал отвечает требованиям заказчика, в том числе один из главных показателей качества достиг значения разрушающего напряжения при растяжении 921 МПа, что на 6,23% лучше, чем у ближайшего конкурента и на 5,86% больше требуемого заказчиком показателя.

Данные материалы имеют перспективу широкого применения и для высоконагруженных элементов газотурбинных двигателей.

Разработаны рекомендации по рационализации технологического процесса горячевакуумного прессования, а именно, выдержка при 700°С в течение 30 минут с последующим поднятием температуры до 1000-1800°С и последующей выдержкой в течение часа при давлении 10 МПа с применением схемы послойной выкладки с соотношением фольг титана и меди Cu- 55%, Ti -45%, что обеспечило достижение требуемой заказчиком рабочей температуры и толщины изделия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забулонов, Д.Ю. Новые материалы и технологии – основа развития отечественной промышленности / Д.Ю. Забулонов // Научно-технический сборник: Вопросы авиационной науки и техники. Серия: Стандартизация и унификация авиационной техники. – М.: НИИСУ, 2008. – Вып. 1-2. – С. 87-91.

2. ГОСТ Р 57407-2017. Волокна углеродные. Общие технические требования и методы испытаний = Carbon fibers. General technical requirements and test methods: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 марта 2017 г. N 101-ст: дата введения 01.09.2017 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»). – М.: Стандартинформ, 2020. – 16 с.

3. ГОСТ Р 58062-2018. Ткани на основе углеродных волокон. Технические требования и методы испытаний = Fabrics based on carbon fibers. Technical requirements and test methods: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 января 2018 г. N 30-ст: дата введения 2018-08-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»). – М.: Стандартинформ, 2018. – 12 с.

4. ГОСТ Р 56467-2015. Системы космические. Материалы порошковые металлические и металлические композиционные. Классификация. Номенклатура показателей = Space systems. Powder metal and metal composite materials. Classification. Nomenclature of indices: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня

2015 г. N 705-ст: дата введения 2016-01-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Композит» (ОАО «Композит»). – М.: Стандартиформ, 2019. – 11 с.

5. ГОСТ Р 56656-2015. Композиты металлические. Метод определения характеристик прочности при растяжении армированных волокнами композитов с металлической матрицей = Metal composites. Method for determination of tensile properties of fiber reinforced metal matrix composites: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2015 г. N 1598-ст: введен впервые: дата введения 2017-01-01 / разработан Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов», ОАО НПО «Стеклопластик» и Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов» на основе аутентичного перевода на русский язык указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ТК 497. – М.: Стандартиформ, 2016. – 20 с.

6. Черепанова, Д.С. Совершенствование нормативной документации композитных материалов и их современное применение / Д.С. Черепанова, С.С. Ивасев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – №4 (14). – Т. 2. – С. 629-631.

7. Гиссин, В.И. Управление качеством продукции: учебное пособие / В.И. Гиссин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 256 с.

8. ГОСТ Р 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения = Product-quality control. Basic concepts. Terms and definitions межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.01.79 N 244: Дата введения 1979-07-01/ разработан Государственным комитетом СССР по стандартам – М.: Стандартиформ, 2009. – 22 с.

9. Бобров, В.И. Надежность технических систем: учебное пособие / В.И. Бобров. – М.: МГУП, 2004. – 235 с.

10. Рябко, Д.Р. Показатели качества продукции общественного питания и методы их определения / Д.Р. Рябко, Т.В. Бысова // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум».

11. Швандар, В.А. Стандартизация и управление качеством продукции: учебник для вузов / В.А. Швандара. – М.: Юнити-Дана, 1999. – 487 с.

12. Гузанов, Б.Н. Сертификация, метрология и управление качеством: словарь: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 050501 - Профессиональное обучение (по отраслям) // под ред. Б.Н. Гузанова. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2016. – 226 с.

13. Мальцев, С.В. Процессный подход к управлению: теория и практика применения [Электронный ресурс] / С.В. Мальцев // Управление качеством. – 2018. – № 10. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36782663>. (Дата обращения: 05.06.2021).

14. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования = Quality management systems. Requirements: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. N 1391-ст: введен впервые: дата введения 2015-11-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (ОАО «ВНИИС»). – М.: Стандартинформ, 2018. – 32 с.

15. Мустафаев, Г.А. Системный подход к управлению качеством продукции / Г.А. Мустафаев, М.Ю. Кабулова, Э.И. Рехвиашвили // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №3 (45). – С. 31-32.

16. Антипова, Т.Н. Методические основы управления качеством продукции из волокнистых металлокомполитов / Т.Н. Антипова, А.Ю. Олешко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т.18 – №1. – С. 55-62.

17. Казимиренко, Ю.А. Управление качеством в проектах создания радиационностойких композиционных материалов и покрытий / Ю.А.

Казимиренко, Т.А. Фарионова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 10 (61). – С. 177-179.

18. ГОСТ Р 51814.2–2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов = Quality systems for automotive industry. Method for potential failure mode and effects analysis: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 2 октября 2001 г. N 401-ст: дата введения 2002-01-01/ разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ОАО «НИЦ КД»), Программным комитетом «Системы качества в автомобилестроении. QS/СКА-9000», при участии ОАО «АВТОВАЗ», ОАО «ГАЗ», ООО СМЦ «Приоритет», Межрегиональной общественной организации «Российская Инженерная Академия. Поволжское отделение» (ПО РИА). – М.: Стандартинформ, 2020. – 23 с.

19. Всеобщее Управление качеством: учебник для вузов / Глудкин О.П., Горбунов Н.М., Гуров А.И., Зорин Ю.В.; ред. О.П. Глудкин – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 599 с.

20. Миркин, Б.Г. Методы многокритериальной стратификации и их экспериментальное сравнение / Б.Г. Миркин, М.А. Орлов // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. – 32 с.

21. Нахратова, Г.В. Контроль технологической точности: практикум / Г.В. Нахратова. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018. – 20 с.

22. Логунова, О.Е. Применение причинно-следственной диаграммы Исикавы в репутационном менеджменте / О. Е. Логунова // Научные исследования. – 2015. – № 1. – С. 54-56.

23. Седлер, М.И. Статистические методы в управлении качеством: Учеб. пособие / М.И. Седлер, М.Х. Седлер // Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. – 156 с.

24. Кириллов Н.Д., Кольцова Э.М., Разработка информационной системы в области композитных материалов с применением современных средств // Программные продукты и системы. – 2022. – №3. – С. 466-471.
25. Информационная поддержка задач многомасштабного моделирования композиционных материалов / К.К. Абгарян, Е.В. Гаврилов, М.А. Марасанов // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – №12. – С. 24-29.
26. Наумов В.В. Информационное обеспечение системы управления качеством на промышленных предприятиях: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 05.02.22. – Санкт-Петербург, 2006. – 168 с. РГБ ОД, 61:06-8/4588.
27. Мардас О.А. Информационное обеспечение автоматизированных систем управления качеством продукции промышленных предприятий: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.06. – Санкт-Петербург, 2005. – 210 с. РГБ ОД, 61:05-5/3910.
28. Информационная поддержка управления качеством продукции / Г.А. Манукян, И.А. Чадина, А.Н. Крайнова, Д.О. Дульцев, О.М. Сярдова // Теория и практика современной науки. – 2020. – №11 (65). – С. 97-100.
29. Современные информационные системы в управлении качеством на предприятии / М.Ю. Виноградская, Е.В. Кряжева, К.И. Солдатов // Крымский научный вестник. – 2021. – №1 (30). – С. 16-22.
30. Исаев Г.Н., Роганов А.А. Управление качеством информационных систем: идентификация парадигмы // История и архивы. 2017. №2 (8). С. 61-75.
31. Олешко А.Ю. Управление качеством волокнистых металлокомпозигов на основе процессно-ориентированных моделей регулирования технологических операций производства продукции: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.23. – Магнитогорск, 2020. – 147 с.
32. ГОСТ Р 56518-2015. Техника космическая. Требования к системам менеджмента качества организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации = Space products. Requirements for quality management systems of organizations participating in development, production and operation национальный



стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 июля 2015 г. N 889-ст Дата введения 2016-01-01/ Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения" (ФГУП ЦНИИмаш). – М.: Стандартинформ, 2020. – 42 с.

33. Галимзянова, Р.Ю. Современные композиционные материалы в производстве медицинской техники: учебное пособие / Р.Ю. Галимзянова. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2021. – 89 с.

34. Гращенко, Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты / Д.В. Гращенко // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 5. – С. 264–271.

35. Каблов, Е.Н. Композиты: сегодня и завтра / Е.Н. Каблов // Металлы Евразии. – 2015. – № 1. – С. 36-39.

36. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки/ Е.Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90. – № 4. – С. 331-334.

37. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России / Е.Н. Каблов // Интеллект и технологии. – 2016. – № 2 (14). – С. 16-21.

38. Герасимова, Н.С. Полимерные и композиционные материалы: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение» «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» / Н.С. Герасимова. – Калуга, 2019. – 45 с.

39. Современные композиционные строительные материалы. / Шитова И.Ю., Самошина Е.Н., Кислицына С.Н., Болтышев С.А. // Учеб. пособие. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 136 с.

40. Изотова, А.Ю. Композиционные материалы на основе титана, армированные волокнами (обзор) / А.Ю. Изотова, О.И. Гришина, А.А. Шавнев // Труды ВИАМ. – 2017. – №5 (53). – С. 40-47.

41. Исаев В.Г., Антипова Т.Н. Концептуальные положения управления качеством системы производства композиционных материалов для ракетно-космической техники // Информационно-технологический вестник. – 2017. – №4 (14). – С. 30-39.

42. Разработка и исследование армированных углеродных материалов с керамической защитой от окисления в воздушных потоках / С.А. Колесников, И.А. Бубненко, Ю.И. Кошелев, А.Л. Меламед, А.К. Проценко, Н.А. Корчинский // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2018. – №11. – С. 67-81.

43. Возможности формирования композиционных структур, выполненных на основе углерода-углеродного материала и сплава титана / В.Н. Анциферов, Н.Б. Асташина, А.А. Сметкин, М.Н. Каченюк, Н.Н. Струков // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2015. – № 1. – С. 12-19.

44. Струков, Н.Н. Исследование межфазного взаимодействия в композиционном материале «Углекон – титан» / Н.Н. Струков, А.А. Сметкин, Н.Б. Асташина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т.16. – № 1. – С. 49-54.

45. Струков, Н.Н. Разработка углерод-титановых композиционных материалов для медицинских имплантатов с использованием технологии наплавки / Н.Н. Струков, А.А. Сметкин // Металлообработка. – 2015. – №3 (87). – С. 58-61.

46. Углепластики на основе бензоксазиновых олигомеров – перспективные материалы / Е.Н. Каблов, М.И. Валужева, И.В. Зеленина, В.В. Хмельницкий, В.М. Алексашин // Труды ВИАМ. – 2020. – № 1 (85). – С. 68-77.

47. Rahaman, M.S.A. A Review of Heat Treatment on Polyacrylonitrile Fiber [Electronic resource] / M.S.A. Rahaman, A.F. Ismail, A. Mustafa // Polymer Degradation and Stability. – 2007. – Vol. 92. – P. 1421-1432. – Access mode: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-heat-treatment-on->

[polyacrylonitrile-Rahaman-Ismail/2ac662e26bfea4f2e09454ec44185c478581252f](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5812-5_22)

(Access date: 07.01.2022).

48. Wu, T. Preparation and Properties of Carbon Fiber/Titanium Alloy Composite for Automobile [Electronic resource] / T. Wu, J. Qiao, D. Jiang // In: Society of Automotive Engineers of China (SAE-China) (eds) Proceedings of SAE-China Congress 2015: Selected Papers. Lecture Notes in Electrical Engineering. – Springer, Singapore. – 2015. – Vol. 364. – Access mode: <https://bookpremiumfree.com/downloads/proceedings-of-sae-china-congress-2015-selected-papers/> (Access date: 07.01.2022).

49. Афанасьев, А.Ю. Разработка технологии получения композиционного материала «титан – углеродное волокно»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.16.06 / Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. – Москва, 2004. – 29 с.

50. Melt Infiltration Casting of Alumina Silicon Carbide and Boron Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composites / A. Kalkanli, T. Durmaz, A. Kalemtaş, G. Arslan // Journal of Material Sciences & Engineering. – 2017. – Vol. 6. – P. 1-5.

51. Katzman, H. Fibre coatings for the fabrication of graphite-reinforced magnesium composites / H. Katzman // Journal of Materials Science. – 1987. – Vol. 22. – № 1. – P. 144–148.

52. Каблов, Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения / Е.Н. Каблов // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 3. – С. 97-105.

53. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax / А.Г. Гуняева, А.И. Сидорина, А.О. Курносов, О.Н. Клименко // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – № 3 (52). – С. 18-26.

54. Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ / К.Е. Куцевич, Л.А. Дементьева, Н.Ф. Лукина, Т.Ю. Тюменева // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 5. – С. 379-387.

55. Сидорина, А.И. Мультиаксиальные углеродные ткани в изделиях авиационной техники (обзор) [Электронный ресурс] / А.И. Сидорина //

Авиационные материалы и технологии. – 2021. – № 3 (64). – С. 105-116. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46541201>. (Дата обращения: 01.06.2022).

56. Сорокин, А.Е. Термопластичные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетонов различных производителей [Электронный ресурс] / А.Е. Сорокин, М.С. Иванов, В.А. Сагомонова // Авиационные материалы и технологии. – 2022. – № 1 (66). – С. 41-50. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48092020>. (Дата обращения: 01.06.2022).

57. Тимошков, П.Н. Оборудование и материалы для технологии автоматизированной выкладки препрегов / П.Н. Тимошков // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № 2 (41). – С. 35–39.

58. Углеродные ткани для изделий авиационной техники / А.И. Сидорина, А.М. Сафронов, К.Е. Куцевич, О.Н. Клименко // Труды ВИАМ. – 2020. – №12 (94). – С. 47-58.

59. Park, S.-J. Carbon Fibers / S.-J. Park // Singapore: Springer Verlag, 2019. – Vol. 210. – 358 p.

60. Современные технологии производства нетканых материалов / И. Ш. Абдуллин, Р.Г. Ибрагимов, Г. Ш. Музафарова, Э.М. Саматова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 19. – С. 114-119.

61. Технология производства нетканых материалов / Е.Н. Бершев, В.В. Курицина, А.И. Куриленко, Г.П. Смирнов. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 350 с.

62. Горчакова, В.М. Оборудование для производства нетканых материалов. Часть II / В.М. Горчакова, А.П. Сергеенков, Т.Е. Волощик. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, ООО «Совъяж Бево», 2006. – 776 с.

63. Жмыхов, И.Н. Современное оборудование для производства нетканых материалов: Учебно-методическое пособие / И.Н. Жмыхов, Л.Н. Левьюк, П.В. Чвириков. – Могилев: УО Могилевский государственный университет продовольствия, 2010. – 163 с.

64. Озеров, Б.В. Проектирование производства нетканых материалов / Б.В. Озеров, В.Е. Гусев. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1984 – 400 с.
65. Косолапова, Т.Я. Карбиды / Т.Я. Косолапова. – М.: Металлургия, 1968. – 300 с.
66. Угле-титановые композиты: микроструктура, прочность и трещиностойкость Carbon-fibre/titanium matrix composites: microstructure, strength and fracture toughness. / С.Т. Милейко, С.Н. Галышев, А.А. Колчин, В.В. Кедров, О.Ф. Шахлевич, М.Ю. Никонович, Н.А. Прокопенко // Институт физики твёрдого тела РАН // Composites & nanostructures. – 2019. – Vol. 11. – Issue 4 (44). – P. 147-152.
67. Arvieu, C. Interaction between titanium and carbon at moderate temperatures / C. Arvieu, J.P. Manaud, J.M. Quenisset // Journal of Alloy and Compounds. – 2004. – Vol. 68. – P. 116-122.
68. Even, C. Powder route processing of carbon fibres reinforced titanium matrix composites [Electronic resource] / C. Even, C. Arvieu, J.M. Quenisset // Composites Science and Technology, Elsevier. – 2009. – Access mode: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00550280/document> (Access date: 21.04.2022).
69. Исследование межфазного взаимодействия на границе раздела в системе Ti-C с отечественными титановыми сплавами классов  $\alpha + \beta$  и псевдо  $*\alpha$  / Д.В. Сидоров, В.М. Серпова, А.В. Заводов, А.А. Шавнев // Физика и химия обработки материалов. – 2020. – № 5. – С. 75-81.
70. Arvieu, C. Interaction between titanium and carbon at moderate temperatures / C. Arvieu, J.P. Manaud, J.M. Quenisset // Journal of Alloys and Compounds. – 2004. – Vol. 368(1-2). – P.116-122.
71. Even, C. Powder route processing of carbon fibers reinforced titanium matrix composites / C. Even, C. Arvieu, J.M. Quenisset // Composites Science and Technology. – 2008. – Vol. 68. – P. 1273-1281.
72. Бабкин Д.С. Разработка металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C с применением барьерных слоев / Д.С. Бабкин // Информационно-технологический вестник. – 2024. – № 4 (38). – С. 137-143.

73. Разработка структуры нормативного документа на металлопродукцию на основе принципа опережающей стандартизации / С.В. Снимщиков, М.А. Полякова, А.С. Лимарев, В.А. Харитонов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17. – №1. – С. 86-93.

74. Современные подходы к адаптивному управлению качеством металлопродукции / Э.М. Голубчик, М.А. Полякова, Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин // Производство проката. – 2019. – №5. – С.23-29.

75. Райзберг, Б.А. Современный экономический словарь / Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.

76. ГОСТ 7.0-99. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно- библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения = System of standards on information, librarianship and publishing. Information and librarian activity, bibliography. Terms and definitions межгосударственный стандарт: издание официальное: принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 15-99 от 26-28 мая 1999 г.) Дата введения 2000-07-01 разработан Российской Государственной библиотекой, Всероссийским институтом научной и технической информации и Техническим комитетом по стандартизации ТК 191 "Научно-техническая информация, библиотечное и издательское дело". – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 29 с.

77. Экономика фирмы. Словарь-справочник. / Под ред. В.К. Скляренко, О.И. Волкова. М.: Инфра-М, 2000. – 398 с.

78. Экономика: энциклопедический словарь. / В.Г. Золотогор. Минск: Книжный Дом, 2004. – 719 с.

79. Профессиональное образование: Словарь. Ключевые понятия, термины, актуальная лексика. / Вишнякова С.М. М.: НМЦ СПО, 1999. – 538 с.

80. Захарова, И.Г. Информационные технологии в образовании: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. / И.Г. Захарова. – 6-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 192 с.

81. Российская энциклопедия по охране труда. [в 3 томах] / М-во здравоохранения и социального развития Российской Федерации; [авт.-сост. И.А. Воробьев и др.]; отв. ред. А.Л. Сафонов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 1242 с.
82. Информационные технологии: учебник: для студентов вузов / Трофимов В.В., Ильина О.П., Кияев В.И., Трофимова Е.В.; под ред. В.В. Трофимова; С.-Петерб. гос. ун-т экономики и финансов. – М.: Изд-во Юрайт, 2011. – 624 с.
83. Шаронина, Т.Н. Экономическое обоснование внедрения СМК на предприятии / Т.Н. Шаронина // Торсионные поля и информационные взаимодействия – 2010: материалы II-й международной научно-практической конференции – Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – 2010. – С. 166–167.
84. Елкина, О.С. Роль субъекта и объекта в системе управления / О.С. Елкина // Известия Байкальского государственного университета. – 2006. – №5. – С. 34-37.
85. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л.И. Лопатников; под ред. Г.Б. Клейнера. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2003. – 519 с.
86. Словарь-справочник экономиста по труду и человеческим ресурсам / Э.Д. Азизова, З.И. Мустафаева, С.Р. Байрамова, А.А. Азизов. – Баку. – 2009. – 691с.
87. Энциклопедический словарь терминов по менеджменту, маркетингу, экономике, предпринимательству / Ю.А. Зубарев, А.И. Шамардин. – Т. 1. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2012. – 1320 с.
88. Кафидов, В.В. Современные методологические подходы к стратегическому управлению и развитию городов различных типов: Монография / Кафидов В.В. – М.: Дело АНХ, 2015. – 246 с.
89. Управление качеством как объект управления / Т.И. Иванова, Е.Н. Майкова, С.Р. Шапагатов // Форум молодых ученых. – 2019. – №4 (32). – С. 394-399.
90. Кириллов, Н.П. Признаки класса и определение понятия «технические системы» / Н.П. Кириллов // Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – № 8. – С.32-38.

91. Антипова, Т.Н. Обоснование структуры информационного обеспечения системы управления качеством металлматричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами / Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. – Т. 23. – №2. – С. 153-162.

92. Антипова, Т.Н. Разработка процессно-ориентированной модели технологии создания металлматричных композиционных материалов с применением вакуумного горячего прессования / Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин // Информационно-технологический вестник. – 2022. – № 4 (34). – С. 147-155.

93. Антипова, Т.Н. Повышение эффективности информационного обеспечения управления качеством композиционных материалов для авиационной и космической техники / Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин // Известия Тульского государственного университета. – 2024. – № 3. – С. 446-452.

94. Бабкин, Д.С. Управление качеством создания композиционных материалов для авиационной и космической техники: теория и практика / Д.С. Бабкин, Т.Н. Антипова // Всероссийская научно-техническая конференция «От качества инструментов к инструментам качества»: сборник докладов. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2023 – С. 224-229.

95. ГОСТ Р 56465-2015. Системы космические. Материалы неметаллические на основе керамоматричных и углерод-углеродных композиционных материалов, применяемые в составе жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ориентации и коррекции импульсов). Классификация. Номенклатура показателей (Переиздание) = Space systems. Nonmetallic materials based on ceramic-matrix and carbon-carbon composites used as rocket engine thrusters parts (orientation and correction pulse). Classification. Nomenclature of indices национальный стандарт Российской Федерации утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2015 г. N 703-ст Дата введения 2016-01-01 / Разработан Открытым акционерным обществом "Композит" (ОАО "Композит"). – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.



96. ГОСТ Р 56683-2015. Композиты полимерные Обозначение направлений армирования = Polymer composites. Designation of directions of reinforcement: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2015 г. N 1682-ст / разработан Объединением юридических лиц "Союз производителей композитов" совместно с Открытым акционерным обществом "НПО Стеклопластик" и Автономной некоммерческой организацией "Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов", на основе собственного перевода на русский язык указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ТК 497 "Композиты, конструкции и изделия из них" – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.

97. ГОСТ Р 58062-2018. Ткани на основе углеродных волокон Технические требования и методы испытаний = Fabrics based on carbon fibers. Technical requirements and test methods национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 января 2018 г. N 30-ст. Дата введения 2018-08-01 / Федеральным государственным унитарным предприятием "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" (ФГУП "ВИАМ") – М.: Стандартинформ, 2018 . – 10 с.

98. ГОСТ 22178-76. Листы из титана и титановых сплавов Технические условия = Titanium and titanium alloys sheets. Specifications межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 24 от 5 декабря 2003 г.) / Министерством авиационной промышленности – М.: Стандартинформ, 2005 . – 22 с.

99. ГОСТ 1173-2006. Фольга, ленты, листы и плиты медные Технические условия = Copper foil, ribbons, sheets and plates. Specifications межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 29 от 24 июня 2006 г.) / Техническим комитетом по стандартизации

ТК 106 "Цветметпрокат", Научно-исследовательским, проектным и конструкторским институтом сплавов и обработки цветных металлов "Открытое акционерное общество "Институт Цветметобработка" (ОАО "Институт Цветметобработка") – М.: Стандартинформ, 2007 . – 20 с.

100. Богачев, Е.А. Высокотемпературные композиционные материалы с минимальной структурной ячейкой / Е.А. Богачев // Композиты и наноструктуры. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 12-23.

101. Подкопаев, С.А. Совершенствование и стабилизация технологии производства углеродных композиционных материалов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.17.11 / ОАО «Челяб. электрод. з-д». – Челябинск, 2000. – 46 с.

102. Dalton, S. Thermal stabilization of polyacrylonitrile fibers / S. Dalton, F. Heatley, P.M. Budd // Polymer. – 1999. – № 40 – P. 5531-5543.

103. Fitzer, E. The influence of oxygen on the chemical reactions during stabilization of PAN as carbon fiber precursor / E. Fitzer, D.J. Muller // Carbon. – 1975. – Vol. 3. – P. 63-69.

104. Тимофеев, А.Н. Способ получения композиционного материала [Электронный ресурс] / А.Н. Тимофеев, Е.А. Богачев, А.В. Габов, А.М. Абызов, М.И. Персин, Е.П. Смирнов // Патент РФ №2130509, приоритет от 26.01.1998. – 5 с. – Режим доступа: [https://patents.s3.yandex.net/RU2130509C1\\_19990520.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2130509C1_19990520.pdf). (Дата обращения: 03.05.2022).

105. Fitzer, E. PAN based carbon - present state and trend of the technology from the viewpoint of possibilities and limit to influence to control the fiber properties by the process parameter / E. Fitzer // Carbon. – 1989. – Vol. 2 (5). – P. 621-645.

106. Абызов А.М., Смирнов Е.П. Кинетика химического осаждения карбида кремния из газовой фазы метилсилана // Неорганические материалы. – 2000. – Т. 36. – № 9. – С. 1059-1061.

107. Батов, Д.В. Разработка рециркуляционной технологии получения микрокристаллического карбида кремния химическим осаждением из газовой фазы: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата

технических наук: 05.16.03. – М.: Московский государственный институт стали и сплавов, 2000. – 21 с.

108. Лахин, А.В. Процессы получения композиционных материалов и покрытий на основе карбида кремния химическим газофазным осаждением из метилсилана при относительно низких температурах и давлениях: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.16.06. – М.: Московский государственный институт стали и сплавов, 2006. – 25 с.

109. Бабкин, Д.С. Насыщение углеродных высокопористых органоморфных каркасов металлом / Д.С. Бабкин // Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – Том 4. – С. 135-145.

110. Zhao, J. et al. Microstructure and Mechanical Properties of High Manganese TRIP Steel [Electronic resource] / J. Zhao, Y. Xi, W. Shi // J. Iron Steel Res. Int. 19. – 2012. – P. 57–62. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/257447303\\_Microstructure\\_and\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_High\\_Manganese\\_TRIP\\_Steel](https://www.researchgate.net/publication/257447303_Microstructure_and_Mechanical_Properties_of_High_Manganese_TRIP_Steel) (Access date: 07.01.2022).

111. Elrefaey, A. Solid state diffusion bonding of titanium to steel using a copper base alloy as interlayer/ A. Elrefaey, W. Tillmann // Journal of materials processing technology. – 2009. – Т. 209. – No. 5. – P. 2746-2752.

112. Бабкин, Д.С. Применение вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов / Д.С. Бабкин, В.Г. Исаев // Инновационные аспекты социально-экономического развития региона: сборник статей по материалам участников XI Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ» – М.: Издательство «Научный консультант», 2021. – С. 27-33.

113. Антипова, Т.Н. Моделирование процесса вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов / Т.Н. Антипова, Д.С. Бабкин // Информационно-технологический вестник. – 2022. – № 1(31). – С. 162-169.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**Акт внедрения материалов диссертационной работы в производственную  
деятельность ООО «ЦБИ»**

**ЦБИ** Центр  
безопасности  
информации

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«Центр безопасности информации» (ООО «ЦБИ»)  
ИНН 5054004240

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального директора  
ООО «ЦБИ»

доктор технических наук,  
профессор  
  
В.В. Василенко

« 25 » 10 2024 г.

**АКТ**

передачи результатов научных исследований  
Бабкина Дмитрия Сергеевича

Настоящим актом удостоверяется, что для практического использования в ООО «ЦБИ» переданы следующие результаты научных исследований, проведенных Бабкиным Д.С.:

- теоретические положения и рекомендации по организации и совершенствованию информационного обеспечения, мониторинга и прогнозирования для осуществления деятельности по комплексному обеспечению информационной безопасности автоматизированных систем;
- модель структуры системы информационного обеспечения, примененная для усовершенствования проектируемых защищенных информационных систем.

Полученные результаты научных исследований, полученных Бабкиным Д.С. ходе написания диссертационной работы, позволят провести комплекс организационных мероприятий по совершенствованию деятельности ООО «ЦБИ».

Директор департамента доверенных аппаратных средств  
кандидат технических наук, доцент

  
С.В. Рыженко

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**Акт внедрения материалов диссертационной работы в производственную  
деятельность ФБУ «Авиалесоохрана»**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА  
(РОСЛЕСХОЗ)



**Федеральное  
бюджетное учреждение  
«Центральная база  
авиационной охраны лесов  
«АВИАЛЕСООХРАНА»  
(ФБУ «Авиалесоохрана»)**

Адрес: ул. Горького, 20, г. Пушкино  
Московская область, Россия, 141207  
Тел/факс: (495) 993-31-25  
E-mail: [aviales@aviales.ru](mailto:aviales@aviales.ru) и [info@aviales.ru](mailto:info@aviales.ru)

23.12.2024 № 2/1  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. начальника  
ФБУ «Авиалесоохрана»

 Провин К.Н.  
«23» 12 2024 г.

**АКТ**  
передачи результатов научных исследований  
Бабкина Дмитрия Сергеевича

Настоящим актом удостоверяется, что для практического использования в ФБУ «Авиалесоохрана» переданы следующие результаты научных исследований, проведенных Д.С. Бабкиным:

- концептуальные положения и технологические решения по организации и совершенствованию информационного обеспечения и мониторинга для осуществления деятельности по защите лесов и выполнения планов по предотвращению и тушению лесных пожаров в различных регионах Российской Федерации;
- модель структуры системы информационного обеспечения, позволяющая оценить качество лесных массивов, а также прогнозировать их состояние.

Полученные результаты научных исследований, полученных Бабкиным Д.С. в ходе написания диссертационной работы, позволяют провести комплекс организационных мероприятий по совершенствованию деятельности ФБУ «Авиалесоохрана».

Заместитель руководителя  
Авиационного учебного центра,  
кандидат сельскохозяйственных наук

 Ковалёв Н.А.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

**Справка о внедрения материалов диссертационной работы в учебный процесс Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика космонавта А.А. Леонова»**



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

ул. Гагарина, д. 42, с. Королёв, МО., 141074  
ИНН КПП 5018051823/501801001. ОГРН 1035003350821

тел./факс +7 (495) 516-99-29  
e-mail: mo\_techuniv@mosreg.ru

11.03.2025 № 11-16/353  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В диссертационный совет  
24.2.324.03, созданный на базе  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.  
Носова»

### СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационного исследования Бабкина Дмитрия Сергеевича на тему: «Разработка модели информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Основные результаты диссертационного исследования Бабкина Дмитрия Сергеевича на тему: «Разработка модели информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами» используются в учебном процессе кафедры управления качеством и стандартизации Института ракетно-космической техники и технологии машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» для преподавания дисциплин:

- «Механика и технология» для направления подготовки 27.03.02 Управление качеством (Управление качеством в машиностроении), (уровень образования – бакалавриат);
- «Метрология стандартизация и взаимозаменяемость» для направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника (Автоматизация производственных процессов), (уровень образования – бакалавриат);
- «Управление качеством в ракетно-космической отрасли» для направления подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов (Специализация №21: Производство и технологическая обработка изделий ракетно-космической техники), (уровень образования – специалитет).

И.о. проректора

А.В. Троицкий

Исп. Юрина С.В.  
+7-495-543-31-30 доб.2140



00009899