

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

На правах рукописи



**Олешко Алексей Юрьевич**

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ВОЛОКНИСТЫХ  
МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНО-  
ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ**

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук

Антипова Татьяна Николаевна

Королев – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОСОБЕННОСТЯМ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ .....	11
1.1 Волокнистые металлокомпозиты и особенности технологии производства продукции на их основе .....	11
1.2 Современные системы управления качеством продукции .....	20
1.2.1 Системы управления качеством продукции на основе нормативной документации .....	21
1.2.2 Системы управления качеством продукции на основе системного и процессного подходов .....	28
1.3 Подходы к формированию показателей качества продукции, включая композиционные материалы .....	35
Выводы по главе 1 .....	41
ГЛАВА 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССНОГО И СИСТЕМНОГО ПОДХОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ .....	44
2.1 Разработка процессно-ориентированной модели технологического процесса производства волокнистых металлокомпозитов .....	44
2.2 Разработка иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из волокнистых металлокомпозитов .....	53
2.2.1 Разработка структуры показателей качества продукции из конструкционного металлокомпозита, армированного волокнами .....	55

2.2.2	Разработка комплекса параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов	60
	Выводы по главе 2 .....	63
ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ .....		
		65
3.1	Разработка концептуальной модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозиата .....	65
3.2	Разработка экспресс-методики оценки качества прочности армирующих волокон по радиусугиба .....	74
	Выводы по главе 3 .....	78
ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПОЛУЧЕНИЯ БОРАЛЮМИНИЕВЫХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....		
		79
4.1	Применение разработанных элементов управления качеством продукции на примере получения боралюминиевых трубчатых элементов .....	80
4.2	Исследование и разработка моделей зависимостей показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов от параметров технологических операций производства .....	91
4.2.1	1 Разработка дополнительного контрольного параметра для операции сборки боралюминиевой заготовки трубы .....	93
4.2.2	Исследование зависимости потери прочности борного волокна в результате плазменного напыления от его исходной прочности .....	95

4.2.3	Исследование зависимости прочности материала боралюминиевых трубчатых элементов от температурно-временного воздействия в процессе горячего прессования .....	101
4.2.4	Исследование зависимости продолжительности процесса намотки борного волокна от скорости вращения барабана при изготовлении боралюминиевой ленты-полуфабриката .....	104
4.3	Рекомендации по рациональным параметрам технологических операций при производстве боралюминиевых трубчатых элементов .....	109
	Выводы по главе 4 .....	110
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	113
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	115
	Приложение 1 – Номенклатура показателей свойств .....	136
	Приложение 2 – ТУ Нити борные .....	142
	Приложение 3 – ТУ Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор» .....	143
	Приложение 4 – ТУ Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМгб-В с законцовками из алюминиевого сплава АМгб .....	144
	Приложение 5 – ТУ Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМгб-В с законцовками .....	145
	Приложение 6 – Извещение об изменении .....	146
	Приложение 7 – Акт .....	147

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы.**

Продукция из композиционных материалов на металлической основе, армированных высокопрочными высокомодульными неметаллическими волокнами, является перспективным классом изделий из конструкционных материалов. В настоящее время их производство приобрело устойчивый характер, в том числе благодаря восстановлению отечественного производства волокон (бора, карбида кремния и др.). Такие металлокомпозиты по удельной прочности и жесткости в 2-3 раза превосходят традиционные конструкционные металлические материалы - стали, алюминиевые и титановые сплавы, что определяет высокую эффективность применения продукции на их основе в части снижения веса конструкций. Основными потребителями данной продукции являются предприятия, производящие ракетно-космическую технику, поэтому к изделиям предъявляются требования по качеству в соответствии с ГОСТ Р 56518-2015 на всех стадиях жизненного цикла.

По результатам анализа многолетней статистики выявления брака продукции данного класса, основная доля несоответствий приходится на стадию жизненного цикла изделия – производство. Отличительной особенностью производства является одновременное изготовление композиционного материала и формирование из него изделия, когда при одних и тех же технологических параметрах необходимо обеспечить выполнение требований заказчика к продукции по физико-механическим свойствам материала и конструкции изделия.

Проблема обеспечения потребителей продукцией из волокнистых металлокомпозитов с заданными свойствами пока решается за счет наличия, как правило, не связанных между собой контрольных операций по каждому этапу технологии, что не гарантирует обеспечения заданных показателей качества конечной продукции. Причины несоответствий носят комплексный или системный характер, то есть качество продукции зависит от всех процессов, составляющих технологию получения волокнистого металлокомпозита. Применяемые в

настоящее время технологические параметры часто не имеют достаточного научного обоснования.

Поэтому требуется совершенствование элементов методологии управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов, прежде всего используя системный и процессный подходы на основе процессно-ориентированных моделей регулирования технологических операций производства изделий, а также выявление зависимостей влияния технологических параметров на показатели качества конечной продукции. Решение этой актуальной задачи позволит своевременно выявлять и устранять причины несоответствий и стабильно поставлять продукцию, отвечающую требованиям потребителей, используя принципиально новые подходы.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Научные разработки в области управления качеством в части формирования основных инструментов и методов контроля качества продукции предложены Н. Винером, Г. Л. Гантом, К. Исикава, Д. Кавакито, В. Парето, В. Шухартом и др. Особый интерес представляют исследования отечественных ученых, посвященные управлению качеством, стандартизации, вопросам разработки нормативной и технической документации Ю. П. Адлера, Б. В. Бойцова, В. В. Бойцова, Ю. С. Клочкова, Е. В. Плахотниковой и др., а также исследования показателей качества композиционных материалов, представленные в трудах Г. Г. Богатеева, Г. П. Гардымова, В. В. Жарикова, С. Е. Салибекова, М. Х. Шоршорова и др. Однако, вопрос об управлении качеством продукции из металлокомпозитов подробно в научно-технической литературе не освещен.

**Целью работы** является разработка обобщенной процессно-ориентированной модели технологии изготовления продукции из волокнистых металлокомпозитов с последующей разработкой на ее основе элементов пооперационного управления качеством продукции и их апробированием применительно к действующему производству.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

– провести аналитический обзор современного состояния отечественных и зарубежных исследований по управлению качеством композиционных материалов

и особенностям технологии их изготовления, обосновать перспективные задачи исследования;

– разработать процессно-ориентированную модель производства волокнистых металлокомпозитов и иерархически организованную информационную подсистему получения из них продукции;

– разработать концептуальную модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита;

– провести теоретические и экспериментальные исследования по применению разработанных элементов управления качеством продукции из композиционных материалов на примере получения боралюминиевых трубчатых элементов, а также разработать комплекс графических и математических зависимостей показателей качества данной продукции от параметров технологических операций. Разработать рекомендации по рациональным параметрам технологических операций получения боралюминиевых трубчатых элементов.

**Научная новизна.** В ходе проведения исследований получены следующие новые научные результаты:

1 Разработана процессно-ориентированная модель производства продукции из волокнистых металлокомпозитов, позволяющая определить основные предварительные и окончательные операции, последовательность их выполнения и особенности получения продукции. Модель служит основой для обоснования модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита.

2 Сформулирована иерархически организованная информационная подсистема получения продукции из композиционных материалов, позволяющая учитывать принцип приоритета критериев более высокого уровня управления (требования потребителя/заказчика), при этом установлены функциональные зависимости между свойствами перерабатываемых компонентов (исходные материалы, промежуточные продукты переработки) и параметрами технологических операций.

3 Разработана концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов, отличающаяся возможностью планировать

экспериментальные исследования для обоснования рациональных управляющих воздействий (параметров технологических операций) и на основе информации обратной связи выстраивать структуру мониторинга производства изделий.

4 Получены графические и математические модели зависимостей, по проведенным теоретическим и экспериментальным исследованиям на примере производства боралюминиевых труб, которые позволяют обосновать необходимый интервал исходной прочности борного волокна 3300 – 3500 МПа удерживающий снижение их прочности в допуске до 10%, скорректировать значение скорости намотки борного волокна до 75 об./мин при рациональной продолжительности процесса в 3 часа, адаптировать технологические процессы под повышение предела прочности волокнистых металлокомпозитов свыше 1100 МПа для перспективных изделий ракетно-космического и гражданского назначения.

**Теоретическая и практическая значимость** результатов диссертационного исследования заключается в разработке концептуальных моделей: процессно-ориентированной, иерархически организованной, модели управления, реализующих системный и процессный подходы, полученные регрессионные зависимости свойств конечной продукции из волокнистых металлокомпозитов от параметров получения и характеристик исходного материала. На основе проведенных экспериментальных исследований и полученных зависимостей разработаны рекомендации по рационализации технологических параметров для повышения показателей качества продукции АО «Композит» – боралюминиевых трубчатых элементов, используемых в штатных изделиях космических аппаратов, что отражено путем корректировки действующей технической документации:

– ТУ 1798-523-56897835-2011 Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор». Технические условия, выпущено Извещение об изменении № 932.2.06-2018 от 29.06.2018 в части дополнительного введения допустимого нижнего значения предела прочности борного волокна в составе боралюминиевой ленты-полуфабриката не менее 3150 МПа, что позволило использовать отечественное борное волокно с более широким спектром прочностных характеристик. Внедрение и применение отражено в Акте № 0140-10 от 26.03.2019 о результатах периодических испытаний ленты-полуфабриката за № М-449;



– 932.0400041.00-11ТП на получение ленты-полуфабриката из композиционного материала «алюминий-бор», рекомендуется в допустимом интервале скорости намотки борного волокна использовать рациональное значение 75 об./мин., что позволит сократить время выполнения операции на 15%;

– ТП 932.02100.02000 на изготовление заготовок боралюминиевых трубчатых элементов, рекомендуется скорректировать значение параметров горячего прессования заготовки боралюминиевой трубы учитывая относительное температурно-временное воздействие в найденном диапазоне 0,900 – 1,000, что позволит повысить прочностные свойства материала трубчатых элементов на 10%.

Разработанные элементы управления качеством продукции позволили сократить количество несоответствий боралюминиевых трубчатых элементов на стадии производства на 55%.

**Методология и методы исследования.** Методологическую основу диссертационного исследования составляют концептуальные основы системного и процессного подходов, методы сравнительного анализа, экспериментальные исследования, моделирования в том числе графического и математического.

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

1 Процессно-ориентированная модель технологии изготовления продукции из волокнистых металлокомпозитов, основными элементами которой являются технологические операции, а связями – последовательность их выполнения.

2 Иерархически организованная информационная подсистема для получения продукции из композиционных материалов, учитывающая приоритетные требования заказчика.

3 Концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита, основанная на процессном подходе, учитывающая принципиальные особенности производства и пооперационное формирование качества продукции.

4 Графические и математические модели зависимостей показателей качества продукции от параметров технологических операций изготовления и показателей качества исходных материалов на примере производства боралюминиевых трубчатых элементов.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена изучением и анализом научно-технической литературы по теме диссертации, применением в ходе исследования известных и апробированных методов и подходов, экспериментальным подтверждением полученных результатов. Основные положения и наиболее важные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях различного уровня: VI конкурсная конференция молодых специалистов авиационных, ракетно-космических и металлургических организаций России «Новые материалы и технологии в авиационной и ракетно-космической технике» (г. Королёв, 2007 г.), III - VI Международные конференции с элементами научной школы для молодежи «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» (г. Суздаль, 2010, 2012, 2014, 2016 гг.), Молодёжная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике» (Звездный городок, 2011 г.), XIX Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 50-летию полета в космос Ю. А. Гагарина (г. Королёв, 2011 г.), V Ежегодная научная конференция аспирантов ФТА «Инновационные аспекты социально-экономического развития региона» (г. Королёв, 2014 г.), Всероссийская научно-техническая конференции «Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» (г. Москва, 2016 г.).

**Публикации.** Основные результаты исследования изложены в 14-ти научных публикациях, из которых три представлены в журналах, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации, получен патент РФ. Список публикаций приведен в автореферате.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы изложен на 135 страницах, содержит 9 таблиц, 36 рисунков, список литературы из 164 наименований и 7 приложений на 12 страницах.

# **ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОСОБЕННОСТЯМ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

## **1.1 Волокнистые металлокомпозиты и особенности технологии производства продукции на их основе**

Композиционные материалы – это многокомпонентные системы, состоящие из матричных и армирующих компонентов, соединение, которых позволяет создавать материалы с качественно новым сочетанием и уровнем физико-механических характеристик [1].

Меняя состав матричного материала и армирующего компонента, их количественное соотношение и характер распределения, можно получать широкий ряд материалов с требуемым набором свойств [2-5].

В промышленно-развитых странах, включая Российскую Федерацию, ведутся работы, направленные на создание конструкционных металлических композиционных материалов, армированных высокопрочными, высокомодульными волокнами, и последующее производство продукции на их основе для применения в составе изделий авиационной и ракетно-космической техники [6-8]. Из многочисленного кластера композиционных материалов [1] волокнистые металлокомпозиты, можно выделить следующим образом, как представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Класс волокнистых металлокомпозитов

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КЛАССИФИКАЦИЙ	ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ				
<b>ПО ТИПУ МАТРИЧНОГО МАТЕРИАЛА</b>	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ	ПОЛИМЕРНЫЕ	КЕРАМИЧЕСКИЕ	УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЕ	ГИБРИДНЫЕ
<b>ПО ГЕОМЕТРИИ КОМПОНЕНТОВ</b>	НУЛЬМЕРНЫЕ	ОДНОМЕРНЫЕ	ДВУМЕРНЫЕ		
<b>ПО ТИПУ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	ВОЛОКНИСТЫЕ	ДИСПЕРСНЫЕ (ПОРОШКОВЫЕ, ГРАНУЛИРОВАННЫЕ)	НАНОРАЗМЕРНЫЕ	ПЛАСТИНЧАТЫЕ	
<b>ПО ТИПУ АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН</b>	МОНОВОЛОКНИСТЫЕ	МУЛЬТИ-ФИЛОМЕНТНЫЕ	ДИСКРЕТНЫЕ	ТКАНИЕВЫЕ	
<b>ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ</b>	ОДНООСНЫЕ (ЛИНЕЙНЫЕ)	ДВУХОСНЫЕ (ПЛОСКОСТНЫЕ)	ТРЕХОСНЫЕ (ОБЪЕМНЫЕ)		
<b>ПО МЕТОДАМ ПОЛУЧЕНИЯ</b>	ТВЕРДОФАЗНЫЕ	ЖИДКОФАЗНЫЕ (ПРОПИТКОЙ)	НАПЫЛЕННЫЕ (ОСАЖДЕНИЕМ)	КОМБИНИРОВАННЫЕ	
<b>ПО СТРУКТУРЕ И РАСПОЛОЖЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ</b>	КАРКАСНЫЕ	МАТРИЧНЫЕ	СЛОИСТЫЕ	КОМБИНИРОВАННЫЕ	
<b>ПО СХЕМЕ АРМИРОВАНИЯ</b>	АНИЗОТРОПНЫЕ	ИЗОТРОПНЫЕ			
<b>ПО НАЗНАЧЕНИЮ (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПРИНЦИП)</b>	ОБЩЕКОНСТРУКЦИОННЫЕ	ЖАРОПРОЧНЫЕ, ТЕРМОСТОЙКИЕ, ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ	ФРИКЦИОННЫЕ И АНТИФРИКЦИОННЫЕ	УДАРОПРОЧНЫЕ	СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ (МАГНИТНЫМИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ, ОПТИЧЕСКИМИ И Т.П.)
<b>ПО КОНСТРУКЦИОННОМУ ПРИЗНАКУ</b>	ХАОТИЧНЫЕ	ОДНОМЕРНЫЕ	ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ		

Интерес к волокнистым металлокомпозитам обусловлен возможностью существенного увеличения эксплуатационных характеристик традиционных конструкционных сплавов, причем металлокомпозит с необходимым комплексом физико-механических свойств может быть целенаправленно спроектирован. Проектирование включает выбор исходных компонентов (волокон и матричного материала), их объемного содержания и схемы армирования с учетом возможностей технологии. Применяются методы и специальные программы математического моделирования для проведения расчетов, в том числе состава и схем армирования композиционных материалов, исходя из требуемых характеристик конструкции в целом.

Каждый из компонентов рассматриваемого класса металлокомпозитов имеет свое функциональное назначение.

Физико-механические свойства волокнистых металлокомпозитов в основном определяют армирующие волокна из высокопрочных высокомодульных, тугоплавких металлических и неметаллических материалов, которые могут обладать также требуемыми специфическими характеристиками, например, повышенной размерной стабильностью, жаропрочностью и др. Поскольку весовая эффективность является одним из приоритетных требований к конструкциям, то более востребованными являются неметаллические волокна с относительно невысоким удельным весом, целый ряд которых освоен в промышленном производстве, в том числе волокна бора, углерода, карбида кремния, оксида алюминия и др. В настоящее время производство неметаллических волокон приобрело устойчивый характер, благодаря восстановлению отечественного производства [9, 10]. Выпускаются волокна диаметром от 10 мкм до 200 мкм, которые в зависимости от величины диаметра могут иметь вид моноволокна или многофиламентного жгута.

Пластичная металлическая матрица обеспечивает монолитность и заданную структуру (схему армирования) материала, распределяет действующие напряжения по объему и передает их волокнам, останавливает рост трещин, определяет стойкость металлокомпозита к воздействию окружающей среды и

специальные свойства, например, тепло- и электропроводность. В настоящее время в качестве матричных материалов применяют сплавы на основе легких металлов алюминия, магния, титана, которые широко используются в несущих конструкциях изделий авиационной и ракетно-космической техники, также представляют интерес жаропрочные сплавы, применяемые в теплонапряженных узлах двигательных установок.

Необходимо отметить, что для получения продукции из волокнистых металлокомпозитов невозможен традиционный подход, применяемый к изготовлению металлоизделий, включающий использование исходного материала в виде подходящего промышленного металлургического полуфабриката [4, 11-14] и его последующую механическую обработку для придания требуемой формы изделию. В силу специфической структуры волокнистого металлокомпозита механическая обработка приводит к его деградации в результате нарушения целостности волокон. Поэтому технология строится таким образом, что получение собственно волокнистого металлокомпозита и продукции на его основе осуществляется одновременно. После изготовления изделия его композитная часть не подвергается дополнительной механической обработке, допускается нанесение функциональных покрытий.

Технология изготовления продукции из волокнистого металлокомпозита должна обеспечивать решение таких задач, как:

- соединение металлической матрицы и волокон в монолитный материал;
- формирование связи между волокнами и металлической матрицей для их совместной работы, как единого материала;
- обеспечение заданного объемного содержания и упорядоченного распределения волокон в матрице в соответствии с выбранной схемой армирования;
- достижение необходимого уровня физико-механических свойств композиционного материала;
- формование металлокомпозита в виде продукции (изделия) с требуемыми геометрическими параметрами.

Производство изделий из композиционных материалов показывает пример одновременного формирования материала и получения конструкции на его основе. Поэтому качество продукции, получаемой из композиционных материалов, в значительной мере зависят от параметров технологических операций процесса, однако обоснований рациональных режимов производства [15, 16] в должной мере не представлено.

Анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы [1-21 и др.] позволяет выделить наиболее широко применяемую устоявшуюся технологическую схему изготовления продукции из волокнистых металлокомпозитов, которая обеспечивает решение с указанных задач в следующей последовательности:

1. Использование полуфабрикатов – продуктов предварительной частичной переработки исходных компонентов. Характерной особенностью таких полуфабрикатов является упорядоченное распределение волокон, что позволяет формировать на дальнейших этапах металлокомпозит с требуемым расположением волокон (схемой армирования).

Полуфабрикаты могут состоять только из волокон, упорядоченно ориентированных в виде слоя, скрепленного тем или иным образом, например, с помощью беззольных связующих, путем текстильной переработки в ленту-ровницу или ткань и др. [11, 13, 14]. В качестве полуфабрикатов матричного материала применяют листы фольги.

Также получают комбинированные полуфабрикаты в виде слоя упорядоченно ориентированных волокон, скрепленного со слоем металлической матрицы. Причем, объемное содержание волокон и матричного материала в таком полуфабрикате соответствует требуемому их содержанию в металлокомпозите.

2. Сборка из полуфабрикатов заготовки металлокомпозита и ее размещение в специальной формообразующей оснастке для последующей консолидации компонентов. Заготовку собирают путем последовательной выкладки слоев полуфабриката, которые при необходимости предварительно могут подвергаться раскрою. Форма заготовки, как правило, близка к форме получаемого изделия.

Многослойную заготовку из полуфабрикатов собирают отдельно или непосредственно в оснастке.

Для каждого вида продукции (изделия) применяется своя технологическая оснастка, разработанная с учетом технологических параметров консолидации, геометрической формы изделия и возможностей оборудования, на базе которого она работает. Можно выделить общие конструктивные особенности и принципы работы оснастки: многослойная заготовка изделия, как правило, размещается в рабочей полости оснастки между жесткой неподвижной формообразующей поверхностью и подвижным элементом, посредством которого в дальнейшем на заготовку подается давление.

3. Консолидация компонентов волокнистого металлокомпозита и его формование осуществляется путем горячего прессования заготовки, размещенной в технологической оснастке. Для обеспечения функционирования оснастки - нагрева и подачи давления на заготовку применяется различное оборудование, среди которого наиболее универсальным является газостат, реализующий объемное изостатическое прессование, что важно для заготовок, имеющих криволинейные поверхности [22, 23]. Горячее прессование плоских заготовок обычно проводят на прессовом оборудовании [24].

В процессе горячего прессования обеспечивается пластическое течение металлической матрицы, компактирование заготовки с образованием монолитного композиционного материала. Для этой цели применяется достаточно высокая температура, составляющая  $\sim 0,8$  от температуры плавления матричного сплава. Такая температура неизбежно приводит к развитию диффузионных процессов физико-химического взаимодействия по границе раздела между химически разнородными материалами, какими являются волокна и металлическая матрица. Подобное взаимодействие с одной стороны обеспечивает формирование необходимой связи волокон с матричным материалом, с другой стороны избыточное взаимодействие, которое сопровождается взаимной диффузией, образованием хрупких химических соединений по границе раздела компонентов, приводит к снижению прочностных свойств волокон и металлокомпозита в целом.



Необходимость учета указанных физико-химических процессов и поиска их оптимального баланса при определении температуры, давления и продолжительности горячего прессования приводит к достаточно узким интервалам значений этих технологических параметров. Выбор режимов горячего прессования при изготовлении продукции из волокнистых металлокомпозитов обычно осуществляется на основании результатов экспериментальных исследований влияния технологических параметров на механические характеристики металлокомпозита при различных видах нагружения.

Приведенная выше общая технологическая схема отражает существующие мировые тенденции получения продукции из волокнистых металлокомпозитов. На практике реализуются различные варианты технологии в зависимости от имеющейся материальной и производственной базы. Ведущими зарубежными странами являются прежде всего страны, обладающие космическим машиностроением США, Франция; ведущими фирмами – General Dynamics Corporation (США), Rockwell International Corporation (США), General Electric (США), The Boeing Company (США), Avco Corporation (США), Aerospatiale (Франция), SNECMA (Франция) и др.

В нашей стране наибольший прогресс достигнут в разработке, производстве и применении продукции из волокнистых металлокомпозитов на основе алюминия, армированного высокопрочными высокомодульными волокнами бора. Эти металлокомпозиты по удельным прочностным и жесткостным характеристикам в 2-3 раза превосходят традиционные алюминиевые и титановые сплавы, замена которых на боралюминий позволяет повысить несущую способность и снизить вес силовых конструкций. В России разработкой металлических композиционных материалов, армированных волокнами, и технологией получения элементов конструкций на их основе занимаются такие предприятия, как: АО «Композит», ФГУП «ВИАМ», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» и др.

Некоторые варианты исполнения изделий из металлических композиционных материалов и их применение представлены на рисунке 1.1 [17, 19-21 и др.].

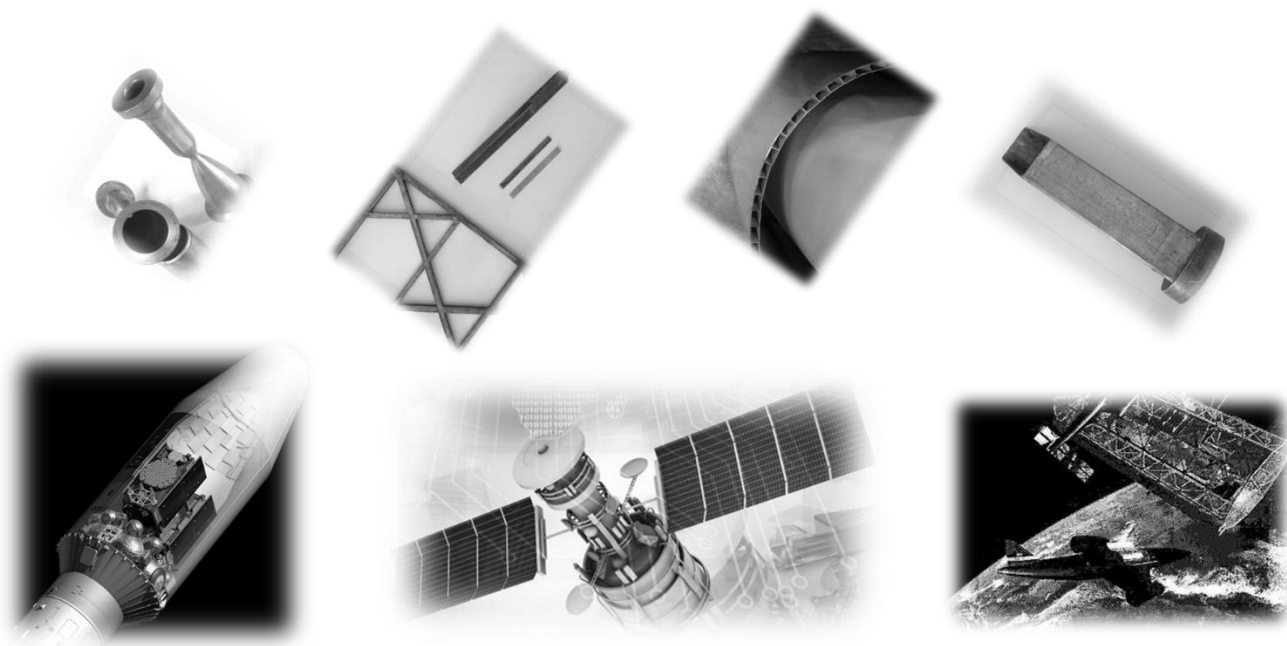


Рисунок 1.1 – Продукция из металлических композиционных материалов, в том числе волокнистых

Отечественный и зарубежный опыт показал, что одним из наиболее востребованных видов продукции из боралюминия являются трубчатые элементы, армированные в осевом направлении. Силовые трубчатые элементы из боралюминия марки АМг6-В/АМг6, разработанные и освоенные в опытно-промышленном производстве АО «Композит», внедрены в состав высоконагруженных ферменных конструкций ряда отечественных КА и уже в течение многих лет успешно используются, обеспечивая снижение веса конструкций на 20-40% по сравнению с аналогичными конструкциями из алюминиевых сплавов.

Перспективными для создания конструкционных металлокомпозитов со специальными свойствами и продукции на их основе являются также волокна углерода, обладающие низким коэффициентом линейного термического расширения и высокожаропрочные волокна на основе карбида кремния, которые уже применяются за рубежом. В РФ ведется разработка этих волокон с перспективой организации их производства, доступны опытные образцы для

выполнения научно-исследовательских работ по созданию отечественных волокнистых металлокомпозитов и технологии получения продукции на их основе.

В нашей стране имеется материальная и научно-техническая база для дальнейшего развития производства продукции из волокнистых металлокомпозитов, в том числе исходные компоненты – волокна и матричные материалы, стандартное и специализированное оборудование, нормативные документы (ГОСТ, технические условия, технологические процессы и др.), а также научно-технический задел.

Высокая стоимость продукции из волокнистых металлокомпозитов обусловлена высокой стоимостью армирующих волокон, например, доля стоимости борного волокна в цене отечественной продукции из боралюминия в зависимости от вида составляет от 40% до 60%. Это существенно ограничивает применение и производство продукции из волокнистых металлокомпозитов, которое в основном носит мелкосерийный характер.

Однако, востребованность такой продукции особенно при создании изделий нового поколения делает необходимой разработку композиционных материалов и технологии производства продукции на их основе. В этой связи актуальными являются вопросы научной организации производственных процессов в части обеспечения требуемых показателей качества продукции из волокнистых металлокомпозитов, а также снижения потерь дорогостоящего сырья в результате несоответствий этим показателям.

Анализ научно-технической литературы, посвящённой, волокнистым металлокомпозитам и особенностям технологии производства продукции на их основе, следует выделить основные принципы процесса получения композитов и актуальные задачи:

- одновременное получение заданной формы изделия и формирование материала с определёнными показателями качества;
- двухстадийное производство, включающее предварительное получение полуфабриката и консолидацию заготовки на его основе в готовую продукцию;

– актуальность данного направления исследования в настоящее время обусловлена тем, что применение металлокомпозитов приобрело устойчивый характер, в том числе благодаря восстановлению отечественного производства армирующих волокон (бора, карбида кремния и др.).

Перечисленные положения можно рассматривать как основополагающие при формировании задач исследования.

## **1.2 Современные системы управления качеством продукции**

Главной целью в области качества является достижение и поддержание качества продукции на уровне, соответствующем или превосходящем; лучшие образцы отечественной и зарубежной техники на мировом рынке ракетно-космической отрасли. Данная цель достижима, если использовать современные методы управления качеством на основе разработки и внедрения системы менеджмента качества, соответствующей требованиям ISO-9000 международного стандарта и документов на их основе изложенных в источниках [25-28].

При обзоре систем управления качеством основное внимание уделялось их применению на производствах, связанных с выпуском металлопродукции, как наиболее близких к рассматриваемому производству изделий из металлокомпозитов.

Из изученных источников, посвященных статистике космических запусков стран-лидеров и оценке систем менеджмента качества предприятий ракетно-космической промышленности [27, 29 и др.] видно, что расходы на отечественную ракетно-космическую отрасль ежегодно увеличиваются, в том числе за счёт этого постепенно повышается общее количество запусков космических аппаратов. Однако, при позитивной динамике пусков, количество нештатных и аварийных ситуаций также увеличивается. На этапах эксплуатации ракетно-космической техники, выявлены несоответствия, из них: 87,7% – дефект материальной части; 5,5% – человеческий фактор (проявлялся в ошибках персонала); 4,1% – требовалась

откорректировать нормативной и технико-технологической документации; 2,7% – ошибки в программном обеспечении. Такая же тенденция статистики сохраняется и в «странах-лидерах» (США, Китай, страны Евросоюза, Индия, Япония). Большая доля приходится на несоответствия к предъявляемым требованиям материальной части (детали), которые в большинстве случаев связаны с процессом изготовления ответственных элементов конструкций, в том числе из композиционных материалов. Это подтверждает актуальность проведения исследований в области повышения эффективности систем управления качеством в ракетно-космической отрасли.

### **1.2.1 Системы управления качеством продукции на основе нормативной документации**

Историю развития формализованных систем управления качеством, аффилиации, приобретения навыков и партнерских связей можно разделить на пять этапов [25-28, 30-33]:

1-этап – начальным уровнем системного подхода, тогда и образовалась первая система-Тейлора (техническая документация, входной контроль, приемочный контроль, качество как соответствие стандартам) в 1905 году;

2-этап – система-Тейлора, дала положительный рывок механизму менеджмента качества по каждому конкретному изделию (деталь, сборочная единица) и статистическому управлению качеством, и укрепился принцип, что производство – это процессы, 1924 год.

3-этап – в 50-х годах выдвинут принцип Всеобщего контроля качества – TQC, в части качества продукции, процессов, деятельности как соответствие рыночным требованиям (мотивация, сертификация).

4-этап – период, когда с 70 по 80 годы, начался переход от тотального управления качеством к тотальному менеджменту качества – TQM, ISO 9000, в

части удовлетворения требований и потребностей потребителей и служащих (аудит, оптимизация, тотальное обучение).

5-этап – в 90-х годах общество усилило влияние на организации, а организации начали учитывать интересы социума. Данный факт и привёл к стандарту ISO 14000, в части удовлетворения требований потребностей общества, владельцев (взаимодействие, качество фирмы).

В настоящее время полярная точку зрения рассмотрена в одной из работ Адлера Ю. П. [30]. Перспектива трансформирования стандарта ИСО 9001, следует: отказаться от попыток сформулировать универсальные требования к системам менеджмента качества; убрать слово «требования» из текста; отметить, что отсутствие корреляции на ряде рисунков настолько очевидно, что даже не обозначена линией тренда; отменить все аудиты системам менеджмента качества третьей стороной и все сертификаты соответствия стандарту.

Системы менеджмента качества могут быть основаны на ГОСТ, ОСТ, технических требованиях, правилах, которые периодически совершенствуются и сопрягаются с серией стандартов ИСО 9000 [34]. Методическое сопровождение обеспечивает совершенствование стандартов и технических требований ISO 9000, осуществление сертификации изделий и технологических процессов с одной стороны, а с другой стороны – финансовую поддержку и осуществление научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с учетом достижений научно-технического прогресса, обучение сотрудников.

Один из примеров модели системы управления качеством основанной на процессном подходе, представлен в ГОСТ ISO 9000–2011 и ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [25, 26, 35] (Рисунок 1.2).

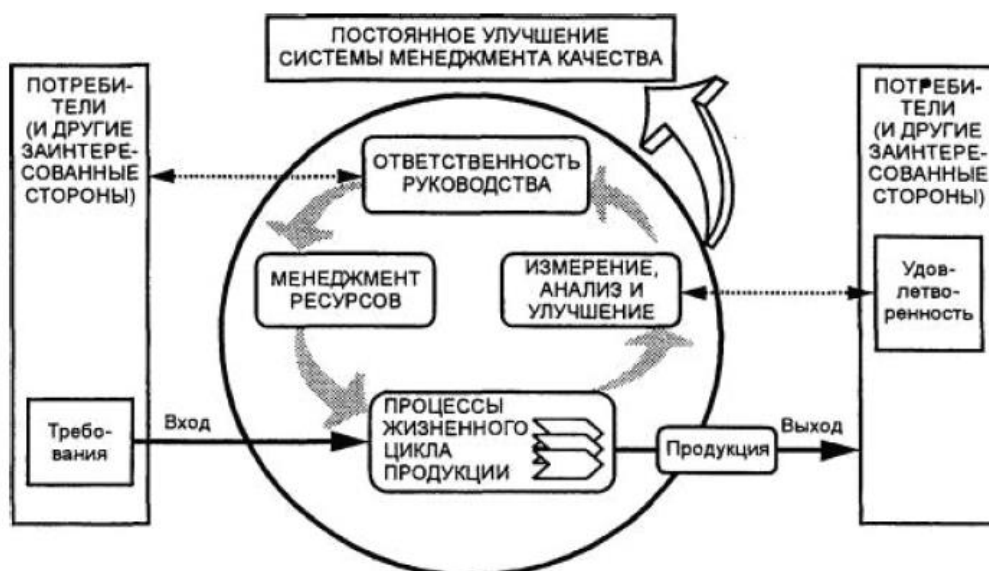


Рисунок 1.2 – Модель системы менеджмента качества [25, 26]

Стандарты формулируют систему менеджмента качества, как разработку политических решений, целей и достижение этих целей руководством, путём управления организацией. Отличием данной модели является концентрирование внимания на процессах жизненного цикла продукции, это и позволяет управлять качеством продукции.

Переход к основам TQM (всеобщее управление качеством) в машиностроительных организациях является необходимым элементом формирования менеджментовых подсистем. Модель обобщает все элементы формирования качества изделия: снабжение ресурсами, изготовление, реализацию, сервисное обслуживание и информационно-денежные вложения.

В источнике [36] представлен пример структуры системы менеджмента качества изделий на машиностроительном предприятии, которая разработана на основе принципа TQM (Рисунок 1.3).

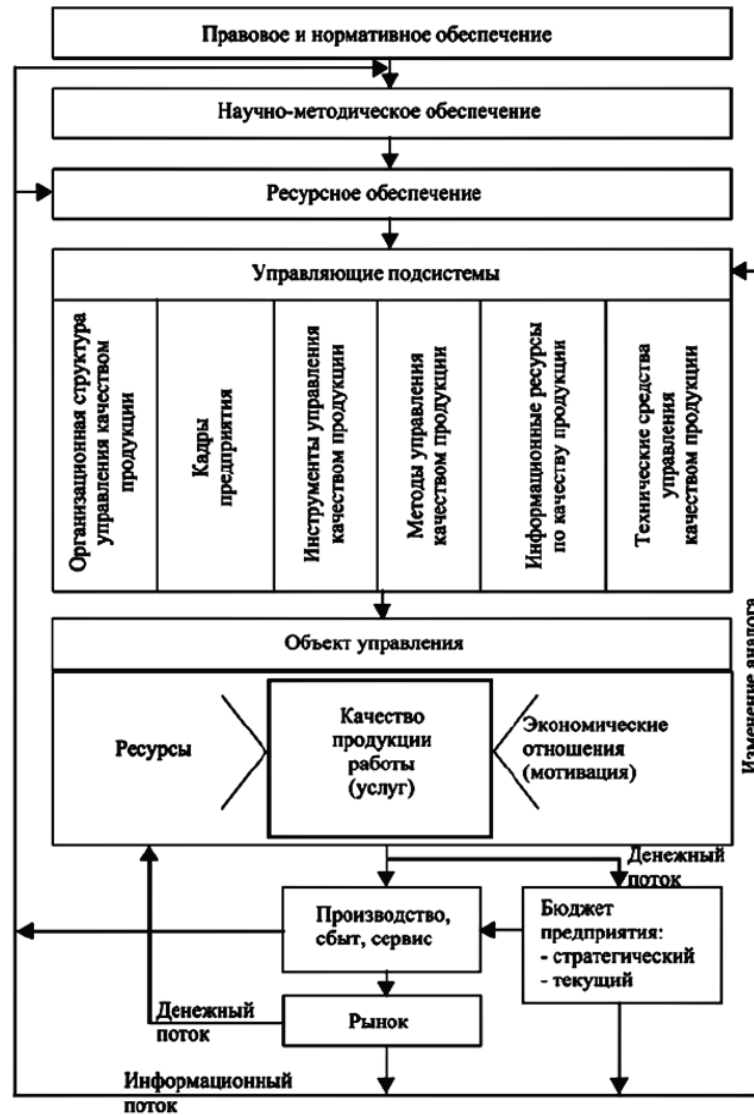


Рисунок 1.3 – Система менеджмента качества изделий в машиностроительных организациях [36]

Представленная система управления качеством для машиностроительных организаций базируется на ИСО 9000 и включённые в него современные нормативные документы (ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ и др.). Система рассматривает проведение производственных процессов с одной стороны, и финансирование с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, повышение квалификации персонала и обеспечение качественными ресурсами с другой стороны, для формирования управляющих подсистем и повышения качества продукции на инновационной уровне.



Пример управления качеством на мелкосерийном производстве изложен в источниках [37, 38, 39], где также отражено активное внедрение основных принципов TQM [40]. Отмечено, что среди множества различных публикаций по применению процессного подхода к управлению качеством процессов на предприятиях, практически не освещены организации по производству композиционных материалов, в том числе диэлектрических покрытий. На рисунке 1.4 представлена процессно-ориентированная модель информационной поддержки системы факторов (объектов управления качеством) диэлектрических покрытий.

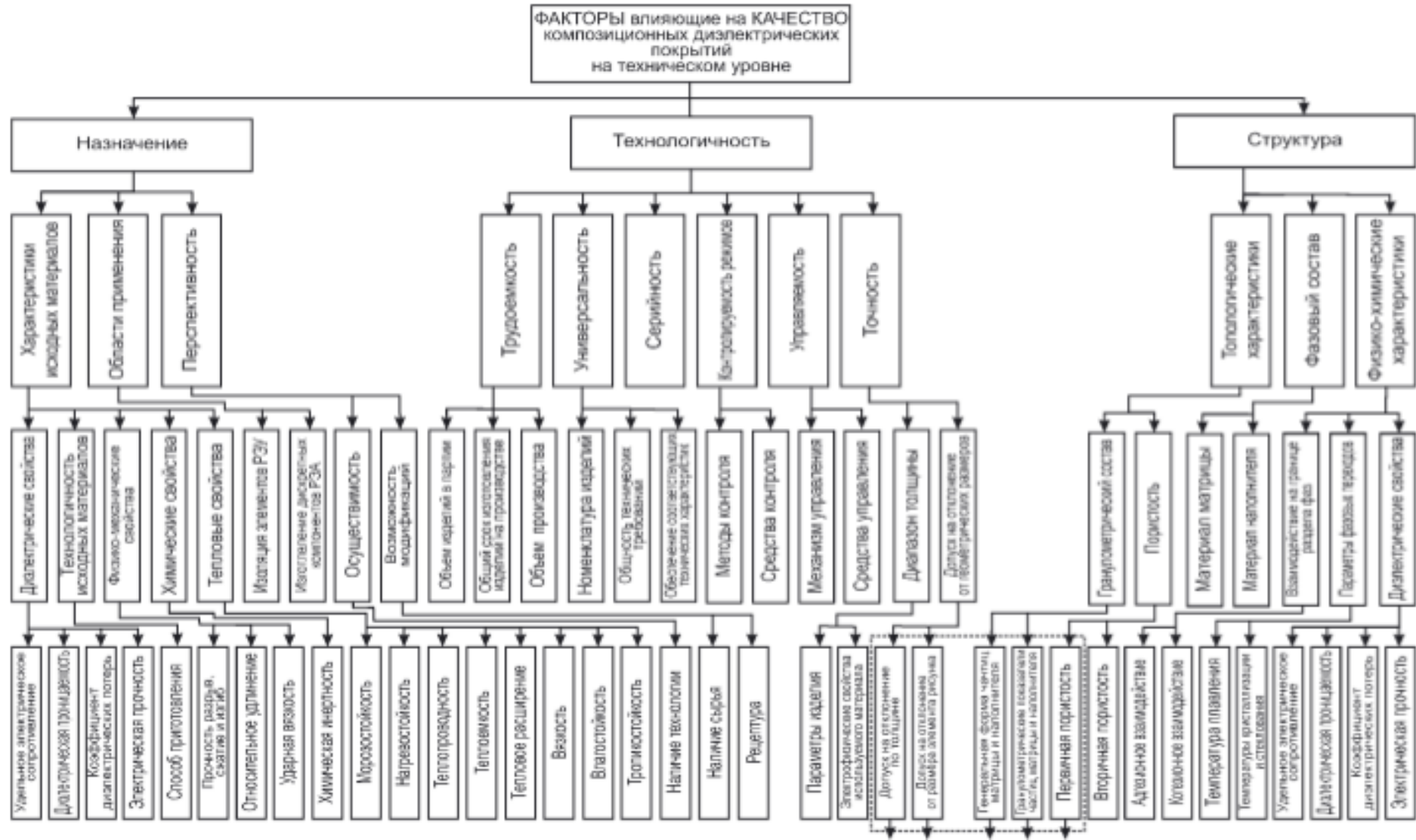


Рисунок 1.4 – Модель информационной поддержки процессов управления качеством диэлектрических покрытий [39]

Представленная система информационной поддержки композиционных диэлектрических покрытий отражает управление качеством через факторы влияющие на свойства изделий, при этом являясь узко специализированной, но её структура и содержание возможно применить при описании особенностей получения волокнистых металлокомполитов.

На основе анализа информации о возможностях выполнения требований в области безопасности продукции предлагается [41, 42] реестр процессов системы менеджмента безопасности продукции. Внутренняя организация системы базируется на известном цикле, изложенном в ISO «Plan—Do—Check—Act» / «Планируй—Делай—Проверяй—Действуй», а также на анализе рисков и возможностей в области обеспечения машиностроительной безопасности продукции.

В нормативном документе ГОСТ 15467-79 [43] выделяют три группы организационно-технических несоответствий управления качеством выпускаемых изделий: статистические методы контроля качества полуфабрикатов и готовой продукции; сбор и анализ причин снижения показателей качества, разработка управляющих моделей менеджмента качества. Статистический контроль качества основывается на выборочных пробах, обеспечивая положительную динамику результатов. В настоящее время для организации статистического выходного контроля применяют положения ISO, который регламентирует объем выборки, числа по приёму и браку в отношении от объема партий и дефектности.

На этапах изготовления изделий статистический контроль применяется в 3-х основных видах: входной контроль исходных основных и вспомогательных материалов; технологический межоперационный контроль, на входе и выходе технологической операции производства; выходной приёмочный контроль показателей качества выпускаемых изделий [44].

ГОСТ Р 56518-2015 [45] регламентирует систему управления качеством в ракетно-космической отрасли, которая характеризуется удовлетворением требований, обеспечивающих и поддерживающих необходимый уровень качества продукции и услуг, разрабатываемых сопряжёнными организациями. Управление

качеством любого изделия, в том числе изделий из композиционных материалов, является совокупностью принципов, системного и процессного подходов, методов и моделей, порядка управления на различных стадиях жизненного цикла изделия и ранга менеджмента качества. Функциями механизма менеджмента качества, являются: прогноз потребительского рынка, технического обеспечения и уровня изделия; прогнозирование повышения качества изделия; нормативное сопровождение качества изделия и принципы стандартизации; разработка и изготовление изделия; подготовка технологического процесса; организация цепочки: качество продукции-поставщик сырья, материала, полуфабриката, комплектующих организациями-изготовителями и потребителями изделия; поддержка устойчивого показателя качества изделия на всех стадиях изготовления продукции; контроль показателей качества и испытаний изделий; профилактика несоответствий на производстве; аттестация изделий, технологических операций производства, аттестация рабочих мест и сотрудников и т.п; сертификация изделий, проведения работ и оказания услуг, систем управления качеством и технологических процессов; поощрение и депремирование за достижения в области качества; производственный учет-отчет по качеству изделий; технико-экономические контроль качества изделий; поддержка менеджмента качеством изделий (метрологией, технологией, информацией, правом, финансированием); специальной подготовкой и повышением квалификации сотрудников.

### **1.2.2 Системы управления качеством продукции на основе системного и процессного подходов**

В научных работах [46-51] представлены классические блок-схемы системы управления (Рисунок 1.5) американского математика Норберта Винера. Управление, с точки зрения – циклического процесса, это, когда, выполняя определенные действия, достигают поставленную цель.

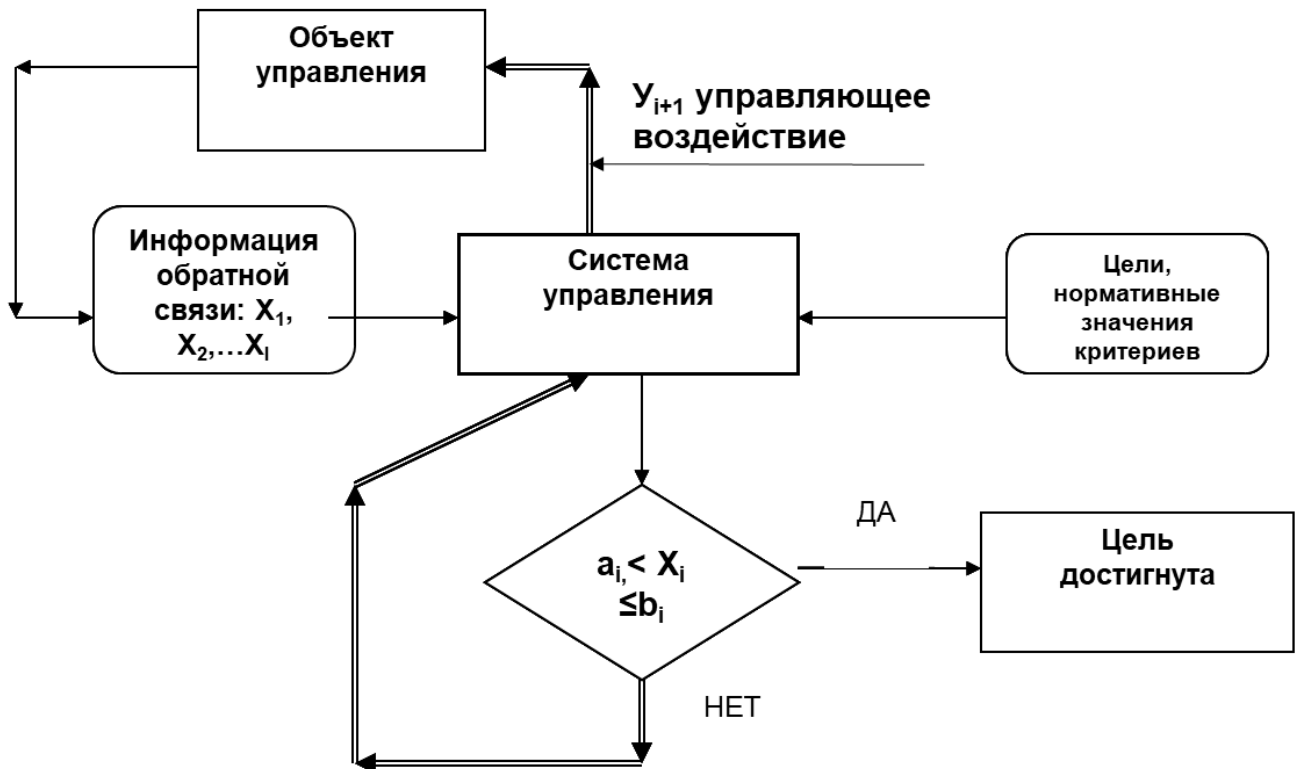


Рисунок 1.5 – Модель принятия управленческих решений

Модель (схема) дает представление о цикле управления (в том числе качеством) и понятие управления как процесса. Циклом управления называется круговорот информационного потока между объектом управления и системой управления. Все процессы управления должны быть взаимосвязаны по средствам информации между различными функциональными звеньями, из которых и состоит сам объект управления [49]. Данную классическую блок схему управления предлагается рассматривать как основополагающую для разработки модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита, учитывая особенности технологии получения.

Японские ученые и инженеры (JUSE) совместили вместе 7-мь универсальных инструментов контроля качества продукции/услуг. Не смотря на простату использования, методы контроля качества, сохраняют в себе связь со статистикой и возможность профессионального использования результатов, а также развития методологических наработок [52].

Одним из таких инструментов контроля качества, является причинно-следственная диаграмма Исикавы или диаграмма по своей структуре напоминающая «рыбий скелет» (Рисунок 1.6). Она дает возможность графического представления связи между несоответствиями продукции/услуг и причинами их возможного возникновения.

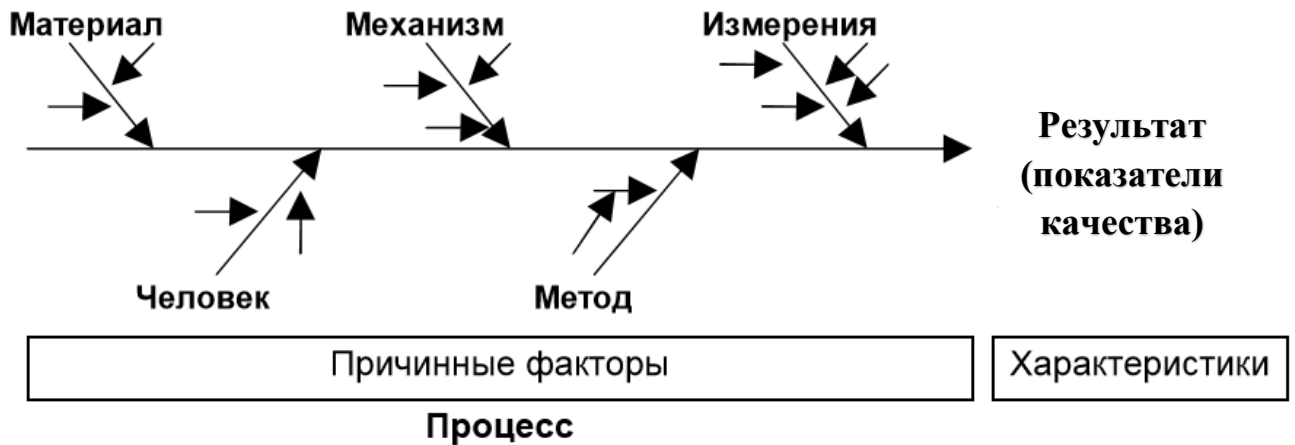


Рисунок 1.6 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы [53]

Вышеприведенная диаграмма, позволяет [53]:

- идентифицировать ключевые характеристики и ключевые параметры/режимы процесса получения;
- идентифицировать различные факторы воздействия на процесс получения и дефекты процессов исполнения;
- группировать факторы воздействия по родственным причинам возникновения;
- снизить уровень дефектности при принятии решений;
- показывает соотношение между показателями качества продукции/услуг и действующими на них факторами.

Диаграмму Исикавы предполагается использовать, в данном исследовании, для разработки процессно-ориентированной модели производства продукции из волокнистых металлокомполитов.

Разработаны [54-56] основные принципы менеджмента качества, ориентируясь на которые, можно разработать и внедрить в компании или в основном производстве предприятия систему управления качеством – основную составляющую менеджмента качества, которая постоянно будет работать на повышение удовлетворенности потребителя, т.е. обеспечивать компании достижение стратегических целей наиболее эффективным способом, проверенным многими организациями ранее, даже в условиях неполноты исходной информации. При разработке системы управления качеством на производственных предприятиях, конечно, много внимания уделялось профессионализму лидеров завода и компании, модернизации производства или производству на имеющемся оборудовании с совершенствованием стандартов качества, как залогом ее долгосрочной конкурентоспособности на обширных рынках в своих отраслях, устойчивого экономического роста и общего процветания всей компании. Важным звеном при этом является также функция руководителей цехов и отделов, которые обеспечивают единство цели и направление деятельности предприятий. Эти руководители были призваны создавать и поддерживать обстановку, в которой все сотрудники компании могли быть полностью вовлечены в достижение целей и задач, поставленных организацией. Такой же подход отражается в документах [43, 57, 58], его сокращённо называют КСУКП (комплексная система управления качеством продукции). Документы устанавливают «что, кто, где, когда и как» должен делать. Такие законы предназначены для каждого работника от директора предприятия до рядового сотрудника.

Стоит рассмотреть ещё одну форму организации управления качеством такую, как DZHIT (Точно в срок) [59]. Она основана на концепции: без запасов материалов, без отказов производства, без дефектов продукции. Композиционные материалы являются достаточно дорогостоящей продукцией, что связано с использованием в качестве упрочняющих компонентов высокопрочных высокомодульных волокон. Волокно получают методом химического газофазного осаждения, оно производится в России в ограниченном объеме и в определенной степени является дефицитным. Поэтому описанная выше система DZHIT

неприменима на предприятиях с неритмичным мелкосерийным производством единичной продукции из композиционных материалов.

Предложен [60] способ управления качеством продукции через улучшение работы оборудования «Основные принципы TPM (Total Productive Maintenance / Всеобщий уход за оборудованием)», включая его качество, рациональность использования, способы обслуживания и т.п. С учетом специфики производства продукции из композиционных материалов, использование данного способа нецелесообразно, так как фактор оборудования решает только часть производственных задач.

Публикации зарубежных авторов [61] на тему «TPS-Lean Six Sigma Новый подход к созданию высокоэффективной компании» описывают известные способы «Эффективное производство» и «Шесть сигма», в части организации персонала. Схожие вопросы рассмотрены в работе [62], где автор предлагает применить ко всем процессам с высокой долей самоорганизации, передать полномочия от руководителей к персоналу организации, что позволит снизить влияние факторов человеческой деятельности. Применительно к производству композитов, это можно рассматривать как влияние «человеческого фактора» в основном на операциях сборки заготовок полуфабриката и оснастки.

В исследованиях [40, 63, 64] рассматриваются совершенствование технологии производства, разработка методологии модернизации и совершенствование условий эксплуатации, а также методические основы реализации принципа обеспечения встроенного качества соответственно. Встроенное качество – удаление несоответствий у источника возникновения исполнителем процесса, используя философию «Всеобщего тотального контроля» (Рисунок 1.7).





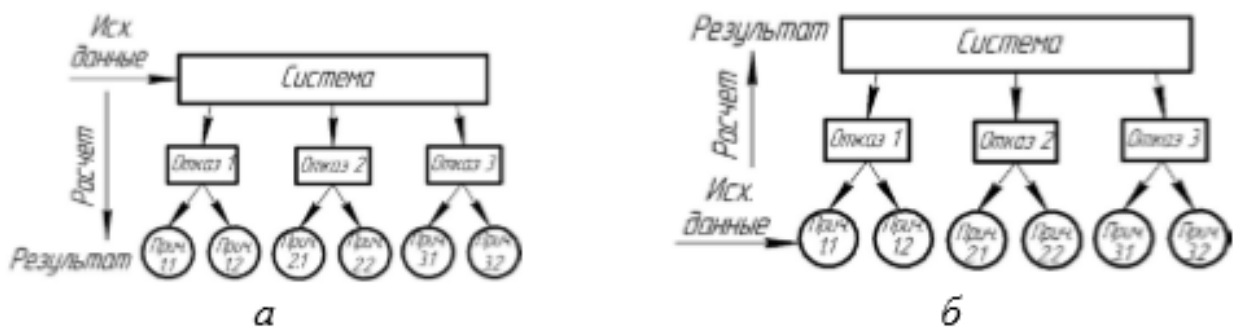
Рисунок 1.7 – Математическая модель встроенного качества [40]

Подобные модели в работах [65-69] предложено обрабатывать, используя квалиметрию и кластеризацию, методы оценки программных комплексов и многоуровневых моделей обработки информации, что позволяет успешно решать ряд задач выбора рациональных технологических схем производства, а также способа сбора, хранения и анализа статистических данных.

Методы оптимизации процесса, представленные в новых разработках [70-74] зарубежных источников Великобритании, Китая и Японии, поэтапно описывают взаимозаменяемую последовательность событий, которая включает применение мастер-моделей для выбора возможных эпизодов и с использованием информации, полученной из мастер-модели определяет все возможные последовательности с помощью алгоритма. Полезная модель раскрывает систему управления отслеживанием качества продукции на основе двумерного кода. Система включает в себя: рабочее место с сервером предприятия, открытое облако запроса сервера, двумерный код, смартфон и USB (флэш-диск). Полезная модель описывает четырехмерную систему для оценки множества ракурсов управления процессами

предприятия и техническую область автоматизированного комплекса оценки и принятия решения.

Одним из важных показателей качества продукции является надежность. он и рассматривается в работе [75]. Алгоритм расчета, показанный на рисунке 1.8-а, позволяет по известному значению показателя надежности технической системы определить вероятности отказа ее элементов. Алгоритм расчета, показанный на рисунке 1.8-б, позволяет по известному значению показателя надежности элементов технической системы сделать расчет надежности всей системы.



а – расчет прямого порядка; б – расчет обратного порядка

Рисунок 1.8 – Графическое представление видов расчета вероятностей возникновения отказов в условиях неполноты статистических данных [75]

В работе [76] рассмотрен вопрос, развития предприятия, когда встаёт вопрос сокращения трудозатрат на контрольные операции, т. к. прежние меры контроля приводят к росту количества контролеров. Проблема решалась с помощью контрольных карт Шухарта (изменение типа закона распределения данных), разработанных около 80 лет назад «Статистическое Управление Процессами» [76-78]. Карта даёт возможность отслеживания точек информации, выходящих за предел контрольных значений требований заказчика и/или нормативной документации.

Анализ рассмотренных литературных источников по современным системам управления качеством на производствах [40, 43, 46-78] показал, что системы управления качеством, схожие по типу процессов получения с процессами

получения композиционных материалов, как правило, учитывают широкий спектр факторов, воздействующих на готовую продукцию, начиная с внутренних факторов (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, персонал организации, логистические процессы, маркетинговые мероприятия, менеджмент организации, технологический процесс и др.) и заканчивая внешними факторами (техническое регулирование, качество сырья и др.). Выявлено, что с учётом специфики производства композиционных материалов (высокие требования к показателям качества, отсутствие ритмичности производства, невысокий уровень автоматизации и т.д.), основным фактором воздействия на показатели качества продукции, является технологический процесс производства продукции, включая закупку исходных материалов [79]. Многолетний опыт производства волокнистых композиционных материалов показывает, что доля влияния технологии изготовления на качество продукции данного класса составляет не менее 70%. Однако, целенаправленных исследований по определению долей влияния производственных факторов на качество изделий из металлокомпозитов не проводилось, и проведение этих исследований необходимо рассматривать как перспективную задачу.

### **1.3 Подходы к формированию показателей качества продукции, включая композиционные материалы**

При изучении Государственных, Межгосударственных и отраслевых стандартов (ГОСТ Р, ГОСТ, ОСТ) выявлено, что общепринятый, описывающий показатели качества волокнистых металлических композиционных материалов, нормативный документ отсутствует. Наиболее близкими нормативными документами для волокнистых металлокомпозитов в части структуры и расположения компонентов, назначения (эксплуатационный принцип), конструктивных признаков, показателей свойств являются нормативные документы для полимерных композиционных материалов [8, 80-86].

Например, ГОСТ Р 58016-2017 [8] описывает керамические композиты на основе карбидкремния, армированные карбидкремниевыми неметаллическими волокнами, стандарт предлагает рассматривать следующие показатели свойств:

- физические (объёмная доля волокна, объёмная плотность, пористость);
- механические (предел прочности при растяжении/ предел прочности при растяжении в окружном направлении, модуль упругости при растяжении/ предел прочности при растяжении в окружном направлении).

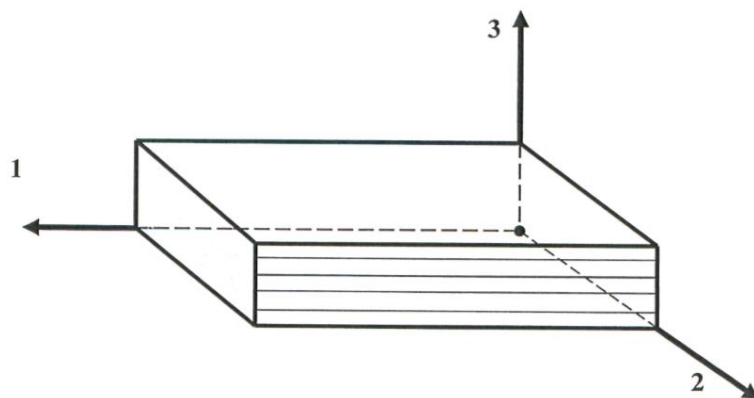
В частности, в документах [83, 84] представлена номенклатура основных показателей, характеризующих свойства композиционных материалов и изделий из них, большей частью на основе полимерной матрицы, используемых при осуществлении научно-технических исследований, промышленных разработок и контроле качества продукции [Приложение 1].

Таблица 1.2 – Номенклатура и степень обязательности показателей свойств композиционных материалов [84, Приложение 1]

Наименование показателя	Обозначение Показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
<b>1 Механические свойства</b>				
Разрушающее напряжение при растяжении в направлении оси армирования (ось 1)	$\sigma_1^+$	МПа	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603 ГОСТ 11262	++
Разрушающее напряжение при сжатии в направлении перпендикулярном к армированию	$\sigma_2^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 4651	++
Предел текучести при растяжении в направлении оси армирования	$\sigma_T$	МПа	ГОСТ 11262	+
Относительное удлинение при пределе текучести	$\xi_T$	%	ГОСТ 11262	+
Модуль упругости при сжатии в направлении оси армирования	$E_1^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 9550	++

Наименование показателя	Обозначение Показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
Коэффициент Пуассона в плоскости 12 при сжатии в направлении армирования	$\nu_{12}^-$	—	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603	(+)
.....	.....	.....	.....	.....
<b>2 Физико-химические свойства</b>				
Плотность	$\rho$	г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 15139	++
Коэффициент линейного теплового расширения в направлении оси армирования	$\alpha_1$	°С <sup>-1</sup>	ГОСТ 15173	+
Теплопроводность в направлении оси армирования	$\lambda_1$	Вт/м·К	ГОСТ 23630.2	+
Удельная теплоемкость	$C_p$	Дж/кг·К	ГОСТ 23630.1	+
Ударная вязкость	$A$	кДж/м <sup>2</sup>	ГОСТ 4647	+
.....	.....	.....	.....	.....
<b>3 Показатели надежности</b>				
Гарантийный срок хранения	—	мес.	Технические условия на материал	+
<b>Примечания</b>				
<p>1 Знаком «++» обозначены основные показатели свойств композиционных материалов. К ним относят показатели, необходимые для проектирования деталей, работающих при статических силовых нагрузках.</p> <p>Знаком «(+)» обозначены показатели свойств, определяемые на этапах разработки материалов.</p> <p>Знаком «+» обозначены дополнительные показатели свойств композиционных материалов. К ним относят показатели, определяемые по требованию потребителя.</p> <p>По согласованию с потребителем допускается дополнение состава основных и дополнительных показателей свойств и их количества в соответствии с нормативной и технической документацией на конкретную продукцию.</p> <p>2 Знаки «+»; «-», используемые в качестве верхних индексов в механических характеристиках, относятся к нагружению соответственно при растяжении и при сжатии.</p>				

3 Направления осей координат 1,2,3 приведены на рисунке ниже.



Номенклатура показателей свойств композиционных материалов включает перечень показателей механических и физико-химических свойств, показателей надежности, дизайна и технологических свойств, при этом каждый показатель характеризуется степенью обязательности. Характеризуются показатели качества, как основные, определяемые на этапах разработки материалов, дополнительные – определяемые по требованию потребителя.

Определяющие характеристики по сравнению с материалами аналогичного назначения, сведения о его составе, назначении, области применения, условиях эксплуатации, не вошедшие в источник [84] представлены в отраслевом стандарте [83]:

- магнитное свойство (магнитное насыщение);
- технологические свойства (паяемость, свариваемость, температуру обжига, режимы термической обработки, обрабатываемость давлением, резанием, вязкость, температуру полимеризации, вулканизации, а также рекомендации по восстановлению и ремонту материалов, методы контроля качества материалов);
- коррозионная стойкость в различных условиях хранения и эксплуатации;
- механические, тепло-физико-химические свойства (жаропрочность, жаростойкость, предел прочности при кручении, температура ликвидуса, температура солидуса).

Дополнительные показатели свойств композиционных материалов определяют при необходимости по согласованию с потребителем при паспортизации. При отсутствии экспериментальных нормативных методов определения показателей свойств композиционных материалов допускается применение расчетных методов [84].

Государственные стандарты ГОСТ Р 50583-93 и ГОСТ Р 54072-2010 [80, 81] по своему содержанию, в части номенклатуры показателей качества, однонаправленных, армированных непрерывными неметаллическими волокнами композиционных полимерных материалов практически дублирует отраслевые стандарты [83, 84].

Положение о системе управления качеством Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» и её организаций [86] и План мероприятий по обеспечению качества и надёжности ракетно-космической техники на период до 2025 года [85] основными критериями показателей качества продукции определяют:

- количество несоответствий (неисправностей);
- количество рекламаций;
- количество карточек разрешения;
- количество аварийных ситуаций;
- показатели надёжности (варьируются в зависимости от условий эксплуатации).

Представленные выше документы (Положение и План) характеризуют показатели качества ракетно-космической техники в открытом космосе результативностью и эффективностью работ по обеспечению качества – успешностью пусков космических аппаратов и средним сроком их активного существования. Также Положение регламентирует процесс формирования и проведения технической политики в области управления качеством и устанавливает основные принципы системного подхода к управлению качеством Госкорпорацией «Роскосмос» и её организациями.

В работах авторов [87-89] описываются свойства металлопродукции в виде иерархического дерева, в том числе эксплуатационных (механические, служебные, транспортабельность, технологичность переработки и др.). Выбор представленных характеристик качества металлопродукции, основан на специфики эксплуатационных условий в среде использования продукции (железобетонные конструкции) и особенностей транспортировки изделия от поставщиков к потребителям. Подобными принципами подбора показателей качества необходимо руководствоваться при структурировании свойств волокнистых металлокомпозитов.

В источнике [90] рассматривается локальный блок показателей качества транспортирования на примере контейнерных перевозок (Рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Система свойств качества транспортирования [90]

Одним из критериев выбора показателей качества перевозок, являлось – экономичность доставки (минимальные транспортные затраты). Возможными целями применения номенклатуры показателей качества может быть установление номенклатуры показателей качества для включения их в национальные стандарты



и стандарты организаций, проведение научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, направленных на повышение качества и эффективности перевозочного процесса.

Гардымовым Г. П. с соавторами [2] описана модель процесса термообработки эпоксисвязующего, с помощью регрессионных уравнений. Предложенный подход «регрессии» к обработке данных может быть применён при анализе полученных экспериментальных результатов по выявлению зависимостей показателей качества продукции от технологических факторов изготовления изделий.

Изучение опубликованных источников, в том числе нормативной документации [2, 8, 80-90] показало, что системы показателей качества для волокнистых металлических композиционных материалов специфического назначения, нет. Это связано с существенными различиями, как по структурным свойствам продукции, так и по технологии их получения. Поэтому одной из перспективных задач исследования является разработка принципиально новой системы показателей качества для продукции на основе волокнистых металлокомпозитов.

## **Выводы по главе 1**

По результатам аналитического обзора современного состояния по управлению качеством композиционных материалов и особенностям технологии их изготовления сформулированы следующие принципы и перспективные направления объекта исследования.

1. Волокнистые металлокомпозиты обладают уникальными, характеристиками, не имеют аналогов среди традиционных конструкционных металлических сплавов и позволяют целенаправленно решать задачи обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик узлов и конструкций в составе изделий авиационной и ракетно-космической техники. Потребность в высокоэффективных металлокомпозитах делает актуальной разработку

производственных процессов их получения на современном уровне, который предусматривает безусловное наличие системы управления качеством продукции. Анализ имеющихся данных по разработке, производству и применению продукции из волокнистых металлокомпозитов позволяет в общем виде выделить устоявшуюся технологическую схему изготовления продукции из волокнистых металлокомпозитов, которая может служить основой для разработки и исследования системы управления качеством. Производство изделий из композиционных материалов, показывает пример единой конструкции и получения, поэтому свойства композиционного материала в высокой мере зависят от показателей качества выполнения параметров технологических операций процесса, однако обоснований рациональных режимов производства в должной мере не представлено. Благодаря восстановлению отечественного производства армирующих волокон (бора, карбида кремния и др.), производство волокнистых металлокомпозитов приобрело устойчивый характер. Целесообразно рассмотреть отечественное производство продукции из волокнистого металлокомпозита боралюминия, как объект для применения результатов исследования и разработки системы управления качеством.

2. Системы управления качеством, схожие по типу производства композитов как правило, учитывают широкий спектр факторов, воздействующих на готовую продукцию, начиная с внутренних факторов (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, персонал организации, логистические процессы, маркетинговые мероприятия, менеджмент организации, технологический процесс и др.) и заканчивая внешними факторами (техническое регулирование, качество сырья и др.). Однако выявлено, что с учётом специфики производства композиционных материалов (высокие требования к показателям качества, отсутствие ритмичности производства, невысокий уровень автоматизации и т.д.), основным фактором воздействия на показатели качества продукции, является технологический процесс получения продукции, включая закупку исходных материалов. Поэтому, необходимо проведение целенаправленных исследований по определению долей влияния на качество

композитов перечисленных факторов, в том числе, используя новые инструменты контроля качества (диаграммы Парето, Исакавы и т.д.) при сборе и анализе статистических данных по изготовлению продукции из волокнистых композиционных материалов.

3. Концептуальные положения и критерии оценки эффективности систем управления качеством продукции, изученные в нормативных документах предлагается использовать, как методическую основу для оценки и разработки системы управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов. Разработать принципиально новую систему показателей качества для продукции из волокнистых металлокомпозитов. Классическую блок схему управления (Норберта Винера), предлагается рассматривать, как основополагающую для разработки модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита, учитывая особенности технологии получения. В качестве инструмента, анализирующего полученные экспериментальные результаты исследований, предлагается использовать - регрессионные зависимости.

В результате обобщения перспективных направлений исследований обоснованы задачи диссертационной работы:

– разработать процессно-ориентированную модель производства волокнистых металлокомпозитов и иерархически организованную информационную подсистему получения из них продукции;

– разработать концептуальную модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита;

– провести теоретические и экспериментальные исследования по применению разработанных элементов управления качеством продукции из композиционных материалов на примере получения боралюминиевых трубчатых элементов, а также разработать комплекс графических и математических зависимостей показателей качества данной продукции от параметров технологических операций. Разработать рекомендации по рациональным параметрам технологических операций получения боралюминиевых трубчатых элементов.

## ГЛАВА 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССНОГО И СИСТЕМНОГО ПОДХОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ

### 2.1 Разработка процессно-ориентированной модели технологического процесса производства волокнистых металлокомпозиатов

Композиционные материалы и продукция на их основе находят все более широкое применение в изделиях космической техники и в других отраслях промышленности. Данное обстоятельство обусловлено свойствами композиционных материалов, обеспечивающими необходимую прочность, стойкость, надежность, экологическую безопасность и долговечность изделий в различных условиях эксплуатации, включая экстремальные условия.

Однако, выявлено, что с учётом специфики производства композиционных материалов (высокие требования к показателям качества, отсутствие ритмичности производства, невысокий уровень автоматизации и т.д.), основным фактором воздействия на показатели качества продукции, является технологический процесс получения продукции, включая закупку исходных материалов (Таблица 2.1) [79].

Таблица 2.1 – Основные внутренние и внешние факторы, воздействующие на малотоннажные производства, в том числе продукции из волокнистых металлокомпозиатов [79]

<b>Внутренние факторы организации</b>	НИОКР	Персонал организации	Логистические процессы	Маркетинговые мероприятия	Менеджмент организации	Технологический процесс	⇒	<b>Качество продукции</b>
<b>Внешние факторы организации</b>	Техническое регулирование		Качество оборудования		Качество сырья		⇒	

Технологический процесс – это составная часть и основа производства, а производство – стадия жизненного цикла, на которой осуществляется изготовление изделий/продукции, предназначенных для поставки заказчикам/потребителям.

В результате проведения аналитического обзора современного состояния по управлению качеством композиционных материалов поставлена задача разработки процессно-ориентированной модели технологического процесса производства волокнистых металлокомпозитов, которая определяет основные предварительные и окончательные операции, последовательность их выполнения и особенности получения продукции.

Разработка модели проводилась на основе базового понятия процесса, как совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, которые преобразуют входы в выходы [25, 26, 91].

Деятельность, использующая ресурсы и управляемая в целях преобразования входов в выходы, согласно ИСО 9001, может рассматриваться как процесс. При этом часто выход одного процесса образует непосредственно вход следующего. Применение в функционирование организации системы идентифицированных и взаимодействующих процессов, а также менеджмент процессов, направленный на получение желаемого результата, могут быть определены как «процессный подход». Преимущество процессного подхода [92] состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках их системы, а также при их комбинации и взаимодействии.

Согласно принципу «Процессного подхода» запланированный результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом. В соответствии с этим принципом Госкорпорация «Роскосмос» и ее организации рассматривают создание (разработку, изготовление, испытания) и применение (эксплуатацию) продукции, выполнение работ (оказание услуг) как совокупность взаимосвязанных процессов [86].

Процесс, как объект управления, показывает решение управленческих задач на этапах проектирования и непосредственного управления, а также оценку результативности управления.

В работе [34] приведена причинно-следственная диаграмма Исикавы описывающая значения степени связи внутренних и внешних факторов

организации с качеством полиэтиленовых труб, изготавливаемых на предприятии ОАО «Тамбовмаш» (Рисунок 2.1).

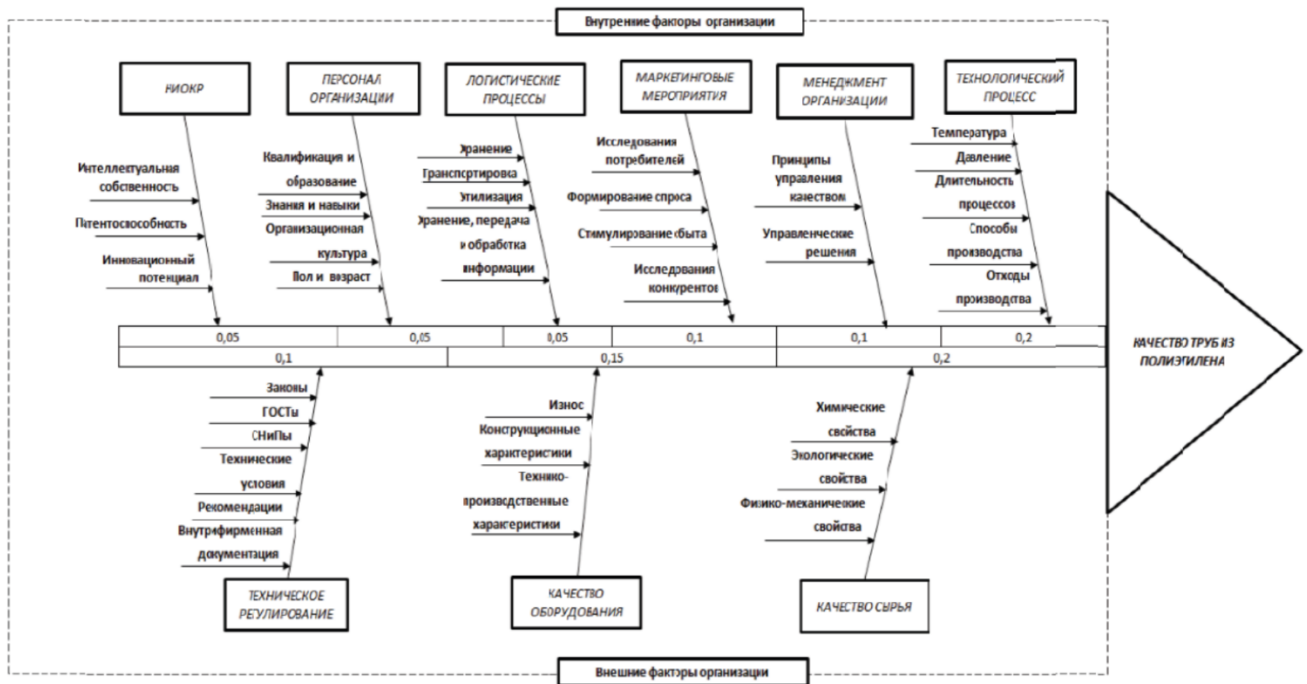


Рисунок 2.1 – Диаграмма Исикавы, показывающая влияние внутренних и внешних факторов на качество полиэтиленовых труб из композиционного материала [34, 53]

На данной диаграмме выявлены факторы, влияющие на качество труб из полиэтилена в серийном производстве. Особенностью отображения причинно-следственных связей является определение шкалы баллов, полученных экспертными методами и характеризующих степень воздействия различных факторов на качество выпускаемой продукции.

Применение принципов управления качеством к мелкосерийному производству [93] композиционных материалов требует учёта специфических требований, где основное воздействие на качество продукции происходит на стадии жизненного цикла – производство, включая закупку исходных материалов с требуемыми свойствами. Поэтому используемый способ представления причинно-следственных связей целесообразно применить, описывая не всю цепочку влияния внутренних и внешних факторов на качество получаемой продукции, а разработать на её основе диаграмму Исикавы, как процессно-

ориентированную модель технологического процесса получения – основной стадии жизненного цикла, на которой формируется качество продукции из волокнистых металлокомпозитов.

Необходима разработка и обоснование комплекса моделей регулирования качества, представляющих собой функционирование исследуемого объекта управления как сложной системы, объединяющей в себе большинство аспектов целенаправленной деятельности.

В результате изучения особенностей технологии получения волокнистых композиционных материалов выявлена наиболее широко применяемая, устоявшаяся технологическая схема изготовления изделий, которая положена в основу разработанной процессно-ориентированной модели производства продукции из волокнистых металлокомпозитов.

Используя системный и процессный подходы, а также причинно-следственную диаграмму Исикавы [53], описано последовательное проведение операций по получению рассматриваемого класса композиционных материалов и факторов воздействующие на качество промежуточной и конечной продукции (Рисунок 2.2).

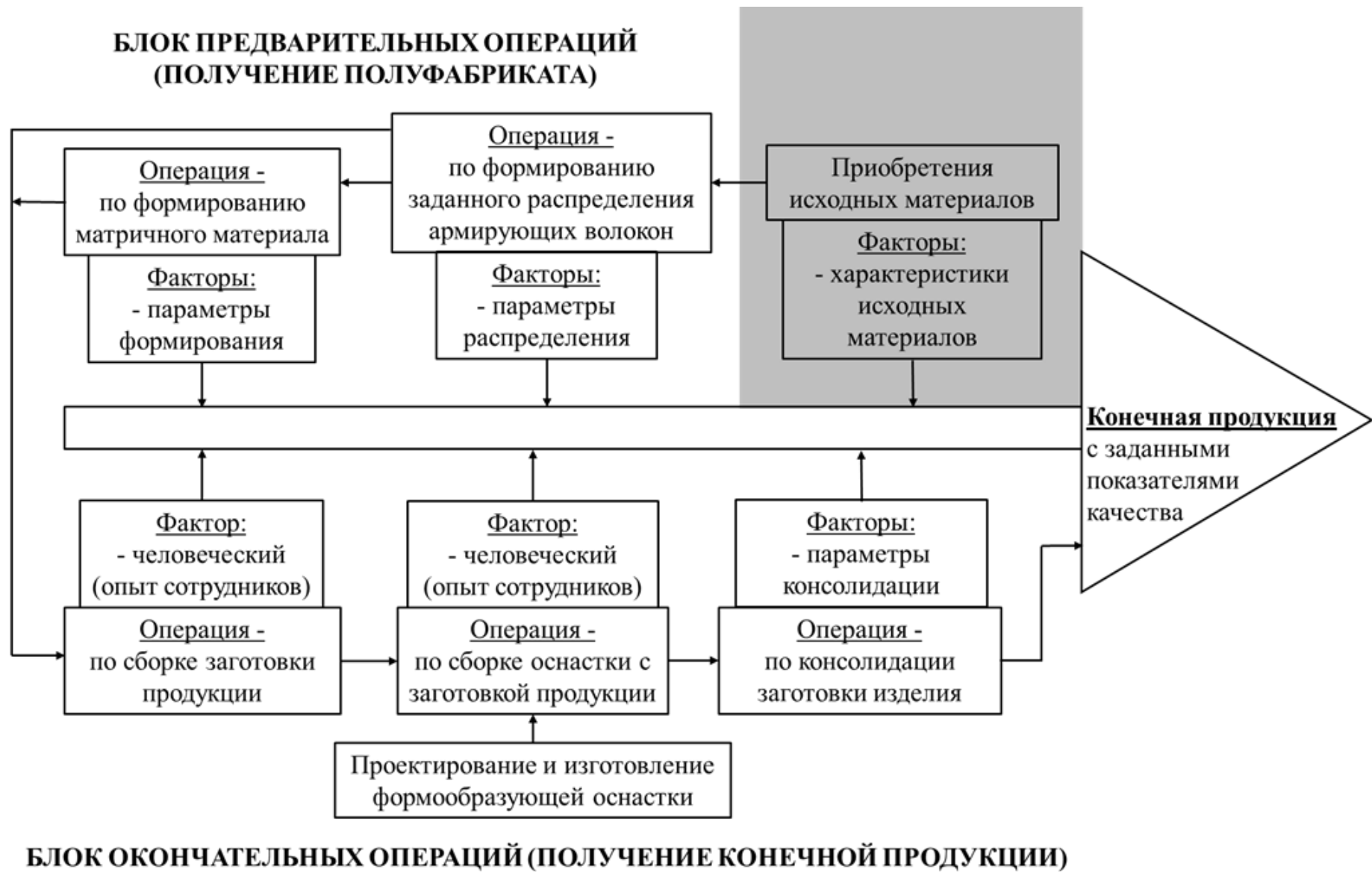


Рисунок 2.2 – Процессно-ориентированная модель производства продукции из волокнистых металлокомпозигов [6, 53,



Технологическая цепочка получения продукции из металлокомпозитов данного класса состоит из двух блоков, последовательно исполняемых технологических процессов:

- блока предварительных операций, содержанием которого является технологический процесс изготовления промежуточных полуфабрикатов в виде элементов упорядоченной структуры металлокомпозита, предназначенных для дальнейшей переработки;

- блока окончательных операций, составляющих процесс получения продукции из металлокомпозита, путём сборки из полуфабрикатов заготовки изделия и ее последующей консолидации.

Каждый из двух блоков состоит из комплекса необходимых технологических операций, обеспечивающих формирование продукции, отвечающей заданным требованиям [79, 94].

На первой стадии производства, соответствующей блоку предварительных операций, приобретаются основные и вспомогательные материалы, исходные характеристики которых являются факторами, воздействующими на показатели качества конечной продукции. При этом ведущую роль играет волокно, которое является основным структурным компонентом и в значительной мере определяет механические свойства металлокомпозита [94].

На первой технологической операции формируется упорядоченное распределение армирующих волокон, параметры которого оказывают воздействие на технико-экономические показатели качества продукции. Причем волокно с зафиксированным упорядоченным распределением может использоваться далее в качестве самостоятельного полуфабриката [94].

Вторая технологическая операция этого блока предназначена для соединения упорядоченных волокон и матричного материала в требуемом соотношении, ее параметры оказывают существенное влияние на такие показатели качества конечной продукции, как прочностные характеристики металлокомпозита. На выходе операции получают полуфабрикат волокно-матрица, который по сути является элементом для формирования структуры металлокомпозита [94].

Полуфабрикаты используются в блоке окончательных операций в качестве исходного материала для сборки заготовки изделия с последующим ее заключением в формообразующую технологическую оснастку.

Необходимым условием осуществления этих операций является предварительное проектирование и изготовление формообразующей оснастки, которая должна обеспечивать реализацию процесса горячего прессования для консолидации заготовки и получения, таким образом, металлокомпозита в виде изделия заданной формы. Можно выделить общие конструктивные особенности и принципы работы оснастки: многослойная заготовка изделия, как правило, размещается в рабочей полости оснастки между жесткой неподвижной формообразующей поверхностью и подвижным элементом, посредством которого в дальнейшем на заготовку подается давление.

Указанные операции сборки заготовки и оснастки практически не поддаются автоматизации, и правильность их исполнения в значительной мере зависит от человеческого фактора (квалификация и опыт исполнителей), который оказывает непосредственное влияние на показатели качества продукции, такие, как размерные и геометрические параметры изделия, схема армирования и др.

Завершающей операцией, которая окончательно формирует металлокомпозит и изделие из него, является консолидация заготовки. Параметры консолидации в значительной степени оказывают влияние на показатели качества в части физико-механических характеристик готовой продукции [94].

Модель предлагается рассматривать как основополагающую для последующего выстраивания на её каркасной основе системы параметров управления технологическими процессами, обосновать поиск зависимостей показателей качества продукции от режимов технологических операций и выстраивать структуру мониторинга производства изделий.

В развитие представленной выше модели, разработана модель для обоснования проведения экспериментов с целью выявления зависимостей качества продукции (композиционного материала) от параметров технологических операций и от свойств исходного материала (Рисунок 2.3).

+ Потеря прочности волокна --- + Автоматизация ---



Рисунок 2.3 – Процессно-ориентированная модель обоснования экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов

Как и в предыдущей процессно-ориентированной модели производства (представленной на рисунке 2.2), модель состоит из двух блоков:

- блок предварительных операций (основные технологические операции по получению промежуточного полуфабриката);
- блок окончательных операций (основные технологические операции для консолидации заготовки из промежуточного полуфабриката в волокнистый металлокомпозит или продукцию на его основе).

За границы модели выходят: операция по приобретению исходных материалов, и изготовленная продукция из металлокомпозита, армированного волокнами. Свойства исходных материалов можно рассматривать, как внешние факторы воздействия на различных стадиях их переработки в продукцию из волокнистого металлокомпозита.

Каждую технологическую операцию необходимо рассматривать как отдельный объект и одновременно единую систему приобретения заданных свойств конечной продукции. При этом, «Процессно-ориентированная модель обоснования экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов» (представленная на рисунке 2.2) отвечает двум основным критериям, которые выражены в виде интенсивности закрашки левой и правой части блоков операций, это:

- «левая сторона блоков операций» – прочность волокна. Поскольку именно волокна создают уникальные свойства матричному материалу и волокнистому металлокомпозиту в целом, поэтому необходимо понимать и контролировать на каких операциях существует вероятность изменения его свойств, в частности по прочности на растяжение. Наиболее интенсивный цвет указывает высокое воздействие на волокна, в части снижения их прочности и продукции в целом.

- «правая сторона блоков операций» – уровень автоматизации или воздействие человеческого фактора. Практически половина операций, по получению продукции, не поддаются автоматизации и могут выполняться только вручную. Наиболее насыщенный цвет показывает высокую степень воздействия человеческого фактора.

Модель предлагается рассматривать как обоснование экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композиционных материалов.

В настоящее время описание технологического процесса существует в виде отдельных технологических документов (для служебного пользования), не дающих возможности комплексно (системно) представить всю технологию изготовления, а значит невозможно выявить:

- связи между технологическими операциями;
- обосновать зависимости показателей качества продукции от параметров технологических операций;
- связи технологических параметров между собой;
- обосновать информационную подсистему и систему управления качеством продукции.

Поэтому, разработанные процессно-ориентированные модели технологии изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов, могут быть приняты как методическая основа для планирования экспериментальных исследований с целью обоснования рациональных режимов технологических операций, которые гарантируют получения продукции требуемого качества.

## **2.2 Разработка иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из волокнистых металлокомпозитов**

Неотъемлемой частью системы управления качеством является разработанная информационная подсистема получения продукции из композиционных материалов, которая имеет иерархическую структуру (Рисунок 2.4) [94, 97, 98].



Рисунок 2.4 – Иерархически организованная информационная подсистема получения продукции из композиционных материалов [94]

Предлагается выделить два уровня иерархической подсистемы: отраслевой и технологический. Каждому уровню подсистемы ставится в соответствие определенный объект, реализующий данную систему показателей [94].

Первый уровень (заказчика) подсистемы отражает требования заказчика, т.е. и реализует принцип приоритета критериев более высокого уровня управления [94].

Второй (технологический) уровень подсистемы, включает в себя функциональные элементы - технологические операции, каждая из которых характеризуется комплексом параметров. При этом же свойства исходных материалов, на каждом этапе технологического процесса, связаны функциональными зависимостями с параметрами технологических операций [94].

Особенность иерархической организации любой системы заключается в том, что при движении к верхнему уровню по иерархии, моделируемый/проектируемый объект не просто отождествляется совокупностью соответствующих функциональных элементов уровнем ниже, а приобретает для себя принципиально новые качественные и/или количественные свойства, отсутствующие на нижнем уровне, при этом реализуя принцип целостности подсистемы [94, 99].

В основу синтеза иерархии положен принцип агрегирования более простых показателей качества в состав более сложных. Это формально представляется как иерархическая сеть характеристик, которые в дальнейшем определяются элементарными методами, что позволит синтезировать совокупность

многоуровневых показателей, адекватно представляющих качество конкретного объекта исследования [100].

В следующих подпунктах 2.2.1 и 2.2.2 будут более подробно раскрыты отраслевой и технологический уровни соответственно, иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из композиционных материалов.

### **2.2.1 Разработка структуры показателей качества продукции из конструкционного металлокомпозита, армированного волокнами**

Первый уровень заказчика (иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из композиционных материалов) включает в себя показатели качества продукции, тем самым отражает требования к объекту разработки.

В настоящее время в отношениях «потребитель – поставщик/изготовитель» все больше приобретает значимость потребитель, который и задаёт постоянно меняющиеся требования к свойствам продукции. Как правило, продукция оценивается через показатели качества, которые отражаются в нормативной и технической документации, по итогу формализуя отношения между потребителем и поставщиком/изготовителем [101, 102].

В соответствии с ГОСТ Р 56518-2015 [45], требования заказчика (потребителя) – набор критериев, формализующих цели в виде показателей качества продукции, где в роли заказчика выступает государственный орган или организация, которые совместно с государственным заказчиком осуществляют заказы в той части, которая является их интересом, участвуют в выдаче технических заданий (исходные данные) на создание продукции или составных частей, и(или) выполнение процессов (услуг) [45]. Для производства продукции из волокнистых металлокомпозитов заказчиком в основном выступают предприятия ракетно-космической отрасли.

На первом этапе, разработки структуры показателей качества продукции из волокнистых металлокомпозитов, сформулированы укрупнённые основные свойства продукции из композиционных материалов, которые представлены на рисунке 2.5.

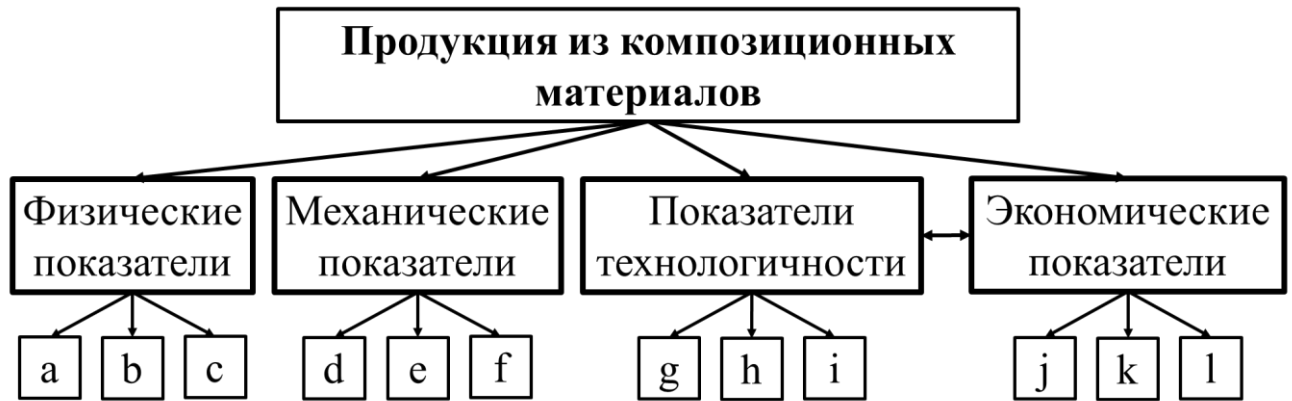


Рисунок 2.5 – Основные показатели качества продукции из композиционных материалов

К основным показателям качества продукции из композитов можно отнести: физико-механические, экономические и сопряжённые с ними показатели технологичности. Представленные свойства являются обобщёнными и требуют расширения и уточнения применительно к волокнистым металлокомпозиатам.

Основными критериями выбора показателей качества для продукции из металлокомпозита, армированного волокнами, являются учёт специфики условий эксплуатации изделий в несущих конструкциях, технологические особенности производства, а также необходимость экономического эффекта для потребителя.

Заслуживает внимания ГОСТ 4.200-78 [82] «Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения». В стандарте качество продукции характеризуется совокупностью критериев: техническим уровнем; стабильностью показателей качества; экономической эффективностью; конкурентоспособностью на внешнем рынке. Номенклатура показателей качества продукции по критериям приведена в таблице 2.2.



Таблица 2.2 – Критерии показателей качества [82]

Наименование критерия и основного вида показателя качества	Условное обозначение показателя качества	Основной показатель качества
1. Технический уровень 1.1. Показатели назначения	Н <sub>з</sub>	Прочность, жесткость, трещиностойкость, огнестойкость, сейсмостойкость, морозостойкость, влагостойкость, стойкость к воздействию солнечной радиации, теплоизоляция, звукоизоляция, светопропускание
1.2. Показатели конструктивности	Н <sub>к</sub>	Геометрические размеры, форма, состав, структура
1.3. Показатели надежности (долговечность, сохраняемость)	Н	Вероятность возникновения отказов (в том числе разрушений, потери свойств), стойкость к коррозии, срок службы, время и условия хранения
1.4. Показатели ремонтпригодности (восстанавливаемости)	Р <sub>п</sub>	Продолжительность, трудоемкость и стоимость восстановления при отказах
1.5. Показатели технологичности	Т <sub>х</sub>	Трудоемкость изготовления, материалоемкость, энергоемкость, степень механизации и автоматизации
1.6. Показатели транспортабельности	Т <sub>р</sub>	Масса, габариты, материалоемкость и трудоемкость упаковки, возможность контейнеризации
1.7. Показатели совместимости	С <sub>с</sub>	Взаимная увязка размеров, допусков, видов стыков; согласованность сроков службы
1.8. Эргономические показатели	Э <sub>р</sub>	Температурный режим; уровень токсичности, запыленности, вибрации; удобство пользования продукцией
1.9. Эстетические показатели	Э <sub>с</sub>	Художественная выразительность, внешний вид, качество поверхностей

Наименование критерия и основного вида показателя качества	Условное обозначение показателя качества	Основной показатель качества
2. Стабильность показателей качества		
2.1. Показатели однородности	С <sub>о</sub>	Отклонение количественных значений свойств продукции от номинальных, коэффициент вариации основных свойств
2.2. Показатели соблюдения стандартов, ТУ, строительных норм и правил, проектов	С <sub>п</sub>	Показатели соблюдения стандартов, ТУ, строительных норм и правил, проектной документации; процент брака, количество рекламаций
3. Экономическая эффективность		
3.1. Экономические показатели	Э <sub>к</sub>	Удельные капитальные вложения, себестоимость, рентабельность, годовой экономический эффект, получаемый в народном хозяйстве
4. Конкурентоспособность на внешнем рынке		Показатели патентной защиты и патентной чистоты, наличие экспорта продукции
4.1. Патентно-правовые показатели	П <sub>п</sub>	

Из представленных критериев показателей качества на строительную продукцию можно выделить критерии, наиболее коррелирующие с требованиями заказчика для композиционных материалов, которые в дальнейшем могут быть включены в систему показателей свойств продукции: прочность на растяжение/сжатие «Н<sub>з</sub>»; себестоимость «Э<sub>к</sub>»; трудоёмкость изготовления (трудозатраты) «Т<sub>х</sub>» ГОСТ 3.1118-82 [103]; возникновение отказов «Н»; геометрические размеры «Н<sub>к</sub>».

Проведённые исследования, в том числе анализ источников [8, 80-87, 90, 104-107 и др.] позволил разработать систему показателей качества продукции из волокнистых металлокомполитов (Рисунок 2.6).

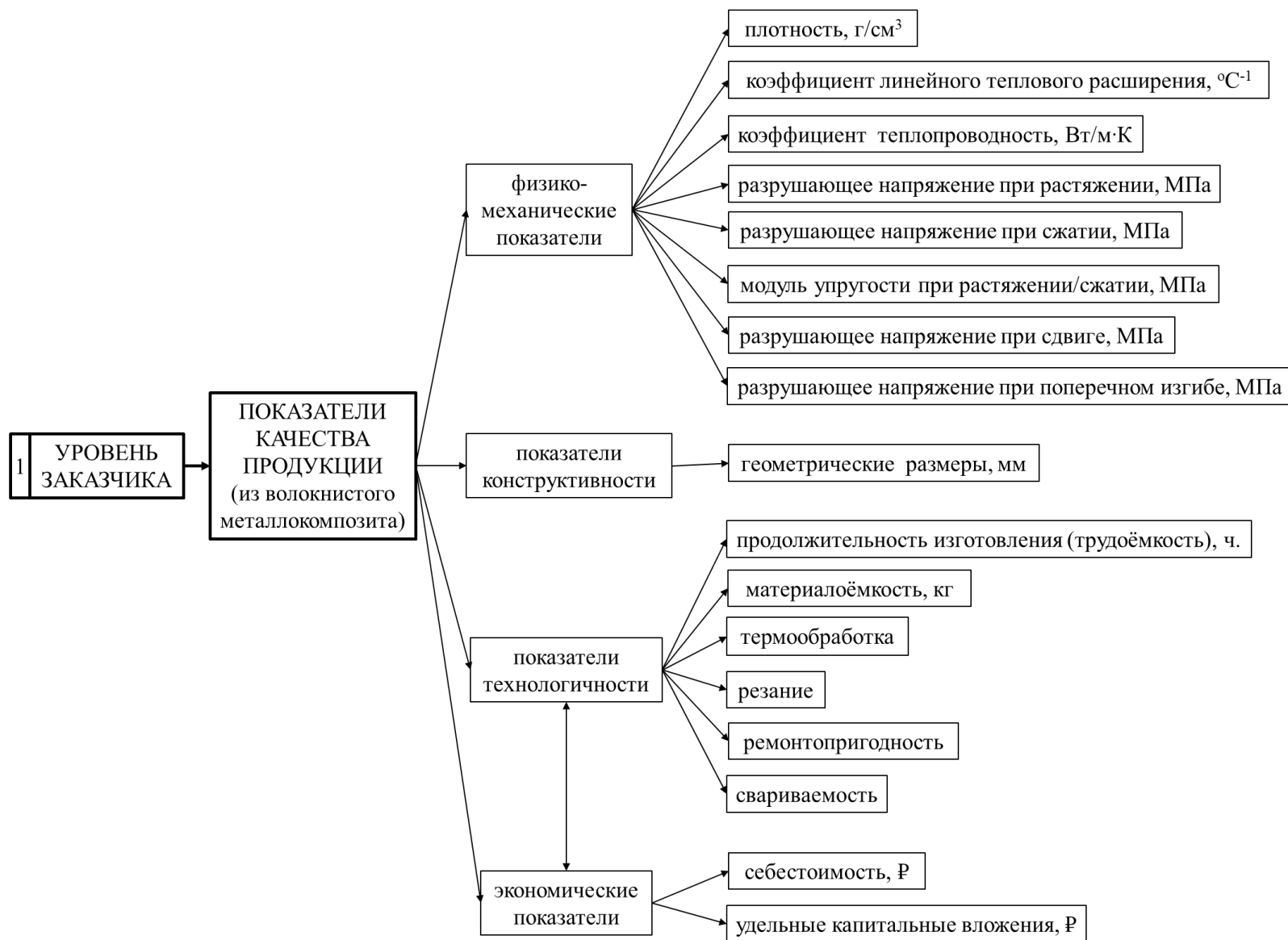


Рисунок 2.6 – Структура показателей качества продукции из конструкционного металлокомпозиата, армированного ВОЛОКНАМИ

Перечисленные показатели качества следует рассматривать как необходимые критерии для оценки полученных результатов формирования продукции. Они служат источником информации о конечном объекте управления для получения обратной связи с системой управления и, в зависимости от требований заказчика, могут варьироваться.

### **2.2.2 Разработка комплекса параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов**

Второй уровень информационной подсистемы (технологический) соответствует конкретному предприятию, производящему продукцию из композиционных материалов, и включает комплекс показателей качества исходных материалов и параметры технологических операций [94].

Для получения волокнистых металлокомпозитов предлагается выделить три основные группы исходных материалов и их показатели качества, влияющие на свойства конечной продукции [79, 94]:

- армирующие волокна (прочность на растяжение, модуль упругости, диаметр и др.);
- матричный материал (соответствие марки сплава, химический состав, состояние поставки и др.);
- вспомогательные материалы (геометрические размеры, отсутствие поверхностных дефектов и др.)

В составе технологической цепочки присутствует, также используемый как материал, волокнистый металлический полуфабрикат, который не является исходным сырьём, а представляет собой промежуточную продукцию межтехнологического процесса, его показатели качества: габаритные размеры, прочность на растяжение армирующих волокон, извлеченных из полуфабриката и др. [79].

В соответствии с разработанной процессно-ориентированной моделью производства волокнистых металлокомпозитов по наиболее типичной устоявшейся схеме выделены основные группы параметров производства продукции для контроля режимов всех основных технологических операций [79]:

- формирование заданного распределения армирующих волокон;
- формирование матричного материала;
- сборка заготовки продукции с различными видами оснастки;
- консолидация заготовки изделия.

Выделенные показатели качества исходных материалов и параметры технологических операций производственного процесса получения продукции из волокнистых металлокомпозитов введены, как составные элементы, в структуру второго технологического уровня иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из композиционных материалов (Рисунок 2.7).

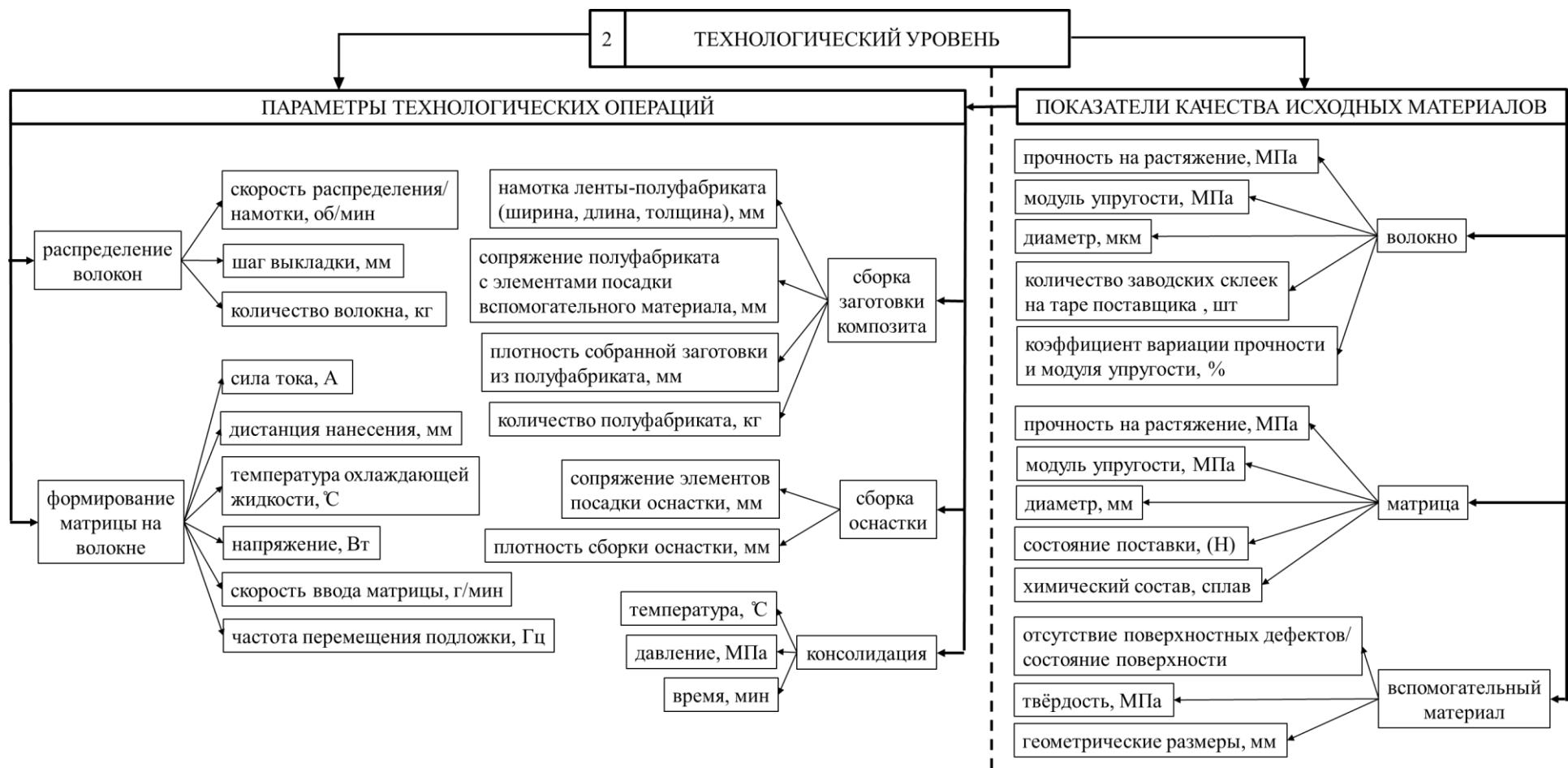


Рисунок 2.7 – Комплекс параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов

Комплекс параметров технологических операций необходим для обоснования управляющих воздействий, а показатели качества исходных материалов служат для обеспечения входного контроля их свойств.

Иерархически организованная информационная подсистема, разработанная применительно к получению продукции из композиционных материалов, позволит обосновать и рационализировать производство волокнистых металлокомпозитов с учетом требований заказчика и технологических возможностей на различных иерархических уровнях подсистемы, начиная с каждой технологической операции и до получения конечной продукции [99].

## **Выводы по главе 2**

Исследование процесса получения продукции из волокнистых металлокомпозитов на методической основе процессного и системного подходов позволило получить следующие результаты:

1. Разработаны процессно-ориентированные модели, объединяющие в себе основанные принципы системного и процессного подходов, а также причинно–следственную диаграмму Исикавы. Одна – процессно-ориентированная модель производства волокнистых металлокомпозитов, позволяющая определить предварительные и окончательные операции и последовательность их выполнения. В отличие от существующих моделей получения продукции модель является основополагающей для последующего выстраивания на её каркасной основе системы параметров управления технологическими процессами, что позволяет обосновать поиск зависимостей показателей качества продукции от режимов технологических операций и выстроить структуру мониторинга производства изделий. В развитие представленной выше модели разработана – процессно-ориентированная модель обоснования экспериментальных исследований процесса изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов с целью

обоснования рациональных параметров технологических операций, что гарантирует получение продукции требуемого качества.

2. Разработана иерархически организованная информационная подсистема получения продукции из композиционных материалов позволяющая реализовать принцип приоритета требований заказчика и дающая возможность определять пределы/диапазоны и ограничения при обосновании рациональных параметров технологических операций. Её структура состоит из двух уровней: потребителя/заказчика и технологического, каждому из которых соответствует определенный объект. Разработаны и обоснованы для первого уровня – структура показателей качества продукции из конструкционного металлокомпозиата, армированного волокнами, которая необходима для оценки полученных результатов формирования продукции, а также служит источником информации о конечном объекте управления. Для второго уровня – комплекс параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов, необходимых для обоснования управляющих воздействий и обеспечения входного контроля свойств исходного сырья.



## ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ

### 3.1 Разработка концептуальной модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозиата

При разработке концептуальной модели управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозиата принимались во внимание основные достижения и современные тенденции в области управления качеством.

В основе современных систем управления качеством, в том числе в организациях Госкорпорации «Роскосмос», лежат основные принципы, в том числе «Системный подход к управлению». Управление взаимосвязанными процессами как системой способствует результативности и эффективности достижения поставленных целей, интегрированию процессов создания, производства и эксплуатации продукции, выполнению работ с оценкой соответствия продукции, потребностям заказчика [86].

Действующим принципом является также принцип «Постоянное улучшение», который следует рассматривать как неизменную цель деятельности. Под улучшением имеются в виду действия, предпринимаемые для улучшения характеристик продукции, улучшения эффективности процессов, используемых при создании (разработке, изготовлении, испытаниях) и применении (эксплуатации) продукции, выполнении работ [86].

Включение в систему менеджмента качества организаций циклических процессов (по принципу «гироскопа – в виде игрушки «волчок») обеспечения взаимодействия производителя продукции и её потребителей именно на стадии производства продукции позволяет более результативно реализовать принцип постоянного улучшения деятельности организации, как неизменную цель системы [71, 108].

Объектами управления могут быть показатели качества продукции. Воздействующие факторы, воздействующие условия, оказывают влияние на

уровни, а также условия формирования качества изделий на различных стадиях жизненного цикла продукции.

Управление жизненным циклом (life cycle management) – это часть деятельности в области разработки, производства, обеспечения эксплуатации, ремонта и утилизации, связанная с обеспечением заданных требований на основе поэтапного планирования и контроля соответствия заданным требованиям на стадиях разработки, производства и эксплуатации, а также поддержанием такого соответствия требованиям на стадии эксплуатации путем управляемого воздействия на конструкцию образцов, производственную среду и систему технической эксплуатации [109].

Для адекватной работы систем управления качеством необходимо использовать современные подходы менеджмента на базе ИСО 9000:2000, в том числе обеспечивать точность сбора и анализ, надежность хранения, доступность новых изменений информации по всем основным процессами при помощи эффективных методик [110-117]. Если же при подготовке информационного сопровождения процессов допущена значительная ошибка или упущение, то действие по устранению несоответствий будет успешным, в том случае, если для планирования результативных корректирующих мероприятий вначале будет определён тот этап процесса и те конкретные процедуры, где несоответствие было допущено, устраняя причины его появления, с обязательной регистрацией изменений в используемой документации. Один из вариантов такого представления управления информацией изложен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общая схема прохождения информации для управления циклом проекта и поиска вариантов улучшений [118]

Мониторинг изменений в нормативной базе организации предлагается использовать как один из инструментов анализа системы менеджмента качества [119].

Реализация видов управления качеством поверхности горячекатаной ленты, в металлургической промышленности в источниках [120-122] описано, как проведение исследований в части разработки моделей и методик по оценке воздействия параметров технологических операций (в том числе на основе фрактальных множеств), оказывающих наибольшее влияние на формирование заданных свойств по шероховатости горячекатаной ленты. Подобный подход может быть использован при разработке элементов системы управления качеством композиционных материалов выделенного класса. Подход даёт возможность в процессах, реализующих многостадийный характер (например, с предварительным изготовлением полуфабриката) определить рациональный и эффективный, метод технологии, в части определения показателей качества изделия (лаконично описать весь ряд числовых характеристики, границ ряда и количество его членов). А также даёт возможность существенно сократить трудозатраты на анализ степени воздействия многочисленных факторов на различные технологические параметры, функционально связанные с показателями качества продукции. Данный подход

можно использовать и как инструмент, позволяющий контролировать изменчивости свойств на различных стадиях производства.

Концептуальные положения и критерии оценки эффективности систем управления качеством продукции, представленные в нормативных документах и научных работах [25-28, 30, 31, 33-35, 41-44, 53, 123] предлагается использовать, как методическую основу для оценки и разработки системы управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов. Основные принципы управления качеством продукции формулируются, как процессы, протекающие при получении и эксплуатации или использование продукции, с целью воспроизводства и поддержки требуемого уровня ее свойств. Природа всевозможного управления заключается в обосновании управляющих воздействий и последующим их воплощении в действия над объектом управления. Объектами управления, за частую, являются процессы, имеющие в разной степени зависимость от качества продукции, находящиеся в интервале жизненного цикла изделия производство. Регламентирующая документация для определения значений параметров или показателей свойств продукции, является: технические задания на изготовление, Государственные Межгосударственные и отраслевые стандарты, технические условия, конструкторская документация, условия договоров на поставку продукции и услуг и т.п.), технологические инструкции и процессы, устанавливающие требования к процессам получения и эксплуатации.

Система управления качеством продукции, по определениям приведённых выше нормативных документов и научных работ, представляет собой комплекс распорядительных исполнителей и объектов управления, взаимодействующих по средствам технико-информационных данных при управлении качеством продукции. Она должна охватывает массивы (потoki) информации о процессах получения продукции или услуг. Требуется рассматривать систему управления качеством продукции или услуг как неотъемлемую часть организации, а не локальную часть регулирования компанией.

В обобщение представленных выше принципов управления качеством продукции и с учётом специфики получения композиционных материалов адаптирована классическая блок-схема Wiener, N. [30, 50, 51] (Рисунок 3.2).

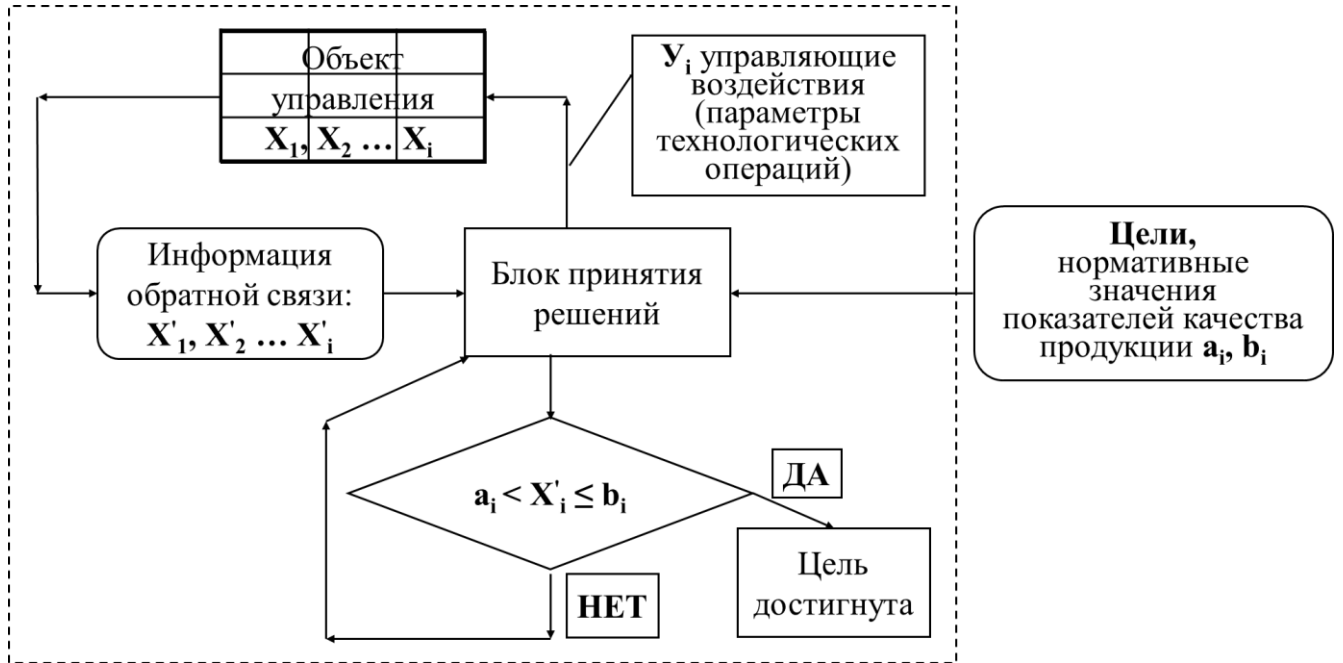


Рисунок 3.2 – Модель управления

Особенностью изложенной классической модели управления, является – многосоставный объект управления. Его многосоставность обусловлена особенностью продукции из композиционных материалов. Конечная (завершённая) продукция из композита, формируется в результате последовательно исполняемых операций с добавлением новых или повторяющихся/чередующихся исходных материалов.

В развитие «многосоставного объекта управления (для продукции из композиционных материалов)» разработана блок-схемы управления качеством продукции, разбивающая многосоставный объект управления на отдельно взятые объекты (Рисунок 3.3).

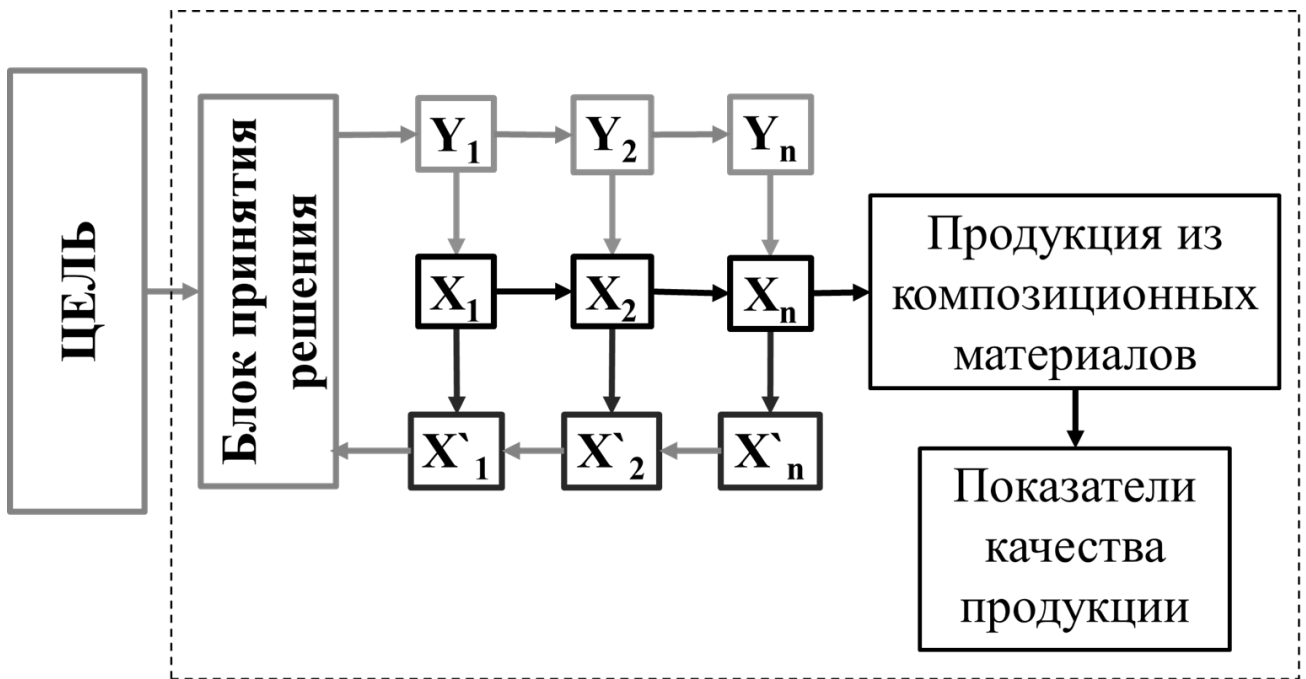


Рисунок 3.3 – Блок-схема управления качеством продукции из композиционных материалов

В качестве основы взяты положения теории управления, в частности, классическая модель управления, реализующая два основных методологических подхода – системный и процессный, рассматривая каждый «объект управления» как целостную систему и, одновременно, как функциональный элемент для учета обратных связей с каждым объектом управления.

Любой процесс должен начинаться с постановки преследуемой цели, имеющей качественные или количественные критерии. Представленная блок-схема управления, не является исключением и начинается с постановки преследуемой цели. Система управления принимает решения (блок принятия решений) для достижения поставленной цели, путём целенаправленного управляющего воздействия ( $Y$ ) изменяя объект управления ( $X$ ), через параметры технологических операций, в объект управления ( $X'$ ). Информацией обратной связи с объекта ( $X'$ ), являются полученные значения контрольных операций, которые попадают в блок (принятия решений), где и генерируются дальнейшие решения по объектам управления, в том числе проведение необходимых экспериментов. На каждом этапе объект приобретает те или иные свойства,

значения которых зависят от управляющих воздействий. В конечном итоге формируется многосоставный объект, соответствующий критериям заказчика, которые являются иерархически высшей целью. Разработанная блок-схема управления качеством продукции из композиционных материалов подходит своей функциональностью, как к классу волокнистых металлокомпозитов, так и к композитам в целом, основываясь на многосоставности материала продукции.

Корректное определение границ блок-схемы управления качеством и состава ее элементов на каждом уровне (иерархического соответствия) заслуживает существенного внимания при формализации входов и выходов информационных потоков процесса управления системой [47, 99].

На следующем этапе исследования, развивая теоретические положения управления качеством, и с учётом полученных блок-схем (моделей) управления, разработана модель управления качеством для продукции из металлокомпозита, армированного высокопрочными волокнами (Рисунок 3.4).

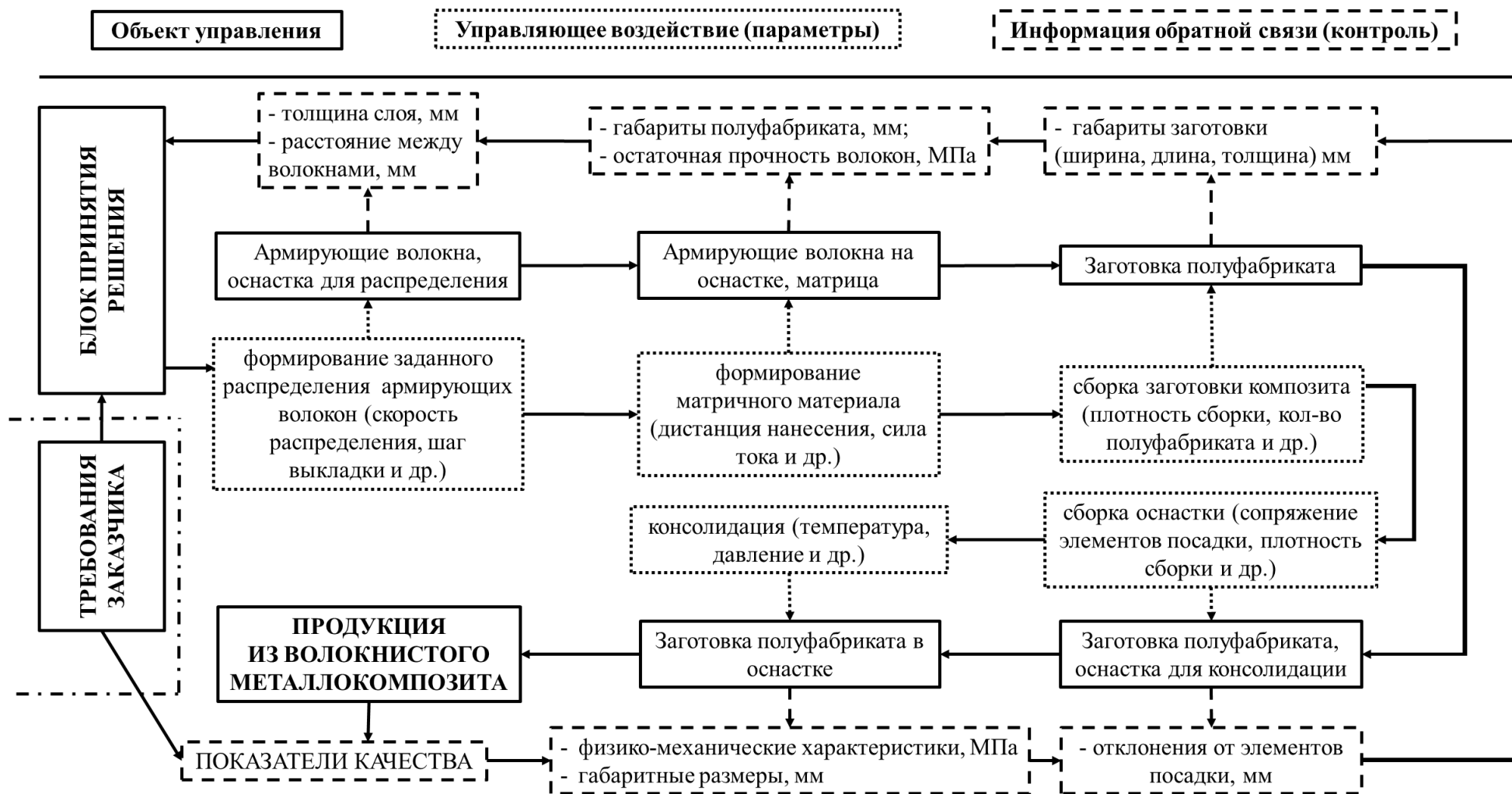


Рисунок 3.4 – Концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозиата [94]



Целью построения концептуальной модели, является обоснование ее основных подсистем управления, определение состава основных ее элементов, задание границ и среды системы [99, 101]. В среде системы управления, но за её границами, находятся требования заказчика и исходные материалы до попадания их в процесс получения продукции.

Объект управления предлагается представить, как совокупность элементов, полученных в результате проведения каждой технологической операции. Каждый элемент характеризуется рядом параметров  $X_1, X_2 \dots X_i$  [94].

Концептуальная модель состоит из основных блоков, каждый из которых представляет собой набор соответствующих ему функциональных элементов [94]:

объект управления – продукция из волокнистого металлокомпозита, являющаяся совокупностью элементов (армирующие волокна, матричный материал, полуфабрикат и др.);

блок принятия решений, где обосновывается, в том числе экспериментально, комплекс управляющих воздействий;

управляющие воздействия – параметры технологических операций (температура, давление, время и др.);

информация обратных связей – данные, полученные в процессе мониторинга или межоперационного контроля, о продукции из волокнистого металлокомпозита или его элементов, изменяемых или приобретаемых новые характеристики (габаритные размеры, шаг выкладки, физико-механические свойства и др.).

Движение элементов объекта управления по технологическим операциям сопровождается двумя обязательными процессами: управляющих воздействий и снятия информации об изменении свойств элементов объекта управления. При этом, если информация обратной связи входит в диапазон нормативных значений (технологической и/или технической документации), то элементы объекта управления продолжают движение по технологическим процессам. Если нет, то элементы объекта управления возвращаются на предыдущие операции для корректировки свойств путём повторного управляющего воздействия, либо отбраковки. Таким образом, после последовательных управляющих воздействий

формируется волокнистый металлокомпозит, который характеризуется количественными показателями качества и должен соответствовать требованиям заказчика [94].

Показатели качества продукции необходимы для оценки полученных результатов формирования изделия и служат источником информации о конечном объекте управления для получения обратной связи с блоком принятия решений. Процедура соответствия качества продукции требованиям потребителя (заказчика) определяется следующей формулой

$$a_i < X'_i \leq b_i, \quad (3.1)$$

где  $X'_i$  –  $i$ -й показатель качества продукции из волокнистого металлокомпозита,  $a_i$  и  $b_i$  конечные значения допустимого интервала варьирования численного значения данного показателя [94].

Разработанная концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита позволяет обосновывать рациональные управляющие воздействия и на основе информации обратной связи выстраивать структуру мониторинга производства изделий [94].

### **3.2 Разработка экспресс-методики оценки качества прочности армирующих волокон по радиусугиба**

Составной частью работы стала разработка экспресс-методики оценки прочностных свойств на растяжение армирующих моноволокон по радиусугиба для осуществления необходимого контроля прочности волокна в процессе его переработки [12].

Необходимость разработки экспресс-методики обусловлена тем, что уникальные прочностные свойства металлокомпозита обеспечиваются за счёт высокопрочных армирующих волокон. Поэтому возможность оперативного межоперационного контроля, где на волокно оказывается то или иное воздействие,

является одной из первоочередных локальных задач при производстве волокнистых металлокомпозитов, в части управления качеством продукции.

Теоретическим обоснованием для проведения оценки прочности на растяжение армирующего волокна по радиусугиба является, в частности, известное правило Вейбула [125] для хрупких материалов, согласно которому между значениями прочности при изгибе и растяжении существует пропорциональная зависимость [12, 126].

Изготовлена металлическая 10-и ступенчатая пирамидка (Рисунок 3.5) с диаметрами ступеней от 5 мм до 70 мм. Показано, что для получения достоверного значения радиусагиба необходимо испытать до разрушения 30 образцов.

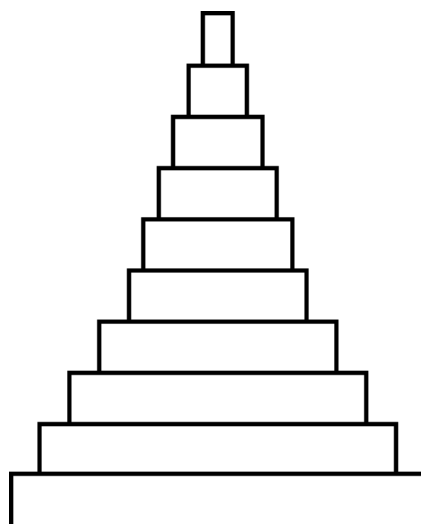


Рисунок 3.5 – Специализированная пирамидка

Установлена корреляция (Рисунок 3.6) между величиной среднего радиусагиба волокна и значением его прочности при растяжении, полученным при прямом нагружении волокна на испытательной машине Instron 5942 (проведено порядка 600 параллельных испытаний) [12, 126].

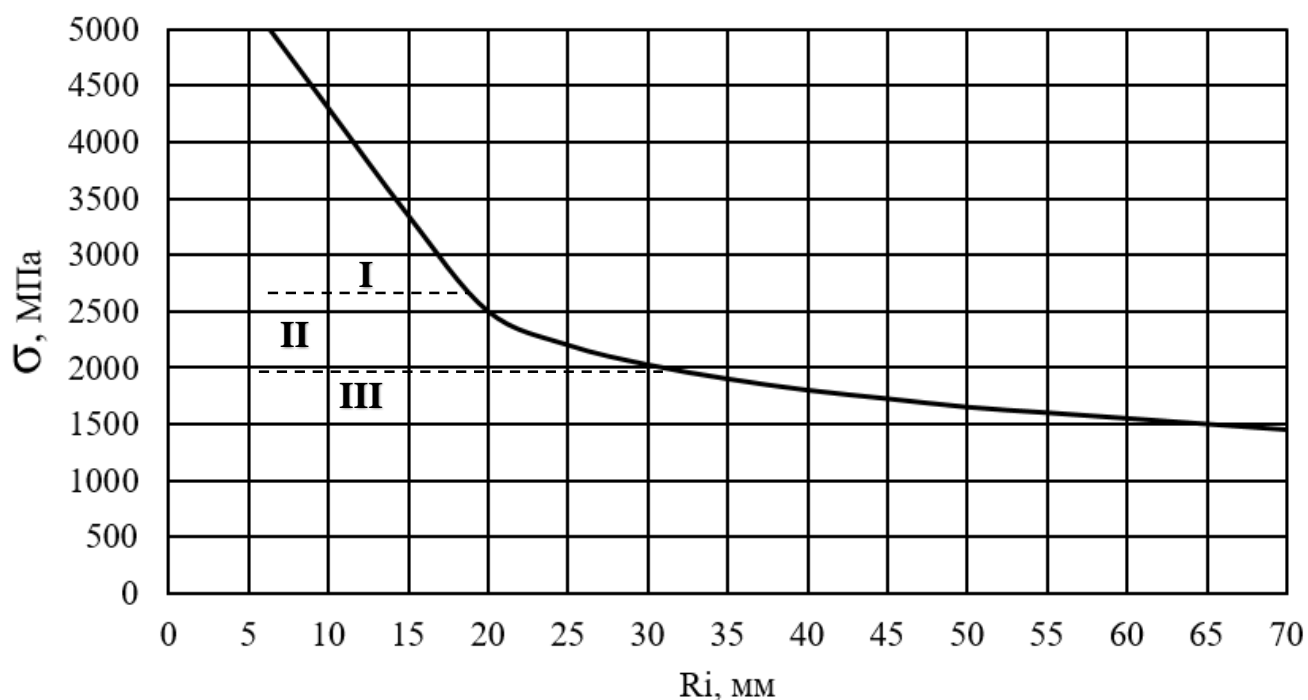


Рисунок 3.6 – Градуировочный график

На основании проведенных исследований был построен градуировочный график для определения значений прочности волокна по радиусугиба. График состоит из двух практически линейных участков с разными углами наклона, плавно соединенных между собой (I и III) [12].

Такой вид градуировочной кривой связан с характером дефектов, вызывающих разрушение армирующих волокна под действием растягивающих напряжений при изгибе. Известно [127], что разрушение высокопрочного армирующего волокна, как хрупкого материала, определяется наличием внутренних и поверхностных дефектов структуры [12].

Низкопрочному волокну (прочность менее 2000 МПа) соответствует линейный участок с малым углом наклона. Как правило, армирующее волокно с низкой прочностью помимо внутренних дефектов характеризуется наличием значительного числа поверхностных дефектов в виде структурных несовершенств (зерен аномальной величины и формы), включений и др., которые являются концентраторами напряжений и приводят к преждевременному разрушению волокна при относительно низком уровне напряжений [12].

Прочное армирующее волокно (прочность более 2500МПа), которому соответствует второй линейный участок, имеет более совершенную структуру поверхности, и его разрушение в основном происходит по внутренним дефектам при более высоком уровне растягивающих напряжений [12].

Промежуточный криволинейный участок градуировочного графика, относится к смешанному типу разрушения [12].

Методика проста в исполнении, не требует применения специального испытательного оборудования и позволяет провести оценку прочностных свойств армирующих моноволокон непосредственно в производственных условиях [12, 126]. Также она не предусматривает трудоёмких испытаний, как при прямом нагружении волокна на разрывной машине, с предварительным клеиванием и сушкой образцов в специализированных рамках.

Экспресс-методика позволяет сократить время определения средней прочности волокон в сравнении с прямым нагружением волокна на разрывной машине с 3 часов до 10 минут и обеспечивает достаточную точность измерений. Разработанную экспресс-методику рекомендуется применять при допуске коэффициента вариации полученных значений средней прочности волокна до 10%.

Разработанная методика включена в Приложение 1 к ТУ 2112-065-00209013-2009 Нити борные. Технические условия [128, Приложение 2] и Приложение А.2 к ТУ 1798-523-56897835-2011 Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор». Технические условия [129, Приложение 3], а также применялась при проведение экспериментальных исследований.

### Выводы по главе 3

Исследование теоретических основ управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов, позволило получить следующие результаты:

1. Разработана концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита, позволяющая обосновывать рациональные управляющие воздействия и на основе информации обратной связи выстраивать структуру мониторинга производства изделий. С учётом функциональных особенностей модель можно отнести ко всему классу волокнистых металлокомпозитов, основываясь на многосоставности материала продукции. Целью построения концептуальной модели, является обоснование ее основных подсистем управления, определение состава основных ее элементов, задание границ и среды системы. Элементами среды системы (т.е. за границами системы) являются требования заказчика и исходные материалы до попадания их в процесс получения продукции.

2. Составной частью работы разработана экспресс-методика оценки прочностных свойств на растяжение армирующих моно-волокон по радиусугиба, которая позволяет осуществлять контроль прочности волокна в процессе его переработки. Методика обеспечивает возможность оперативного входного и межоперационного контролей, что является одной из первоочередных локальных задач при производстве волокнистых металлокомпозитов, в части управления качеством продукции. Теоретическим обоснованием для проведения оценки прочности на растяжение армирующего волокна по радиусугиба является, в частности, известное правило для хрупких материалов, согласно которому между значениями прочности при изгибе и растяжении существует пропорциональная зависимость.

## ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПОЛУЧЕНИЯ БОРАЛЮМИНИЕВЫХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Волокнистый металлокомпозит – боралюминий нашёл наилучшее применение в виде трубчатых элементов, работающих в осевом направлении, которые применяются в высоконагруженных несущих конструкциях штатных космических аппаратов, что позволяет снизить вес конструкций на 20-40% по сравнению с алюминиевыми и титановыми сплавами (Рисунок 4.1).

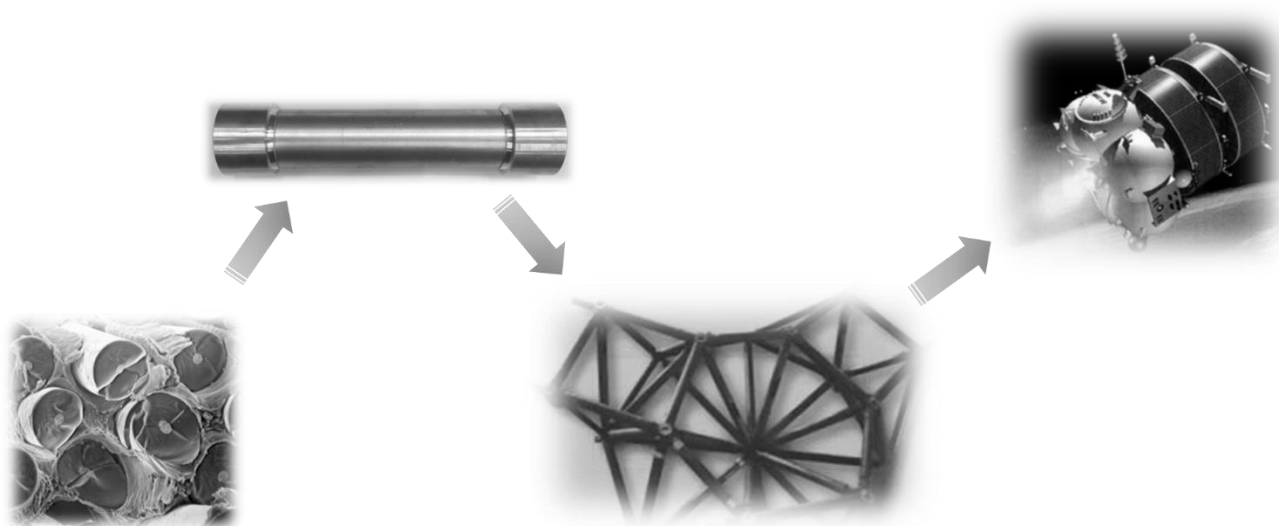


Рисунок 4.1 – Внешний вид продукции из боралюминия на различных стадиях  
жизненного цикла изделия

Опытно-промышленное производство боралюминиевых трубчатых элементов разработано и организовано в АО «Композит». Данный вид продукции полностью соответствует ряду критериев рассматриваемого класса изделий из волокнистого металлокомпозита. Материал боралюминиевых трубчатых элементов представляет собой алюминиевую матрицу, армированную в осевом направлении высокопрочными борными моноволокнами.

#### **4.1 Применение разработанных элементов управления качеством продукции на примере получения боралюминиевых трубчатых элементов**

Производство боралюминиевых трубчатых элементов имеет устойчивый характер, однако комплексного подхода к определению и обоснованию параметров управляющих воздействий не проводилось (например, не учитывались технологически-экономические показатели качества продукции при отработке режимов получения волокнистого полуфабриката и т.п.).

Поэтому, для боралюминиевых трубчатых элементов конкретизированы две процессно-ориентированные модели: модель производства волокнистых металлокомпозитов и модель экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов. Модели должны позволить разделить объект исследования (управление качеством процесса получения боралюминиевых трубчатых элементов) на составные элементы управления, выявить особенности процесса получения, факторы, влияющие на показатели качества боралюминиевых трубчатых элементов, обосновать поиск зависимостей показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов от параметров технологических операций, выстроить структуру мониторинга их производства и обосновать план первостепенных экспериментальных исследований с целью определения рациональных параметров технологических операций [15], которые гарантируют получение боралюминиевых трубчатых элементов требуемого качества (Рисунки 4.2 и 4.3).



**БЛОК ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ  
(ПОЛУЧЕНИЕ БОРАЛЮМИНИЕВОЙ ЛЕНТЫ-ПОЛУФАБРИКАТА)**



Рисунок 4.2 – Процессно-ориентированная модель производства боралюминиевых трубчатых элементов

+ Потеря прочности борного волокна --- + Автоматизация ---



Рисунок 4.3 – Процессно-ориентированная модель обоснования экспериментальных исследований по процессу изготовления боралюминиевых трубчатых элементов

На основании уточнённых процессно-ориентированных моделей производства волокнистых металлокомпозитов и экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов, сформированы следующие принципы получения и управления качеством боралюминиевых трубчатых элементов:

- процесс (объект) управления качеством получения боралюминиевых трубчатых элементов представляет собой многосоставную систему управления из шести основных процессов (объектов): приобретения материалов, намотки волокна, плазменного напыления алюминия, двух сборочных технологических операций и горячего прессования заготовки;

- факторами, влияющими на показатели качества боралюминиевых трубчатых элементов, являются: характеристики исходных материалов, параметры технологических операций и человеческий фактор на операциях ручных сборок заготовки и оснастки. Поиск зависимостей необходимо провести именно между этими перечисленными элементами процессно-ориентированных моделей;

- структура мониторинга должна содержать особые точки контроля после проведения технологических операций, которые находятся в интенсивной зоне модели экспериментов: приобретение материалов, плазменное напыление, и горячее прессование. Процессы на этих же операциях должны быть включены в план первостепенных экспериментальных исследований.

Разработанные и уточнённые модели, в некотором роде можно считать типовыми, так как существует возможность переложить их структуру на продукцию из волокнистых композиционных материалов, к примеру, на основе матричного материала алюминия или титана с применением армирующих волокон карбида кремния или углерода [79, 106, 130].

Опираясь на принципы разработанной двухуровневой иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из композиционных материалов (глава II, рисунок 2.3), определяем элементы каждого уровня подсистемы.

Первый уровень (заказчика) подсистемы отражает требования заказчика. В основном характеристики боралюминиевых трубчатых элементов задаются действующими ТУ 92-932-1-140-94 [23, 131, Приложение 4] и ТУ 92-932-1-187-2007 [132, Приложение 5], а выдержки из них представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные показатели качества боралюминиевых трубчатых элементов

№	Наименование показателей	Характеристики
1	Испытания на растяжение, т.с.	<u>От 15 до 36.</u> Продукция должна выдерживать заданное в чертеже усилие на растяжение без разрушения и образования трещин при осевом нагружении
2	Испытания на сжатие, т.с.	<u>От 15 до 36.</u> Продукция должна выдерживать заданное в чертеже усилие на сжатие без разрушения и образования трещин при осевом нагружении
2.1	Замер упругих перемещений при сжатии, мм	<u>От 0,01 до 0,90.</u> Упругое изменение длины при сжатии, в заданных значениях
3	Габаритные размеры, мм	Выдержка габаритных размеров в соответствии с конструкторской документацией

Структурный вид всех свойств боралюминиевых трубчатых элементов на различных этапах жизненного цикла изделия представлен на рисунке 4.4.

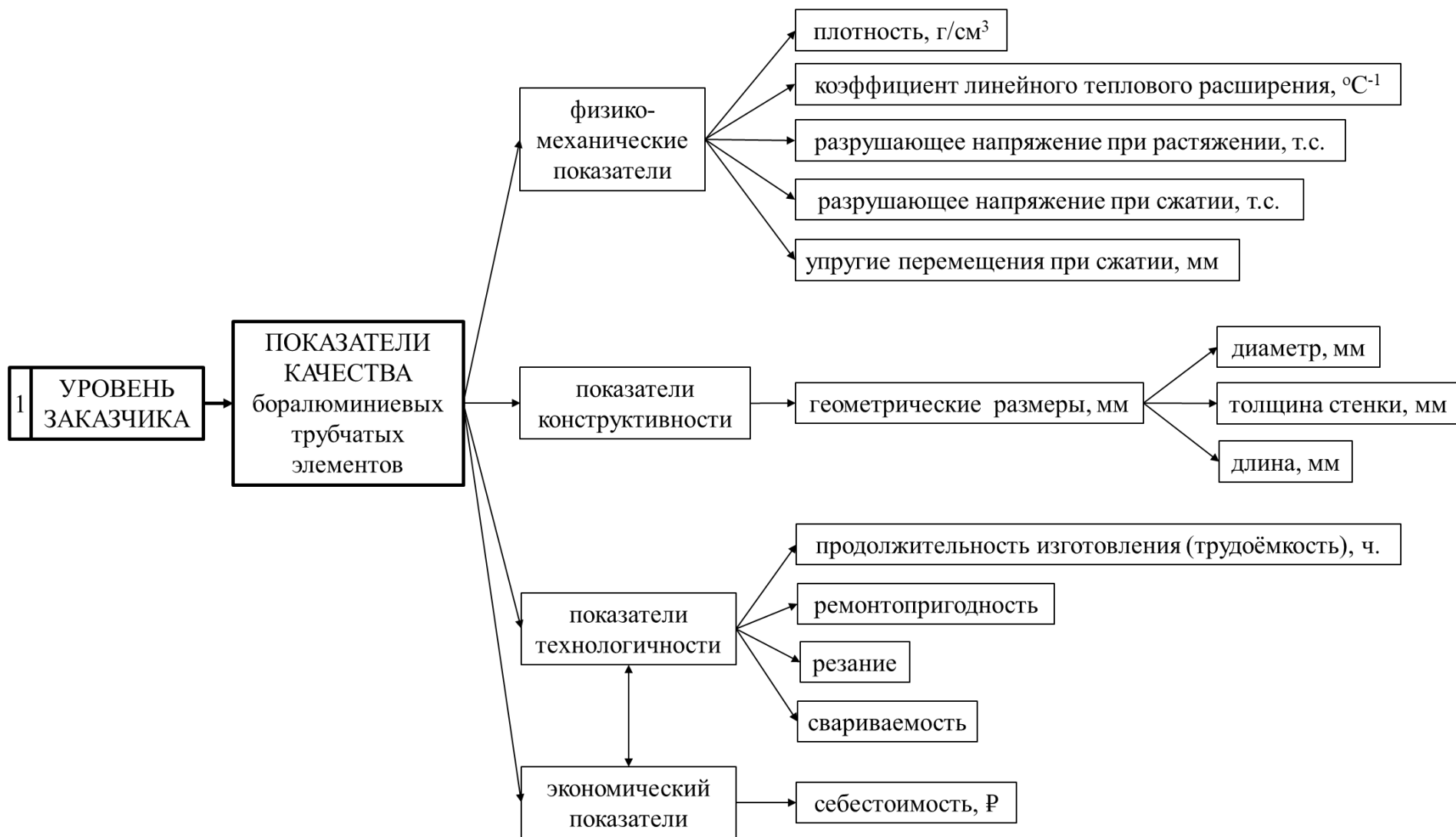


Рисунок 4.4 – Структура показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов

В структуру свойств боралюминиевых трубчатых элементов и материала (боралюминия) вошли элементы: физико- механических показателей качества, показатели конструктивности, показатели технологичности и сопряженный с ними функциональными зависимостями экономический показатель качества – себестоимость [23]. В дальнейшем, в рамках данного исследования структуры показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов будут рассматриваться, как информация обратной связи с объектом управления на различных этапах жизненного цикла изделия.

Второй (технологический) уровень подсистемы включает в себя функциональные элементы (материалы) и технологические операции, каждая из которых формализуется комплексом параметров, а свойства исходных и вспомогательных материалов показателями качества. При этом все элементы технологического уровня связаны между собой функциональными зависимостями.

Основные характеристики борного волокна и алюминиевой проволоки приведены в таблицах 4.2 и 4.3 [128, 129, 133, Приложение 2, Приложение 3].

Таблица 4.2 – Основные свойства борной нити (волокна) [134]

ТУ 2112-065-00209013-2009 [128, Приложение 2]

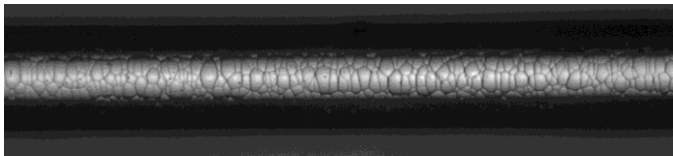
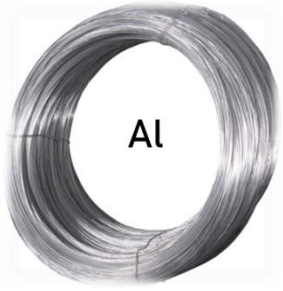
№	Наименование свойств	Характеристики
1	Прочность на растяжение, МПа	не менее 3 300
2	Модуль упругости, МПа	не менее 400 000
3	Коэффициент вариации прочности и модуля упругости, %	не более 20 %
4	Диаметр, мкм	140 (± 5)
		

Таблица 4.3 – Основные свойства алюминиевой проволоки ГОСТ 7871-75 и ТУ 1798-523-56897835-2011 [129, 133, Приложение 3]

№	Наименование свойств	Характеристики	
1	Прочность на растяжение, МПа	<b>не менее 310</b>	
2	Модуль упругости, МПа	<b>не менее 70 000</b>	
3	Диаметр, мм	<b>1,25(-0,60)</b>	

В качестве основного вспомогательного материала для получения металлокомпозита используется – внутренняя оболочка по ГОСТ 10498-82 [139], толщина которой определяется возможностью обеспечения её деформации в процессе горячего прессования [22].

Схематично параметры технологических операций и показатели качества исходных материалов для боралюминиевых трубчатых элементов представлены на рисунке 4.5.

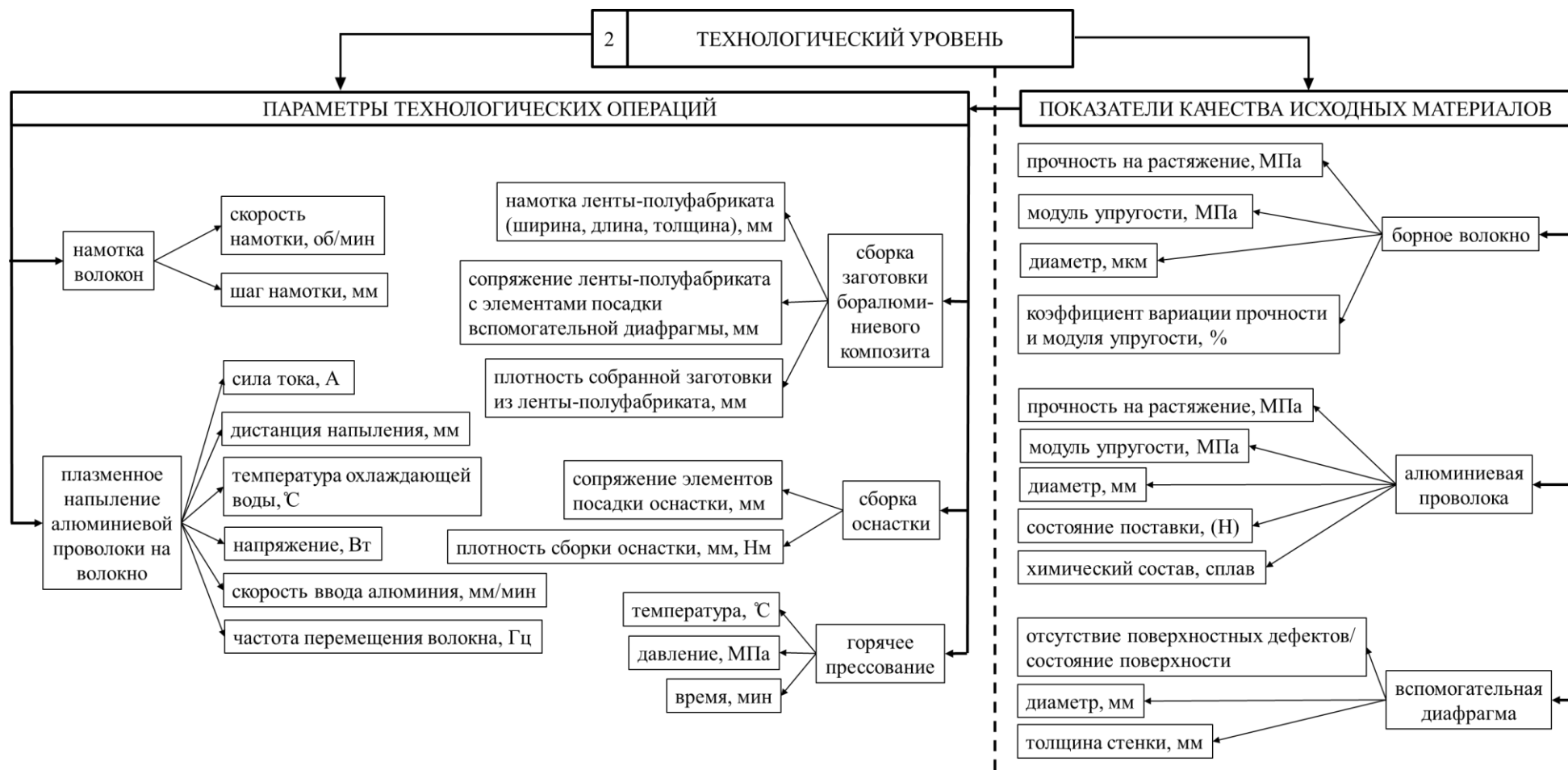



Рисунок 4.5 – Комплекс параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов для боралюминиевых трубчатых элементов



Представленный комплекс параметров технологических операций и показателей качества исходных материалов для боралюминиевых трубчатых элементов необходимо дополнить перечнем свойств промежуточного продукта – боралюминиевой ленты-полуфабриката.

Основные характеристики ленты задаются по действующим техническим условиям и приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Основные свойства боралюминиевой ленты-полуфабриката ТУ 1798-523-56897835-2011 [129, Приложение 3]

№	Наименование свойств	Характеристики
1	Прочность борного волокна на растяжение из ленты-полуфабриката, %	не менее 90 от исходной
2	Длина, мм	1 000 – 1 600
3	Ширина, мм	500 – 700
4	Толщина, мм	0,26 ( $\pm 0,01$ )
5	Объемная доля Al / В, %	50 ( $\pm 10$ )
6	На поверхности ленты-полуфабриката не допускается наличие посторонних включений (грязи, частиц меди, вольфрама и др.) и частиц напылённого материала размером более 1 мм	
		

Развивая теоретические положения управления качеством и имея все необходимые исходные данные по боралюминиевым трубчатым элементам, можно выстроить концептуальную модель управления качеством продукции (Рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Концептуальная модель управления качеством для боралюминиевых трубчатых элементов

Определены объекты, входящие в состав конечного объекта управления (боралюминиевый трубчатый элемент) в том числе: армирующие компоненты (борные волокна) и оснастка для формирования упорядоченного распределения волокон (специализированный барабан), армирующие компоненты на оснастке и матрица (алюминиевая проволока), заготовка полуфабриката (слои боралюминиевой ленты), заготовка полуфабриката и оснастка для консолидации, заготовка полуфабриката в оснастке. На каждый объект для достижения поставленной цели оказывается управляющее воздействие в виде изменения технологических параметров получения, после чего при помощи результатов контрольных операций снимается информация обратных связей и передаётся в блок принятия решений для определения дальнейших действиях.

Конкретизированная концептуальная модель управления качеством для боралюминиевых трубчатых элементов, дала возможность установить системные связи между назначением изделия в ракетно-космической технике и его прочностными свойствами на растяжение, а также между показателями качества исходных материалов борного волокна, алюминиевой проволокой, вспомогательным материалом (одноразовая внутренняя оболочка) и техническими возможностями используемого оборудования для намотки, напыления и горячего прессования продукции.

#### **4.2 Исследование и разработка моделей зависимостей показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов от параметров технологических операций производства**

Собраны и проанализированы статистические данные за 20-ти летний период по изготовлению порядка 10 000 единиц продукции из боралюминия в АО «Композит» с целью выявления основных типов нарушений и оценки доли каждого из них от общего количества несоответствий, результаты обобщены с применением

инструмента контроля качества – диаграммы Парето (Таблица 4.5 и Рисунок 4.7) [22, 135, 136, 137].

Таблица 4.5 – Виды нарушений технологического процесса [136].

Технологические операции, на которых выявлен брак	Виды нарушений	Количество бракованной продукции, %
Горячее прессование заготовки ТЭ	- сбой режимов горячего прессования	4,69
Выходной контроль ТЭ: -испытания (растяжение/сжатие) - геометрические параметры	- не соответствие требованиям технических условий	4,33
ИТОГО		9,02

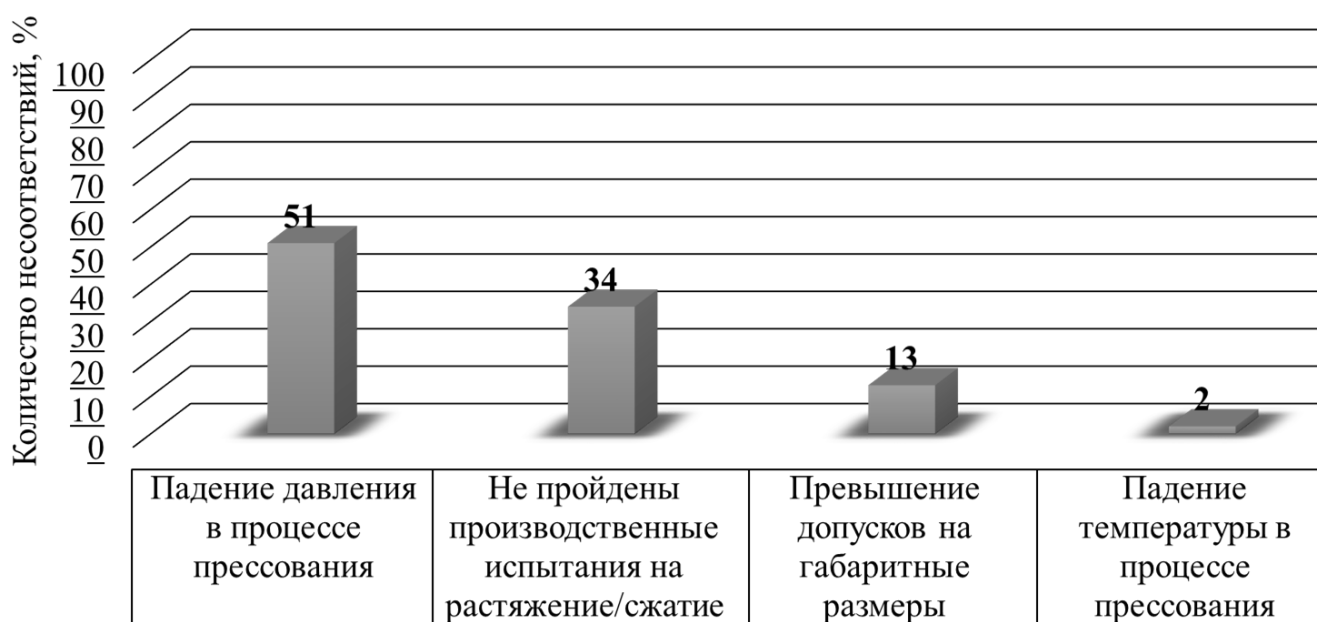


Рисунок 4.7 – Диаграмма распределения долей по типам выявленных несоответствий [134, 138]

Определено 9,02% несоответствий продукции, что соответствует потерям порядка 6,3 млн. рублей в год.

Результаты позволили подтвердить выводы полученные на основе модели обоснования экспериментальных исследований по процессу изготовления боралюминиевых трубчатых элементов (виды технологических операций), которым стоит уделять особое внимание для управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов.

В результате анализа нарушений процесса производства боралюминиевых трубчатых элементов, выявлены причины появления несоответствий продукции, что позволило обосновать поиск следующих зависимостей:

– зависимость количества нарушений режима в виде падения давления при прессовании заготовки трубы от качества сборки заготовки из боралюминиевой ленты-полуфабриката, для оценки которого целесообразно дополнительного контрольного параметра;

– зависимость потери прочности (на растяжение) борного волокна от термомеханического воздействия при плазменном напылении алюминия в процессе изготовления ленты-полуфабриката;

– зависимость величины значений разрушающих напряжений при растяжении материала боралюминиевых трубчатых элементов от термомеханического воздействия в процессе горячего прессования трубной заготовки из ленты-полуфабриката.

#### **4.2.1 Разработка дополнительного контрольного параметра для операции сборки боралюминиевой заготовки трубы**

В качестве основного вспомогательного материала для получения трубчатых элементов из боралюминия используется цилиндрическая оболочка по ГОСТ 10498-82 [139], толщина которой определяется возможностью обеспечения

её деформации в процессе горячего прессования [22], а диаметр выбирается, исходя из размерных параметров боралюминиевой трубы.

При условии, что оболочка успешно прошла входной контроль, на ее внешней поверхности собирается многослойная заготовка трубы путём намотки боралюминиевой ленты-полуфабриката таким образом, чтобы выполнялся ряд условий [136]:

- толщина заготовки из ленты-полуфабриката должна не более, чем в 2 раза превышать толщину стенки боралюминиевой трубы после прессования;
- относительное удлинение материала по окружности внутренней цилиндрической оболочки в процессе горячего прессования (с учётом его сложно напряженного состояния) не должно превышать 15% [136].

Схема уплотнения заготовки из ленты-полуфабриката при формировании металлокомпозита представлена на рисунке 4.8 [22, 136].

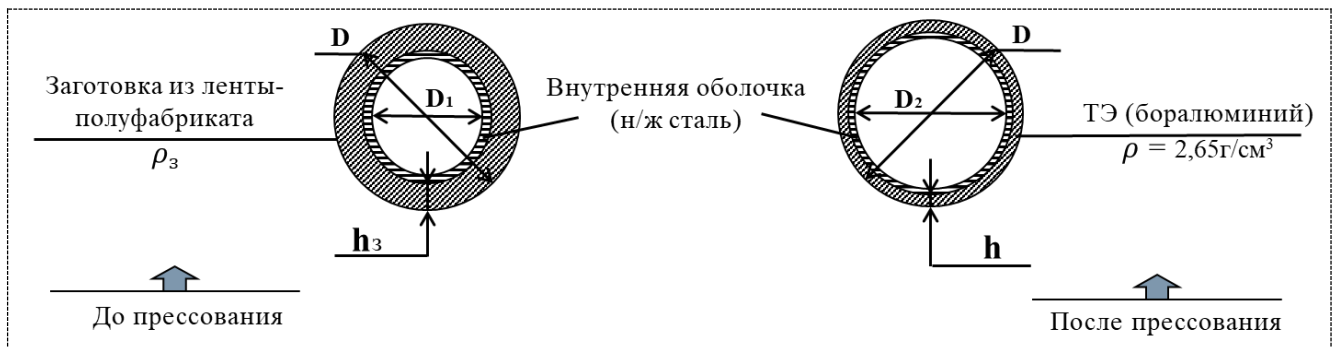


Рисунок 4.8 – Схема деформации внутренней оболочки в процессе прессования трубы [22]

В процессе прессования внутренняя оболочка по мере уплотнения заготовки, пластически деформируясь, увеличивается в диаметре при отсутствии концентраторов напряжений в виде рисок, царапин, точечных дефектов и др., при этом должно соблюдаться условие [22]:

$$\frac{D_2 - D_1}{D_1} \cdot 100\% < \delta, \quad (4.1)$$

где  $D_1$  – наружный диаметр внутренней оболочки до прессования;

$D_2$  – наружный диаметр внутренней оболочки после прессования, равный внутреннему диаметру трубчатых элементов;

$\delta$  – относительное удлинение материала внутренней оболочки [22].

Значение  $D_1$  известно, а значение  $D_2$  определяется плотностью заготовки трубчатого элемента, содержащей заданное количество слоев полуфабриката. Для оценки плотности заготовки трубчатых элементов целесообразно ввести относительную величину, обозначив ее как коэффициент уплотнения  $K_y$ , равный [22]:

$$K_y = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (4.2)$$

где  $\rho_2$  – плотность полуфабриката после прессования, равная плотности боралюминия -  $2,65 \text{ г/см}^3$ ;

$\rho_1$  – плотность исходного полуфабриката,  $\rho_1 = P/S \cdot h_1$ , где  $P$  – вес полуфабриката с площадью  $S$  и толщиной  $h_1$  [22].

Несложно показать, что:

$$K_y = \frac{h_1}{h_2}, \quad (4.3)$$

где  $h_1$  – толщина исходного полуфабриката;

$h_2$  – толщина полуфабриката после прессования,  $h_2 = P/\rho_2 \cdot S$  [22].

Расчет  $K_y$  проведенный на  $1 \text{ м}^2$  полуфабриката средней толщины  $0,026 \text{ см}$ , весом  $\sim 450 \text{ г}$ , дает величину  $K_y = 1,5$  [22].

Рассчитанная величина, позволяет снизить воздействие человеческого фактора в процессе проведения операции – ручная сборка боралюминиевой заготовки на внутренней оболочке на 30%.

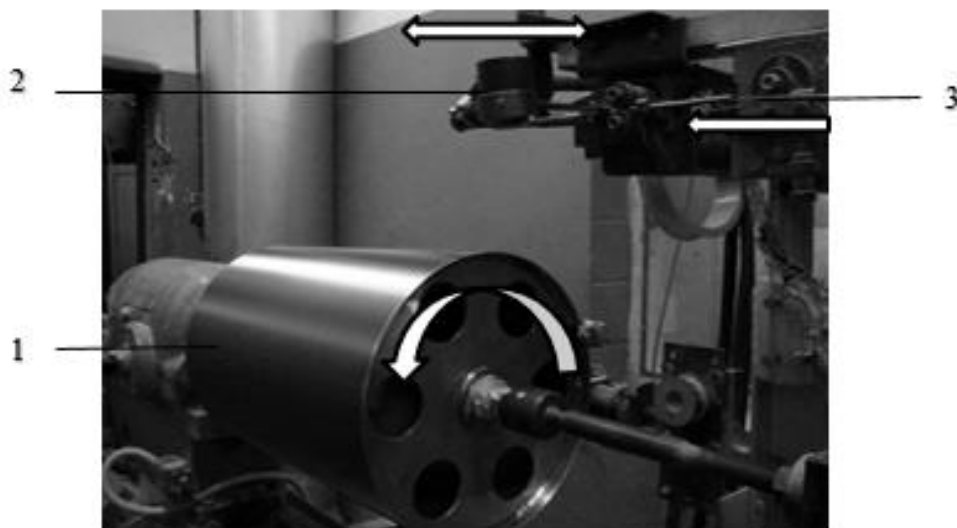
#### **4.2.2 Исследование зависимости потери прочности борного волокна в результате плазменного напыления от его исходной прочности**

Технологическая операция по равномерному нанесению матричного материала (алюминия) на монослой борных волокон является второй и

окончательной при изготовлении промежуточной боралюминиевой ленты-полуфабриката. Назначение операции напыления – сформировать требуемое количество матричного материала в виде равномерного слоя на волокнах, одновременно зафиксировав достигнутый при намотке порядок их распределения. На данном этапе обеспечивается необходимое объёмное содержание волокон в композиционном материале, которое составляет порядка 50 об. % [135].

Цель эксперимента – выявление зависимости потери прочности борного волокна в результате плазменного напыления алюминия от характеристик исходной прочности волокна.

Плазменное напыление алюминия на поверхность специального барабана после намотки на него борного волокна проводится на установке плазменного напыления с помощью дугового плазматрона, напыляющего матричный материал, подаваемый в виде проволоки в плазменную струю перпендикулярно ее направлению (Рисунок 4.9) [135].



1 – барабан с борным волокном; 2 – плазматрон; 3 – алюминиевая проволока

Рисунок 4.9 – Установка для напыления матричного материала (Al) на покрытую борным волокном поверхность барабана с указанием направления её составных частей [135]



Плазмообразующим газом служит аргон, который одновременно является средой, защищающей от окисления. Установка оборудована механизмом для вращения барабана с регулируемой скоростью. Пятно напыления (на неподвижную поверхность) имеет ограниченный диаметр, поэтому напыление проводится на вращающийся барабан при поступательном движении плазмотрона вдоль образующей барабана [135].

Слой матричного материала в полуфабрикате формируется послойным осаждением на волокна бора расплавленных частиц алюминия, распыленных в струе плазмы. При этом волокно подвергается термическому и механическому воздействию плазменной струи, состоящей из высокотемпературного газа и расплавленных частиц алюминия, что приводит к снижению прочностных свойств борного волокна [140]. Минимизация этих потерь является наиболее существенным требованием для обеспечения последующего получения высокопрочного композиционного материала [135].

При плазменном напылении поверхность барабана разогревается до температуры (100 – 150) °С, однако температура частиц при контакте с поверхностью напыления может достигать 0,8 – 0,9 от температуры плавления напыляемого материала вследствие пониженной теплопроводности напыленного слоя по сравнению с компактным материалом [141-143]. Именно высокая температура в зоне контакта обеспечивает прочное сцепление частиц алюминия с волокнами при напылении, но она же может приводить к снижению прочностных свойств волокон бора. Поэтому режимы напыления должны обеспечивать отсутствие перегрева в зоне контакта [135].

Термическое воздействие на волокна в процессе плазменного напыления алюминия при получении полуфабриката в значительной мере зависит также от скорости перемещения пятна напыления, которая, в свою очередь, определяется кинематическими параметрами – скоростью вращения барабана и скоростью поступательного перемещения плазмотрона. Косвенно термическое воздействие зависит и от скорости подачи алюминиевой проволоки под срез сопла плазмотрона,

поскольку она определяет наполнение плазменной струи частицами матричного сплава и тем самым – продолжительность напыления [135].

Термическое воздействие сочетается с ударным воздействием расплавленных частиц матричного материала. Здесь в наибольшей степени на прочность борного волокна влияют такие параметры напыления [144, 145], как дистанция напыления, мощность дуги и скорость подачи проволоки [135].

Экспериментальное исследование проводилось на специализированном оборудовании, куда вошли:

- намоточный станок в комплекте с барабаном для намотки;
- модернизированная установка плазменного напыления УПУ-3Д;
- разрывная машина Instron 5942.

Для выполнения исследований (в соответствии с п.5.1 технических условий [128]) проведена выборка борных волокон в зависимости от величины их исходной прочности, всего – 4-группы образцов по 5-ть заводских шпудль в каждой группе:

- группа 1 – волокна с прочностью от 2000 МПа до 2500 МПа,
  - группа 2 – волокна с прочностью от 2500 МПа до 3000 МПа,
  - группа 3 – волокна с прочностью от 3000 МПа до 3500 МПа,
  - группа 4 – волокна с прочностью от 3500 МПа до 4000 МПа,
- (с последующим определением среднего значения в каждой группе).

При выборе указанных выше интервалов значений прочности борных волокон учитывались следующие факторы:

– шаг предела прочности образцов борных волокон в каждой группе составляет 500 МПа, выбран согласно п.1.2.1 технических условий [128] коэффициент вариации средней прочности [146];

– минимальное значение прочности борных волокон (в группах 1 и 2) выбрано согласно «листу 2, вводная часть» технических условиях [128], как II сорт менее 2700 МПа;

– максимальное значение прочности борных волокон (в группах 3 и 4) выбрано согласно «листу 2, вводная часть» технических условиях [128], как высший сорт не менее 3300 МПа.

На первой стадии эксперимента все образцы наматывались на специализированный барабан (по одинаковым режимам) для получения равномерного монослоя, как подготовка к плазменному напылению.

На втором этапе образцы подвергались термомеханическому воздействию в процессе плазменного напыления алюминия с одинаковыми режимами нанесения.

Затем все двадцать образцов (по пять в каждой группе) проходили испытания на растяжение с целью выявления показателя потери прочности.

В результате проведённых экспериментов получены графическая (Рисунок 4.10) и математическая (Формула 4.4) регрессионные зависимости величины потери прочности борного волокна под воздействием плазменного напыления матричного материала от характеристик исходной прочности волокна. Математическая модель [147, 148] представлена в виде степенной зависимости

$$y = 2E-18x^{5,3027}, \quad (4.4)$$

где  $y$  – потеря прочности борного волокна (%),  $x$  – исходная прочность борного волокна (МПа).  $R^2 = 0,954$ , при этом значение  $R^2$  равное 0,95 указывает на степень точности полученного значения.

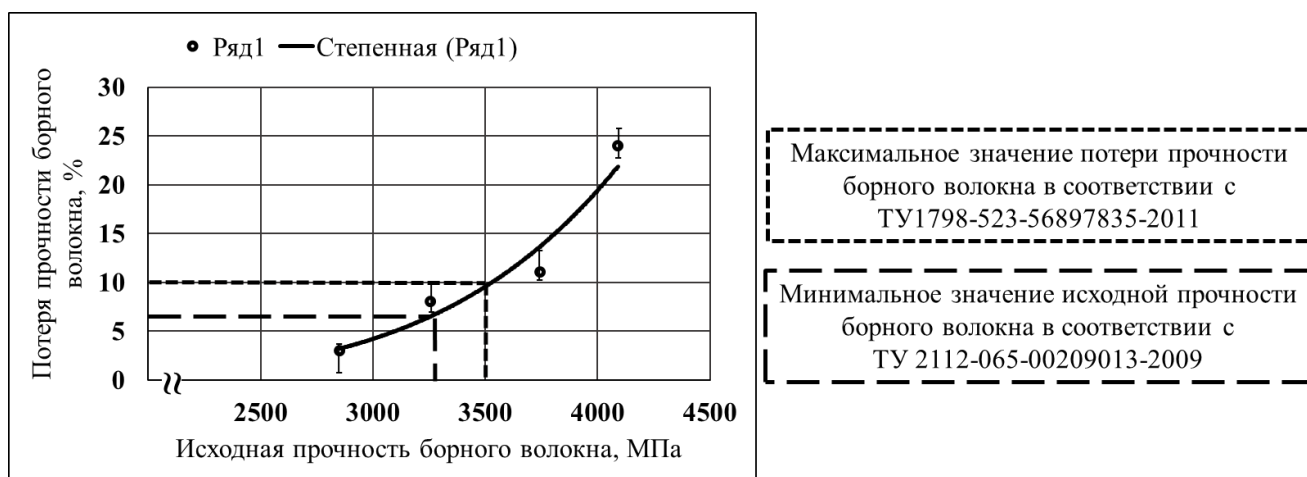


Рисунок 4.10 – Регрессионная зависимость потери прочности борного волокна от его исходной прочности в процессе плазменного напыления алюминия [135]

Степенная аппроксимация полезна для описания монотонно возрастающей либо монотонно убывающей величины. Использование степенной аппроксимации

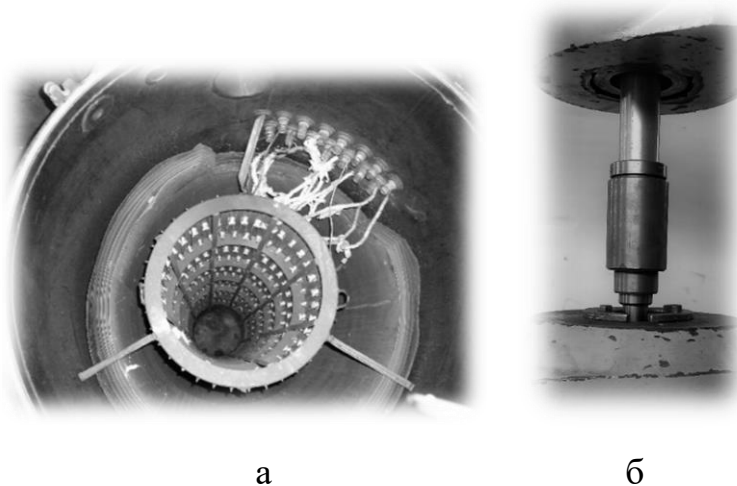
невозможно, если данные содержат нулевые или отрицательные значения. По экспериментальным данным, построена графическая зависимость, а на её основе рассчитана математическая модель. Из графика видно, что при увеличении исходной прочности борного волокна, потеря его прочности после плазменного напыления алюминия увеличивается. На основе разработанной «иерархически организованной информационной подсистемы» установлено, что требования заказчика диктуют ограничения в виде максимального допустимого значения потери прочности борного волокна не более 10% от исходной прочности (ТУ 1798-523-56897835-2011 [129]), а также минимального значения исходной прочности борного волокна – 3300 МПа (ТУ 2112-065-00209013-2009 [128]). В результате получен интервал значений исходной прочности борного волокна 3300 МПа – 3500 МПа, удовлетворяющий требованиям двух технических условий, что позволяет прогнозировать изменение свойств материала на этапе проектирования изделия [40]. Полученные результаты внедрены на предприятии АО «Композит» и отражены в следующих документах: ТУ 1798-523-56897835-2011 Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор». Технические условия, выпущено Извещение об изменении № 932.2.06-2018 от 29.06.2018 [Приложение 6] в части дополнительного введения допустимого нижнего значения предела прочности борного волокна в составе боралюминиевой ленты-полуфабриката не менее 3150 МПа, что позволило использовать отечественное борное волокно с более широким спектром прочностных характеристик, Акт № 0140-10 от 26.03.2019 о результатах периодических испытаний ленты-полуфабриката за № М-449 [Приложение 7].

### 4.2.3 Исследование зависимости прочности материала боралюминиевых трубчатых элементов от температурно-временного воздействия в процессе горячего прессования

Технологическая операция – прессование боралюминиевой заготовки является окончательной при формировании боралюминиевого трубчатого элемента из многослойной заготовки, собранной из ленты-полуфабриката, путём горячего изостатического прессования, в процессе которого происходит снижение прочностных свойств волокна и металлокомпозита в целом. Основной причиной снижения свойств является развитие процессов диффузионного взаимодействия на границе раздела борного волокна и алюминиевой матрицы, обусловленное достаточно продолжительным воздействием высокой температуры [4, 11-14, 149].

Образцы трубчатых элементов производились на специализированном оборудовании, включающем (Рисунок 4.11):

- установку для горячего прессования трубчатых элементов на базе шахтной печи;
- токарный станок;
- разрывная машина EU-100 (рисунок 4.11-а).



а шахтная печь для прессования труб; б испытательная машина

Рисунок 4.11 – Оборудование для проведения эксперимента

Для исследования (в соответствии с п.5.9 ГОСТ Р 56656-2015 [150]) изготовлены боралюминиевые трубчатые элементы в количестве 5-штук одинаковыми габаритными размерами согласно ТУ 92-932-1-140-94 «Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМгб-с законцовками из алюминиевого сплава АМгб. Технические условия» и ТУ 92-932-1-187-2007 «Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМгб-В с законцовками. Технические условия» [131, 132].

Изготовление образцов провели по 5-ти различным режимам прессования изменяя параметры температурно-временного воздействия при переходе к каждому последующему режиму:

- температуре прессования (Т) – увеличение на 10 °С;
- выдержки при температуре прессования (t) – уменьшение на 5 мин;

Шаг изменения указанных технологических параметров соответствует допускам по действующему технологическому процессу изготовления боралюминиевых трубчатых элементов 932.02100.02000, один из режимов являлся штатным.

Для изготовления образцов труб использовалось борное волокно с одинаковой средней прочностью. Лента-полуфабрикат получена по стандартным режимам и использовалась для получения заготовок образцов трубчатых элементов. В результате прессования труб по выбранным режимам получены образцы для исследования. Готовые трубчатые элементы обрабатывались на токарном станке от облоя, заусенце и т.п., некоторые из методик обработки, описаны в материалах авторов [151, 152].

Далее все пять боралюминиевых трубчатых элемента проходили испытания на растяжение на разрывной машине типа EU 100 с целью определения прочностных характеристик материала (рисунок 4.11-б).

В результате проведённого экспериментального исследования получены графическая (Рисунок 4.12) и математическая (Формула 4.5) модели зависимостей прочности материала трубчатых элементов от температурно-временного

воздействия в процессе горячего прессования. Математическая модель представлена в виде степенной зависимости

$$y = 1100,7x^{-0,346}, \quad (4.5)$$

где  $y$  – прочность материала трубчатых элементов (МПа),  $x$  – режим горячего прессования заготовки изделия.  $R^2 = 0,9637$ , при этом значение  $R^2$  равное 0,96 показывает высокую степень точности полученных результатов.

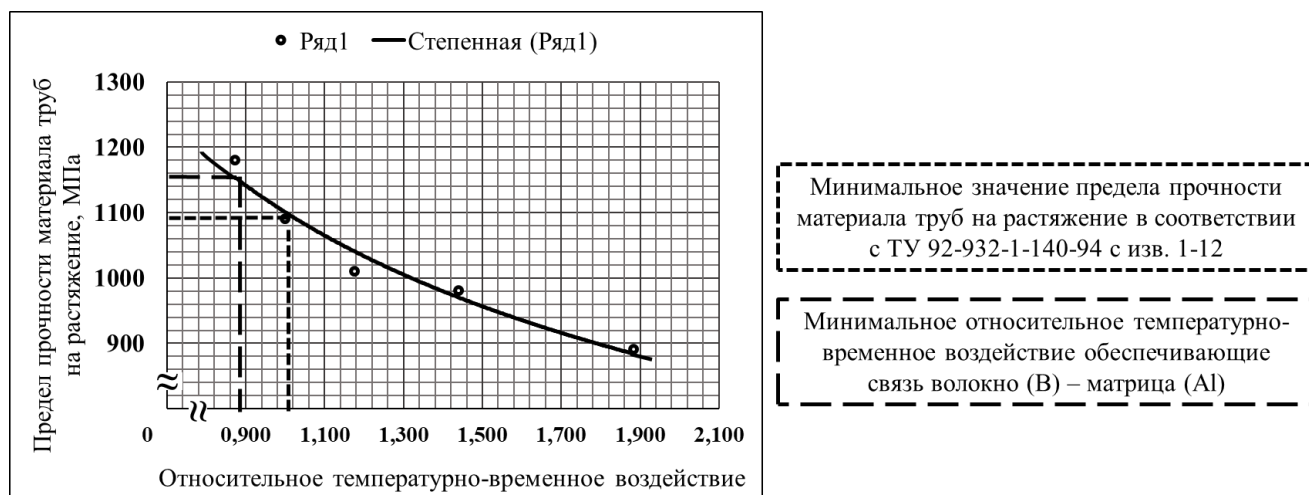


Рисунок 4.12 – Регрессионная зависимость потери прочности материала боралюминиевых трубчатых элементов от температурно-временного воздействия, в процессе горячего прессования

Степенная аппроксимация полезна для описания монотонно возрастающей либо монотонно убывающей величины. Использование степенной аппроксимации невозможно, если данные содержат нулевые или отрицательные значения [135]. По экспериментальным данным, построена графическая зависимость, а на её основе рассчитана математическая модель.

По оси «X» отображено относительное температурно-временное воздействие. Степень температурно-временного воздействия оценивали относительно параметров штатного режима, которые приняты за 1,000, к четырём остальным экспериментально взятым значениям температуры и времени при одинаковом давлении в процессе горячего прессования.

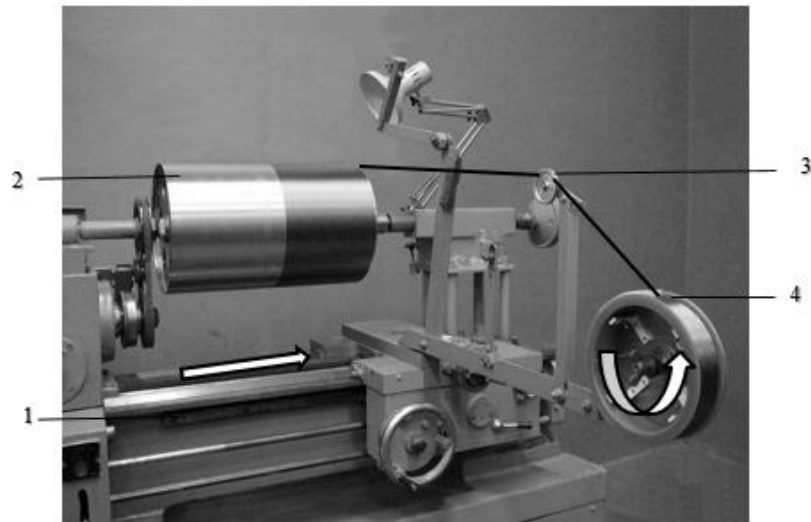
Из графика видно, что при уменьшении относительного температурно-временного воздействия на боралюминиевую заготовку прочность материала увеличивается. С учетом требования заказчика по «иерархически организованной информационной системе» получен диапазон значений режима горячего прессования 0,900 – 1,000, что даёт возможность рассматривать перспективу [153] повышения свойств материала боралюминиевых трубчатых элементов.

#### **4.2.4 Исследование зависимости продолжительности процесса намотки борного волокна от скорости вращения барабана при изготовлении боралюминиевой ленты-полуфабриката**

Поскольку одним из основных показателей качества продукции из волокнистых металлокомпозитов, является показатель технологичности, сопряженный с блоком экономических показателей, был проведён дополнительный эксперимент по поиску решений для снижения продолжительности одной из наиболее трудоёмких операций – намотка борного волокна [154].

Намотка борного волокна является первым этапом технологии производства промежуточной боралюминиевой ленты-полуфабриката. Она обеспечивает формирование равномерного распределения борного волокна путём создания, упорядоченного монослойного ряда на поверхности специального барабана (Рисунок 4.13) [135].





1 – намоточный станок; 2 – специализированный барабан; 3 – направляющий ролик; 4 – шпуля с борным волокном

Рисунок 4.13 – Оборудование для намотки борного волокна с указанием направления её составных частей [135]

Для намотки борного волокна используется специализированный намоточный станок, оснащенный нитепротяжным механизмом, и технологическая оснастка – специальный барабан. Упорядоченный монослой борных волокон формируется на поверхности барабана путем намотки. Равномерное распределение волокон обеспечивается за счет спиральной канавки, выполненной на поверхности барабана, в которую происходит укладка волокон при намотке. Габариты барабана – диаметр и высоту определяют размеры ленты-полуфабриката, соответственно длину и ширину. Нитепротяжный механизм в процессе намотки перемещается вдоль образующей барабана со скоростью, соответствующей скорости намотки. Намотка осуществляется следующим образом [135].

Заводская шпуля с борным волокном устанавливается в кронштейны нитепротяжного механизма с возможностью её свободного вращения. Волокно проводят через направляющий ролик нитепротяжного устройства, а его конец закрепляют на рабочей поверхности барабана. Вращение барабана приводится в действие нитепротяжный механизм, и волокно со шпули наматывается монослоем на барабан [135].

Продолжительность намотки непосредственно зависит от скорости вращения барабана и количества обрывов волокна, происходящих в процессе намотки [135].

Производственные обрывы волокна и заводские склейки существенно повышают продолжительность процесса. При обрыве необходимо выключить вращение станка, дождаться полной остановки барабана, произвести склейку концов волокна так, чтобы место склейки находилось над пазом (выполненным вдоль образующей барабана для последующего разрезания ленты-полуфабриката), вручную уложить 2–5 витков волокна и вновь запустить станок. Заводские склейки отрезков волокна на шпуре при намотке удаляются и требуют проведения тех же мероприятий, что и при производственных обрывах, поэтому уменьшение количества склеек, также способствует рационализации процесса намотки [135].

Эксперимент проводился на специализированном производственном оборудовании и измерением хронометража проведения операции:

- намоточный станок;
- электронные часы, ГОСТ 23350-98.

Для проведения эксперимента (в соответствии с п.5.1 ТУ 2112-065-00209013-2009 «Нити борные». Технические условия [128]) проведена выборка борных волокон, с одинаковой прочностью (в соответствии с техническими условиями п.1.2.1 [128]) не менее 3300 МПа с коэффициентом вариации ( $\pm 20\%$ ).

Намотка борного волокна проводилась при следующих скоростях вращения барабана: 40 об./мин, 50 об./мин, 60 об./мин, 70 об./мин, 80 об./мин, 90 об./мин.

Каждый режим имел 5-повторений (в соответствии с п.4.1 ГОСТ Р 8.736-2011), с последующим определением среднего значения [146] продолжительности намотки целого барабана.

В результате проведённого эксперимента получены графическая (Рисунок 4.14) и математическая модели (Формула 4.6) зависимостей продолжительности процесса намотки борного волокна от скорости вращения барабана. Данные зависимости представляют собой регрессионные модели, построенные методом наименьших квадратов, с использованием пакетов

прикладных программ Excel. Данная математическая модель представляет собой полиномиальную зависимость второй степени

$$y = 0,0018x^2 - 0,2636x + 12,934, \quad (4.6)$$

где  $y$  – продолжительность выполнения технологической операции (часы),  $x$  – скорость намотки борного волокна на оснастку (об./мин). При этом значение  $R^2$  – квадрат множественного коэффициента корреляции, равно 0,9643, что говорит о высокой степени точности полученной зависимости [155-157].

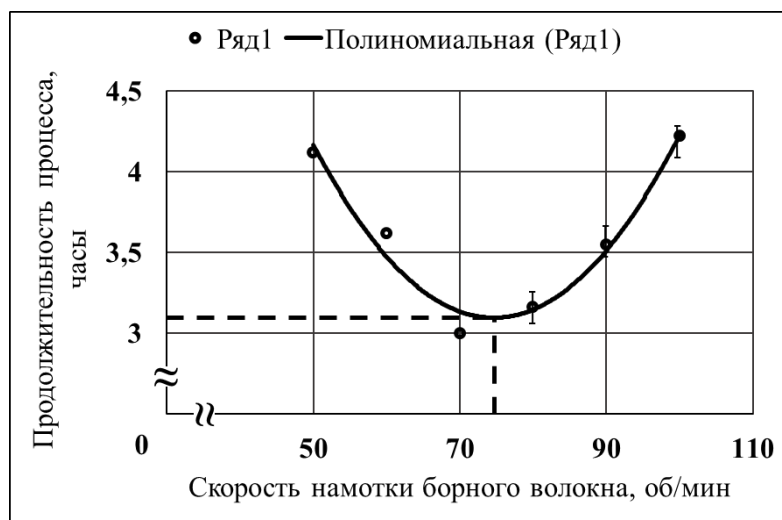


Рисунок 4.14 – Графическая модель зависимости продолжительности выполнения операции намотки от скорости вращения барабана [135]

Полиномиальная линия тренда используется для описания величин, попеременно возрастающих и убывающих. Она полезна, например, для анализа большого набора данных о нестабильной величине. Степень полинома определяется количеством экстремумов (максимумов и минимумов) кривой. На основе построенной по экспериментальным данным зависимости рассчитана математическая модель. Полученные результаты определяют наиболее рациональное значение скорости вращения барабана, в обеспечение минимальной продолжительности процесса намотки, которая характеризуется таким показателем качества, как трудозатраты [135].

Из графика видно, что с увеличением значения скорости вращения барабана продолжительность намотки сначала снижается, достигает минимального значения, а затем возрастает [158, 161, 162]. Это возрастание связано с увеличением обрывов борного волокна в процессе намотки, что делает дальнейшее увеличение скорости вращения барабана нецелесообразным.

Полученные зависимости позволяют обосновать требуемое значение скорости вращения барабана, равное 75 об./мин, что соответствует минимальной продолжительности намотки – 3 часа.

Кроме того, полученный комплекс графических и математических моделей можно рассматривать как универсальный и позволяющий учитывать изменения требований заказчика при использовании продукции из волокнистых металлокомпозигов в перспективных разработках ракетно-космической техники и изделиях гражданского назначения [23, 134, 159, 160, 163, 164].

### **4.3 Рекомендации по рациональным параметрам технологических операций при производстве боралюминиевых трубчатых элементов**

1. Для удовлетворения требований ТУ 2112-065-00209013-2009 и ТУ 1798-523-56897835-2011 необходимо использовать борное волокно с исходной прочностью от 3300 МПа до 3500 МПа.

При использовании борных волокон с прочностью выше 3500 МПа необходимо провести корректировку ТУ 1798-523-56897835-2011, в части величины потери исходной прочности борного волокна при изготовлении ленты полуфабриката.

2. Для минимизации влияния температурно-временного воздействия на прочностные характеристики материала боралюминиевых трубчатых элементов в процессе горячего прессования необходимо скорректировать в технологическом процессе – параметры горячего прессования заготовки, в пределах значений от 0,900 до 1,000 (ТП 932.02100.02000).

3. Для снижения продолжительности выполнения операции намотки борного волокна при изготовлении ленты-полуфабриката, необходимо скорректировать значения скорости вращения барабана до 75 об./мин (932.0400041.00-11ТП, 932.0400048.00-11ТП).

## Выводы по главе 4

В процессе проведения теоретических и экспериментальных исследований по применению разработанных элементов управления качеством продукции из композиционных материалов на примере изготовления боралюминиевых трубчатых элементов в АО «Композит», получены следующие результаты:

1. Конкретизированы процессно-ориентированные модели производства волокнистых металлокомпозитов и экспериментальных исследований по процессу изготовления продукции из рассматриваемого класса композитов. Разработанные модели позволили определить шесть основных процессов (объектов управления): приобретение материалов, намотка борного волокна, плазменное напыление алюминия, две сборочные технологические операции и горячее прессование заготовки из полуфабриката в волокнистый металлокомпозит. Выявлены факторы влияющие на показатели качества боралюминиевых трубчатых элементов: характеристики исходных материалов (борного волокна и внутренней оболочки), параметры технологических операций (намотка, напыление, горячее прессование) и человеческие факторы на операциях ручных сборок заготовки и оснастки. Структура мониторинга должна содержать особые точки контроля после технологических операций: приобретение материалов, плазменное напыление и горячее прессование. Процессы на этих же операциях включены и реализованы, как план первостепенных экспериментальных исследований.

2. Определены элементы каждого уровня иерархически организованной информационной подсистемы получения продукции из композиционных материалов для боралюминиевых трубчатых элементов. Первый уровень подсистемы включает требования заказчика: физико-механических показателей качества, показатели конструктивности, показатели технологичности и сопряженный с ними функциональными зависимостями экономической показатели качества – себестоимость. Второй уровень подсистемы, включает в себя функциональные элементы – комплекс параметров технологических операции (намотка борного волокна, напыление алюминия, две сборочные операции, горячее

прессование), свойства исходных (борное волокно, алюминиевая проволока) и вспомогательных материалов (внутренняя оболочка). Информационная подсистема даёт возможность определить пределы/диапазоны и ограничения при экспериментальном обосновании рациональных параметров технологических операций.

3. Выстроена концептуальная модель управления качеством продукции, которая даёт возможность установить системные связи между элементами системы управления: борные волокна и специализированный барабан, борные волокна на специализированном барабане и алюминиевая проволока, заготовка полуфабриката (слои боралюминиевой ленты), заготовка полуфабриката и оснастка для горячего прессования, заготовка полуфабриката в оснастке. Модель даёт возможность установить системные связи между назначением боралюминиевых трубчатых элементов в ракетно-космической технике и их прочностных свойств, а также между показателями качества борного волокна, алюминиевой проволокой, внутренней оболочкой и техническими возможностями используемого оборудования для намотки, напыления и горячего прессования продукции.

4. Введён дополнительный контрольный параметр для операции сборки боралюминиевой заготовки – коэффициент уплотнения заготовки  $K_y$ , рассчитана его необходимая величина  $K_y = 1,5$ . В процессе прессования внутренняя оболочка по мере уплотнения заготовки пластически деформируясь увеличивается в диаметре, для её контроля предложено ввести дополнительную величину, как плотность заготовки трубчатого элемента, содержащая заданное количество слоев полуфабриката. Применение рассчитанного коэффициента, позволило снизить воздействие человеческого фактора в процессе проведения операции – ручная сборка боралюминиевой заготовки на внутренней оболочке на 30%.

5. На основе проведенных экспериментальных исследований получен комплекс результатов позволяет прогнозировать изменение свойств материала на этапе проектирования изделия. Интервал исходной прочности борного волокна 3300 МПа – 3500 МПа, удовлетворяющий требованиям двух технических условий.

Получен диапазон значений 0,900 – 1,000 режима горячего прессования (температурно-временного воздействия), что даёт возможность рассматривать перспективу повышения свойств материала боралюминиевых трубчатых элементов. Обосновано требуемое значение параметров намотки борного волокна, равное 75 об/мин, что соответствует минимальному времени намотки борного волокна в 3 часа.

6. Разработаны рекомендации по рациональным параметрам технологических операций при производстве боралюминиевых трубчатых элементов, которые отражены в следующих технических и технологических документах: ТУ 2112-065-00209013-2009, ТУ 1798-523-56897835-2011, ТП 932.02100.02000, 932.0400041.00-11ТП, 932.0400048.00-11ТП. Рекомендации, позволяют учитывать изменения требований заказчика при использовании боралюминиевых трубчатых элементов в перспективных разработках ракетно-космической техники и изделиях гражданского назначения. Использование разработанных элементов управления качеством продукции позволило снизить количество несоответствий на 55%, что в денежном выражении соответствует 3,5 млн. рублей в год.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что с учётом специфики производства продукции из металлических композиционных материалов, армированных волокнами, основным фактором воздействия на показатели качества продукции является технологический процесс ее получения. Однако комплексного подхода к определению и обоснованию параметров управляющих воздействий не проводилось. В этой связи целесообразно обеспечить управление качеством указанной продукции путём обоснованного управления параметрами технологических операций и свойствами исходных материалов подтверждёнными теоретической и экспериментальной базами исследований.

2. С использованием системного и процессного подходов разработана процессно-ориентированная модель производства продукции из волокнистых металлокомполитов, которая позволяет определять основные предварительные (получение полуфабриката) и окончательные (консолидация) операции, последовательность их выполнения, а также особенности получения продукции. Модель представляет собой целостную систему и дает возможность установить системные связи между назначением изделия и его свойствами, а также между показателями качества продукции и техническими возможностями процесса производства данного изделия. Сформулирована информационная подсистема получения продукции из композиционных материалов, которая состоит из двух иерархических уровней. Первый уровень системы включает показатели качества продукции и отражает требования заказчика к объекту разработки. Второй уровень информационной подсистемы (технологический) включает комплекс параметров, характеризующих ряд технологических операций, а также блок показателей качества исходных материалов. Иерархическая структура информационной подсистемы позволяет реализовать принцип приоритета целей более высокого уровня управления, которые для продукции из волокнистых металлокомполитов определяют предприятия ракетно-космической отрасли.

3. Разработана концептуальная модель управления качеством продукции из волокнистого металлокомпозита, которая рассматривает каждый объект изучения одновременно, как целостную систему и как функциональный элемент для учета обратных связей. Целью построения концептуальной модели является обоснование ее основных подсистем управления, определение состава основных ее элементов, задание границ и среды системы для управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозитов. Своей функциональностью подходит всему классу волокнистых металлокомпозитов, основываясь на многосоставности материала продукции. Составной частью работы разработана экспресс-методика оценки прочностных свойств на растяжение армирующих моно-волокон по радиусугиба, которая позволяет осуществлять контроль прочности волокна в процессе его переработки. Методика обеспечивает возможность оперативного входного и межоперационного контролей, что является одной из первоочередных локальных задач при производстве волокнистых металлокомпозитов, в части управления качеством продукции.

4. Получены графические и математические модели зависимостей по проведенным теоретическим и экспериментальным исследованиям на примере производства боралюминиевых труб (на предприятие АО «Композит»), которые позволяют обосновать необходимый интервал исходной прочности борного волокна 3300 – 3500 МПа удерживающий снижение их прочности в допуске до 10%, скорректировать значение скорости намотки борного волокна до 75 об./мин при рациональной продолжительности процесса в 3 часа, адаптировать технологические процессы под повышение предела прочности волокнистых металлокомпозитов не менее 1200 МПа для перспективных изделий ракетно-космического и гражданского назначения. Рассчитана дополнительная контрольная величина для операции сборки боралюминиевой заготовки на внутренней оболочке, коэффициент уплотнения  $K_y = 1,5$ , что позволило снизить воздействие человеческого фактора на 30%. Комплекс проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволил снизить количество несоответствий на 55% и сэкономить материальных средств ориентировочно 3,5 млн. рублей в год.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ремизов, И.И. Исследование влияния режимов СПС на прочностные характеристики высоконаполненных алюмоматричных композиционных материалов: бакалаврская работа / Ремизова Игоря Игоревича. – Томск, 2016. – 53 с.
2. Гардымов, Г.П. Композиционные материалы в ракетно-космическом аппаратостроении: учебник / Г.П. Гардымов, Е.В. Мешков, А.В. Пчелинцев, Г.П. Лашманов, Ю.А. Афанасьев. – СПб.: СпецЛит, 1999. – 271 с.
3. Композиционный материал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB) (дата обращения: 30.02.2017).
4. Основы технологии производства композиционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/2-22939.html> (дата обращения: 12.04.2016).
5. Румянцев, М.И. Оценивание сходства и различий химических композиций марок стали, применяемых для производства холоднокатаного проката различных категорий вытяжки / М.И. Румянцев, А.Н. Завалицин, П.В. Шапкин // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2014. № 20. – С. 200-206.
6. Антипова, Т.Н. Управление качеством технологических процессов: Коллективная монография / Т.Н. Антипова, А.А. Лабутин, А.Ю. Олешко. – М.: Издательство «Научный консультант», 2015. – С. 132–148 (149 с.).
7. Власенко, А.В. Применения перспективных композиционных материалов для проектов ракетно-космической техники / А.В Власенко, В.В. Скрябин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – Том 1. – № 1. – С. 71–73.

8. ГОСТ Р 58016-2017 Композиты керамические. Карбидкремниевые композиты, армированные карбидкремниевым волокном. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2017. – 15 с.

9. Тимофеев, П.А. Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров пиллопродукции : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / Тимофеев Павел Анатольевич. – М., 2017. – 24 с.

10. Morgan, P. Carbon fibers and their composites / P. Morgan // By Taylor & Francis Group, LLC. – 2005. – 1147 p.

11. Крейдер, К. Композиционные материалы с металлической матрицей: учебник / К. Крейдер. – М.: Машиностроение, 1978. – 503 с.

12. Олешко, А.Ю. Получение ленты-полуфабриката металлического композиционного материала «алюминий-бор» / А.Ю. Олешко // «Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике»: сборник материалов молодежной конференции, том I. – Звездный городок: ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2011. – С. 167-170 (260 с.).

13. Олешко, А.Ю. Получение полуфабриката волокнистого композиционного материала А1-В / А.Ю. Олешко // «Новые материалы и технологии в авиационной и ракетно-космической технике»: сборник материалов VI конкурсной конференции молодых специалистов авиационных, ракетно-космических организаций России, часть I. – Королёв: ИПК «Машприбор», 2007. – С. 73-75 (108 с.).

14. Фридляндер, И.Н. Композиционные материалы с металлической матрицей / И.Н. Фридляндер, К.И. Портной, В.Ф. Строганов, С.Е. Салебеков, В.М. Чубаров // Авиационная апромышленность. М., – 1984. – № 5. – 11 с.

15. Емелюшин, А.Н. Современные методы выбора рациональных параметров режима сварки низколегированных сталей / А.Н. Емелюшин, А.И. Беляев, М.А. Шекшеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2012. Т.2. № 70. – С. 163-164.

16. Платов, С.И. Разработка рациональных режимов подачи технологической смазки на опорные валки клетей чистовой группы станов горячей прокатки / С.И. Платов, Р.Р. Дема, М.В. Харченко, А.В. Ярославцев, С.В. Дубовский, С.В. Михайлицын // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2011. № 1. – С. 20-24.

17. Зарубежное военное образование. Композиционные материалы в авиастроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zvo.su/VVS/kompozicionnye-materialy-v-aviastroenii.html> (дата обращения: 25.12.2017).

18. Гулаков, А.А. Основные этапы разработки технологии производства рабочих валков для чистовых клетей станов горячей прокатки / А.А. Гулаков, И.Х. Тухватулин, В.М. Колокольцев, М.Г. Потапов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2019. Т.10. № 1. – С. 36-40.

19. Kyle-Henney, S. Silicon carbide monofilament reinforced titanium composites for space structures a new material option / S. Kyle-Henney, S. Flitcroft, R. Shatwell, D. Gibbon, G. Voss, P. Harkness // University of Glasgow School of engineering. – 2012. – 6 p.

20. Neubauer, E. Metal matrix composites (MMCs) as high performance metallic material. Technical proposal / E. Neubauer, H.G. Wulz, Ch. Edtmaier, I. Agote, A. Merstallinger, G. Mozdzen, V. Liedtke, N. Stelzer, N. Gamsjäger // Aerospace and advanced composites. – 2013. – Volume 1. – 46 p.

21. Neubauer, E. Metal matrix composites (MMCS) as high performance metallic material. Financial, management and administrative proposall / E. Neubauer, H.G. Wulz, Ch. Edtmaier, I. Agote, A. Merstallinger, G. Mozdzen, V. Liedtke, N. Stelzer, V. Liedtke, N. Gamsjäger // Aerospace and advanced composites. – 2013. – Volume 2. – 102 p.

22. Олешко, А.Ю. Совершенствование процесса прессования боралюминиевых трубчатых элементов / А.Ю. Олешко, Е.Н. Щербакова, Г.Д. Саранчук // «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества»: сборник материалов V Международной конференция с элементами научной школы для молодежи. – М: ИМЕТ РАН, 2014. – С. 155-157 (487 с.).

23. Олешко, А.Ю. Боралюминиевые трубчатые элементы в несущих конструкциях космических аппаратов (КА) / А.Ю. Олешко, Е.Н. Щербакова // Труды – Расчет, проектирование, конструирование и испытания космических систем. – Королёв: РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 2012. – серия XII, № 1-2, часть 1. – С. 148-151.

24. Пат. 2455162 Российская Федерация, МПК В29D 23/00. Устройство для изготовления труб из композиционных материалов. Потапов В.И., Тимофеев А.Н., Цыруль В.И., Потапова Т.К., Олешко А.Ю.; заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2010152210/05, заявл. 21.12.2010, опубл. 10.07.2012. – 8 с.

25. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартиформ, 2015. – 32 с.

26. ГОСТ ISO 9001-2011 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартиформ, 2012. – 24 с.

27. Карпенко, А.В. Оценка СМК предприятий ракетно-космической промышленности [Электронный ресурс] / А.В. Карпенко. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/10/58527> (дата обращения: 01.03.2018).

28. Сальников, О.В. Внедрение системы управления качеством на предприятии на примере ОАО «Симбирская Стекольная Компания» [Электронный ресурс] / О.В. Сальников. – Режим доступа: <http://nbene.narod.ru/manage/fmanage1.htm> (дата обращения: 25.12.2017).

29. Статистика космических запусков стран-лидеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tagilka.ru/upload/iblock/af3/af3198300cfc0c4aabceb9e160eb7ee0.png> (дата обращения: 09.12.2018).

30. Адлер Ю. П. Будущее качества и систем менеджмента качества / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Экономика и управление народным хозяйством. – 2017. – Том 11. – № 2. С. 5–18.

31. Анализ системы управления качеством на предприятии ООО «ЧелябТрансАвто-3». Менеджмент и трудовые отношения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/management/3c0a65635b3ad68a4d43a89421306c271.html> (дата обращения: 20.07.2015).

32. Гун, Г.С. Исследования магнитогорского центра качества металлопродукции (научный обзор) / Г.С. Гун / Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. № 3 (13). – С. 40-47.

33. Taylor, F. W. The Principles of Scientific Management [Электронный ресурс] / F. W. Taylor // New York: Harper & Brothers. – Режим доступа: <http://www.gutenberg.org/cache/epub/6435/pg6435-images.html> (дата обращения: 25.02.2017). – 1911. – 144 p.

34. Истомина, М.А. Разработка и внедрение модели системы менеджмента качества на предприятиях по производству труб из полиэтилена / М.А. Истомина // Вопросы современной науки и практики. – 2011. – № 3(34). – С. 224–236.

35. Hoyle D. ISO 9000. Quality Systems. Handbook. Fourth Edition. Completely revised in response to ISO 9000:2000 / D. Hoyle // A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd. – 2001. – 686 p.

36. Жариков, В.В. Повышение качества машиностроительной продукции: методы, резервы и механизмы : автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Жариков Валерий Викторович. – Тамбов, 2006. – 44 с.

37. Белозерцева, Л.Ю. Совершенствование системы управления работами по стандартизации нефтегазового комплекса на основе системного подхода : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Белозерцева Любовь Юрьевна. – М., 2016. – 24 с.

38. Дорошевич, П.В. Методы ускоренных испытаний сверхбольших интегральных микросхем на надежность : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Дорошевич Павел Викторович. – М., 2015. – 18 с.

39. Овчинникова, Е.В. Повышение качества процессов получения диэлектрических покрытий (при изготовлении элементов РЭУ) : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Овчинникова Елена Вадимовна. – М., 2012. – 19 с.

40. Могилевец, В.Д. Разработка методики встроенного качества как основы повышения конкурентоспособности производства дизельных двигателей (на примере ОАО «Камаз-дизель») : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Могилевец Валерий Дмитриевич. – М., 2011. – 36 с.

41. Булатицкий, Д.И. Управление знаниями в системе менеджмента качества организации : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Булатицкий Дмитрий Иванович. – Брянск, 2012. – 20 с.

42. Вавилин, Я.А. Повышение качества машиностроительной продукции на основе обеспечения требований к ее безопасности : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Вавилин Ярослав Александрович. – Брянск, 2016. – 20 с.

43. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2009. – 22 с.

44. ГОСТ 18242-72 Статистический приемочный контроль качества по альтернативному признаку. Планы контроля. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 30 с.

45. ГОСТ Р 56518-2015 Техника космическая. Требования к системам менеджмента качества организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации. – М.: Стандартиформ, 2015. – 41 с.

46. Никулина, Н.О. Проектирование информационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://900igr.net/prezentacija/informatika/proektirovanie-informatsionnykh-sistem-145293/proektirovanie-informatsionnykh-sistem-1.html> (дата обращения: 11.01.2020).

47. Рахимов, С.Н. Система управления качеством металлопродукции в подсистеме "резка-отделка-упаковка-транспортировка" (РОУТ) на основе использования теории ограничений / С.Н. Рахимов, А.М. Песин, В.В. Курбан, А.С. Ларионова // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2012. № 18. С. 283-294.

48. Управление как информационный процесс. Предмет труда, средства труда и результат труда руководителя отношения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vikidalka.ru/3-11282.html> (дата обращения: 11.01.2020).

49. Эволюция социально-экономических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6653243/page:5/> (дата обращения: 11.01.2020).

50. Wiener, N. Блок-схема кибернетической системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://900igr.net/prezentacija/istorija/viner->



[norbert-1894-1964-188569/blok-skhema-kiberneticheskoy-sistemy-upravlenija-2.html](http://norbert-1894-1964-188569/blok-skhema-kiberneticheskoy-sistemy-upravlenija-2.html)

(дата обращения: 11.01.2020). – 1948. – Р. 58-66 (123 p.).

51. Wiener, N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://booksafe.net/read/viner\\_norbert-kibernetika\\_ili\\_upravlenie\\_i\\_svyaz\\_v\\_zhivotnom\\_i\\_mashine-233860.htm#p1\\_TOC\\_idp60432](https://booksafe.net/read/viner_norbert-kibernetika_ili_upravlenie_i_svyaz_v_zhivotnom_i_mashine-233860.htm#p1_TOC_idp60432) (дата обращения: 11.05.2019). – 1948. – Р. 58-66 (123 p.).

52. Антипова, Т.Н. Управление инновациями и качеством: учебное пособие / Т.Н. Антипова, Н.П. Асташева, О.А. Горленко, В.Г. Исаев, О.А. Копылов, В.А. Коновалова, Е.А. Жидкова, В.Н. Строителей, А.Г. Суслов. – Москва: Финансово технологическая академия, 2013. – 300 с.

53. Ishikawa, K. What Is Total Quality Control. The Japanese Way / K. Ishikawa // Prentice-hall, INC. – Englewood Cliffs, N.J. – 1985. – Р. 10-31 (112 p.).

54. Семенец, А.В. Внедренная система управления качества – предпосылка экономического успеха развивающейся компании. Полимерные трубы - производство и качество [Электронный ресурс] / А.В. Семенец, В.И. Олофинский. – Режим доступа: <http://polypipe.info/production-quality/217-sistemaypravleniyakachestvom> (дата обращения: 26.12.2016).

55. Суханцев, С.С. Управление качеством металлопродукции в задаче перепланирования производственного процесса в условиях неполноты исходной информации : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Суханцев Сергей Станиславович. – Пермь, 2015. – 20 с.

56. Тарасова, О.Г. Исследование и совершенствование стандартных способов контроля и повышения качества пилопродукции : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Тарасова Ольга Германовна. – М., 2011. – 27 с.

57. ГОСТ 24525.2-80 Управление производственным объединением и промышленным предприятием. Управление качеством продукции. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 58 с.

58. Система КСУКП. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://shei-sama.ru/publ/golovnye\\_ubory/34\\_kompleksnaja\\_sistema\\_upravlenija\\_kachestvom\\_produkcii/48-1-0-697](http://shei-sama.ru/publ/golovnye_ubory/34_kompleksnaja_sistema_upravlenija_kachestvom_produkcii/48-1-0-697) (дата обращения: 16.10.2017).

59. Система ДЖИТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aup.ru/books/m93/3\\_4.htm](http://www.aup.ru/books/m93/3_4.htm) (дата обращения: 16.10.2017).
60. Исаев, В.А. Управление качеством. [Электронный ресурс] / В.А. Исаев – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/262024> (дата обращения: 20.02.2018).
61. Rampersad, H.K. TPS-Lean Six Sigma: Linking Human Capital to Lean Six Sigma. A New Blueprint for creating High Performance Companies / H.K. Rampersad, A. Ei-Homsi // Inform. Age Publishing, INC. – Charlotte, N. C. – 2007. – P. 20-66 (416 p.).
62. Ключков, Ю.С. Совершенствование системы управления качеством продукции на основе развития модели потребительской оценки и анализа самоорганизации процессов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Ключков Юрий Сергеевич. – Самара, 2011. – 32 с.
63. Бигеев, В.А. Совершенствование технологии производства стали марки 80P в условиях ПАО "ММК" / В.А. Бигеев, А.О. Кретова, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев, С.О. Малашкин, Г.Я. Атангулова // Теория и технология металлургического производства. – 2019. № 4(31). – С. 18-25.
64. Терентьев, Д.В. Методология модернизации и совершенствования условий эксплуатации тяжело нагруженных узлов металлургических агрегатов / Д.В. Терентьев, С.И. Платов, Н.Н. Огарков, Ю.В. Жиркин // В сборнике: Перспективные материалы и технологии. Материалы международного симпозиума. В 2-х частях. Под редакцией В.В. Рубаника. – 2017. – С. 254-256.
65. Баланцева, М.А. Разработка информационно-аналитической системы для управления качеством при производстве асфальтобетонных смесей : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Баланцева Мария Александровна. – М., 2012. – 11 с.
66. Граденко, В.Т. Интегрированная система управления качеством в производстве бытовой радиоэлектронной аппаратуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Граденко Василий Тихонович. – Воронеж, 1995. – 11 с.
67. Муся, А.М. Оценка и улучшение качества программных комплексов многофункциональных центров по предоставлению государственных и

муниципальных услуг : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Муся Андрей Михайлович. – СПб., 2015. – 18 с.

68. Моллер, А.Б. Квалиметрическая оценка компетентности персонала металлургического предприятия / А.Б. Моллер, А.С. Лимарев, И.В. Логинова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. № 1(33). – С. 54-58.

69. Чукин, М.В. Развитие теории качества металлопродукции (научный обзор) / М.В. Чукин // Качество в обработке материалов. – 2015. – № 1(3). – С. 5-10 (86 с.).

70. Пат. 2004/003877 Great Britain, МПК G06F 17/50. Sequential optimization combined method. Keane A., Voutchkov I., Bhaskar A.; заявитель и патентообладатель Electric digital data processing. – № 2005/027002, заявл. 10.09.2004, опубл. 24.03.2005. – 4 с.

71. Пат. 204360417 China, МПК G06Q 7/10. Tea quality tracking management system based on two-dimensional code. Qiu R., Zhao J., Chen H., Hi M., Weng Q.; заявитель и патентообладатель Beijing Hong diantuofang technology development Co., Ltd. – № 201520002037.8, заявл. 05.01.2015, опубл. 27.05.2015. – 3 с.

72. Пат. 2007113976 Российская Федерация, МПК G09B 19/00. Применение устройства волчка в качестве наглядного пособия при изучении основных законов и принципов менеджмента и способ использования устройства волчка в соответствии с этим назначением. Волков О.Г., Волков А.О.; заявитель патентообладатель Волков О.Г., Волков А.О. – № 2007113976/12, заявл. 13.04.2007, опубл. 27.10.2008. – 3 с.

73. Пат. 2013012100 Japan, МПК G05B 19/41. Method of production regulation and production management systems. By S., Shiga M., Suzuki M., Takashiba T., Masui H.; заявитель и патентообладатель Olympus Co., Ltd. – № 2011145109, заявл. 30.06.2011, опубл. 17.01.2013. – 3 с.

74. Пат. 104217279 China, МПК G06Q 10/06. Four-dimensional multi-angle estimates for the enterprise process management system. Niu Q., Bi Y.; заявитель и

патентообладатель Institute of plant protection of fujian academy of agriculture. – № 201410354982.4, заявл. 24.07.2014, опубли. 17.12.2014. – 3 с.

75. Елисеева, Т.А. Снижение риска производителя технических систем на этапе проектирования совершенствованием оценки надежности : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Елисеева Татьяна Алексеевна. – Тула, 2017. – 139 с.

76. Максимова, О.В. Исследование эффективности работы контрольных карт Шухарта : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Максимова Ольга Владимировна. – М., 2012. – 26 с.

77. Витчук, Н.А. Поэтапное совершенствование производственного процесса изготовления трубопроводов газотурбинных двигателей с использованием методов управления качеством : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Витчук Наталья Андреевна. – Курск, 2017. – 20 с.

78. Shewhart, W.A. Statistical method from the viewpoint of quality control [Электронный ресурс] / W.A. Shewhart, W. E. Deming // New York: Dover Publ.. – Режим доступа: <https://www.worldcat.org/title/statistical-method-from-the-viewpoint-of-quality-control/oclc/258505297?referer=di&ht=edition> (дата обращения: 25.02.2017). – 1986. – 155 p.

79. Олешко, А.Ю. Концептуальные положения системы управления качеством производства боралюминиевых трубчатых элементов ферменных конструкций космических аппаратов / А.Ю. Олешко, Т.Н. Антипова // Информационно-технологический вестник. – 2016. – № 3. – С. 108–113.

80. ГОСТ Р 50583-93 Материалы композиционные полимерные. Номенклатура показателей. – М.: Стандартинформ, 1993. – 12 с.

81. ГОСТ Р 54072-2010 Изделия космической техники. Материалы композиционные полимерные. Номенклатура показателей. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.

82. ГОСТ 4.200-78 Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.

83. ОСТ 92-0004-86 Материалы и покрытия. Порядок паспортизации [Текст]. – М.: Минпромторг, 1988. – 36 с.

84. ОСТ 134-1048-2010 Нормативный документ РКТ. Материалы композиционные. Номенклатура показатели свойств. – М.: ЦКБС ФГУП «ЦНИИмашиностроения», ОАО «Композит», 2010. – 18 с.

85. План мероприятий по обеспечению качества и надёжности ракетно-космической техники на период до 2025 года. – М.: Роскосмос. – 30.12.2019. – № 118-ПЛ. – 43 с.

86. Положение о системе управления качеством Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» и её организаций. – М.: Роскосмос. – 20.02.2017. – № 48. – 27 с.

87. Снимщиков, С.В. Совершенствование нормативной базы на прокат арматурный с применением принципов комплексной и опережающей стандартизации : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Снимщиков Сергей Валентинович. – Магнитогорск, 2019. – 16 с.

88. Chukin, M.V.E. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V.E. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. – 2013. № 5(45). – С. 33-35.

89. Колокольцев, В.М. Количественные характеристики дендритной структуры жароизносостойких белых чугунов / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, А.А. Ахметова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2016. Т.1. – С. 140-144.

90. Цыганов, А.В. Иерархическая декомпозиция качества процесса контейнерных перевозок / А.В. Цыганов // Качество в обработке материалов. – Магнитогорск. – 2018. – № 2(10). – С. 46-49 (68 с.).

91. Процессный подход [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.kpms.ru/General\\_info/Process\\_approach.htm](https://www.kpms.ru/General_info/Process_approach.htm) (дата обращения: 07.01.2017).

92. Забулонов, Д.Ю. О системах менеджмента качества полимерных материалов / Д.Ю. Забулонов // Полимерные материалы. – 2011. – № 8. – С 26-29.
93. Бойцов, В.В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производствах / В.В. Бойцов // Комплексная стандартизация элементов производственных процессов в машиностроении. – М: Машиностроение. 1971. 2-е изд. перераб. и доп. – 416 с.
94. 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. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-55-62>.
95. Kawakita, J. I do Daigaku or Free Campus University [Электронный ресурс] / J. Kawakita // Research in Higher Education-Daigaku Ronshu. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/316683376> (дата обращения: 24.06.2016). – 1977. – Р. 91-102.
96. Scupin, R. The KJ Method A Technique for Analyzing Data Derived from Japanese Ethnology / R. Scupin // Human Organization. – Society for Applied Anthropology. – 1997. – Volume 56. – № 2. – Р. 233-237.
97. Михайловский, И.А. Анализ качества автомобильных компонентов и используемых в процессе их производства операций ОМД путем иерархической декомпозиции качества / И.А. Михайловский, Е.И. Гун // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. № 10-1. – С. 143-149.
98. Михайловский, И.А. Разработка методики оценки значимости параметров продукции и технологических операций её производства с точки зрения влияния на качество / И.А. Михайловский, Е.И. Гун // Век качества. – 2014. № 3. – С. 28-33.
99. Исаев, В.Г. Концептуальные положения управления качеством системы производства композиционных материалов для ракетно-космической техники / В.Г. Исаев, Т.Н. Антипова // Информационно-технологический вестник. – 2017. – № 4(14). – С. 30-38 (208 с.).

100. Морозов, С.А. Метод оценки и средства улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров хранения и обработки данных : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Морозов Сергей Александрович. – СПб., 2018. – 17 с.

101. Голубчик, Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции / Э.М. Голубчик // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. № 1. – С.63-68

102. Полякова, М.А. Развитие теории оценки согласованности технических требований на металлопродукцию при разработке нормативной и технической документации : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Полякова Марина Андреевна. – Магнитогорск, 2017. – 36 с.

103. ГОСТ 3.1118-82 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт. – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.

104. Алексеев, Д.И. Оценка и контроль формирования качества доменного кокса на основе параметра истираемости : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Алексеев Данил Игоревич. – Магнитогорск, 2019. – 17 с.

105. Дементьев, С.А. Разработка и реализация корпоративной системы оценки качества деятельности фирменной сети автосервиса : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Дементьев Сергей Алексеевич. – Тольяти, 2017. – 16 с.

106. Олешко, А.Ю. Получение металлического композиционного материала, армированного волокнами карбида кремния / А.Ю. Олешко, Е.Н. Корзова, Н.Е. Лещев, Т.К. Потапова // «Функциональные нано материалы и высокочистые вещества»: сборник материалов VI Международной конференция с элементами научной школы для молодежи. – М: ИМЕТ РАН, 2016. – С. 155–156 (344 с.).

107. Осмола, И.И. Разработка методик совершенствования системы менеджмента качества организаций на основе комплексной стандартизации и управления рисками : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Осмола Ирина Ивановна. – М., 2012. – 28 с.

108. Мелихов, А.В. Повышение эффективности систем менеджмента качества на основе совершенствования процессов взаимодействия с потребителем : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Мелихов Алексей Валентинович. – М., 2015. – 179 с.

109. ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

110. Вдовин К.Н. Оценка качества литейного кокса по значениям показателей качества / К.Н. Вдовин, В.А. Иванова // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 2(17). – С. 44-48.

111. Иванова, В.А. Разработка методологических основ оценки и обеспечения качества литейного кокса : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Иванова Валерия Анатольевна. – Магнитогорск, 2018. – 36 с.

112. Куликова, Д.И. Профессиональный стандарт для предприятий по производству наноструктурированных композиционных материалов / Д.И. Куликова, И. Ф. Сабиров // Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2015. – 1-2. – С. 58-60.

113. Тулупов, О.Н. Управление качеством сортового проката путем использования рациональных предупреждающих действий при настройке станков / О.Н. Тулупов, Н.А. Ручинская, А.Б. Моллер, А.С. Лимарев, А.Н. Луценко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 4 (20). – С. 73-80.

114. Пантелеев, А.С. Совершенствование системы управления качеством буровых растворов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Пантелеев Александр Сергеевич. – М., 2016. – 33 с.

115. Плахотникова, Е.В. Методология обеспечения качества продукции ответственного назначения при интеграции разнородных элементов в единую техническую систему (на примере технической системы «электропривод – запорная арматура – система управления») : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Плахотникова Елена Владимировна. – Тула, 2017. – 39 с.



116. Штырев, О.О. Методические основы выбора критериев качества структурных элементов сложных технических систем для нефтегазового комплекса на этапе стандартизации : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Штырев Олег Олегович. – М., 2017. – 26 с.

117. Ястребов, В.А. Метод управления качеством разработки программных комплексов обработки и передачи данных : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Ястребов Виктор Анатольевич. – СПб. 2017. – 18 с.

118. Биктимирова, Г.Ф. Разработка метода информационно-технологического сопровождения качества автокомпонентов на этапах подготовки производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Биктимирова Гузель Фанисовна. – М., 2018. – 22 с.

119. Газизулина, А.Ю. Повышение результативности стандартизации в организациях на основе совершенствования процедуры внедрения норм, требований и правил : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Газизулина Альбина Юсуповна. – СПб, 2016. – 18 с.

120. Лукьянова, К.С. Управление качеством поверхности горячекатаной травленной ленты с применением амплитудно-частотного анализа профиля : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Лукьянова Ксения Сергеевна. – Магнитогорск, 2019. – 17 с.

121. Чукин, М.В. Возможности применения фрактальных множеств при управлении показателями качества в технологических системах / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, К.С. Хамутских // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т.1. № 71. – С. 213-216.

122. Чукин М.В. Исследование возможности управления шероховатостью поверхности горячекатаной травленной ленты / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.Ш. Рубин, К.С. Лукьянова, Телегин В.Е. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2015. – Т.1. – С. 164-167.

123. Мезин, И.Ю. Современные подходы к управлению качеством продукции для железнодорожной отрасли / И.Ю. Мезин, И.Г. Гун, А.С. Лимарев, М.Ю. Ушаков, В.Л. Стеблянко, С.А. Федосеев // Вестник Магнитогорского

государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2017. Т.15. № 3. – С. 54-61.

124. ГОСТ 19.701-90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 23 с.

125. [Weibull, W. A statistical distribution function of wide applicability](#) [Электронный ресурс] / W. [Weibull](#) // J. Appl. Mech.-Trans. ASME. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/88c3/7770028e7ed61180a34d6a837a9a4db3b264.pdf> (дата обращения: 26.04.2011). – 1951. – Т. № 18(3). – P. 293-297.

126. Олешко, А.Ю. Исследование компактирования плазменно-напыленного матричного материала боралюминиевых металлокомпозитов / А.Ю. Олешко, В.И. Потапов, В.И. Цыруль // Перспективные материалы. – № 11.– 2011. – С. 373-375.

127. Олешко, А. Ю. Улучшение борного волокна химической полировкой для армирования алюминия / А.Ю. Олешко, Д.В Сидоров, В.В. Тимонин, Е.Н. Щербакова // «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества»: сборник материалов IV Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – М: ИМЕТ РАН, 2012. – С. 261-262 (476 с.).

128. ТУ 2112-065-00209013-2009 Нити борные. Технические условия. – М. – 2009. – 10 с.

129. ТУ 1798-523-56897835-2011 Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор». Технические условия. – Королев Московской области. – 1994. – 16 с.

130. Тимофеев, А.Н. Система автоматического регулирования механическими колебаниями композиционных элементов конструкций [Электронный ресурс] / А. Н. Тимофеева, В. С. Шайдуров, В. М. Чернов // Конструкции из композиционных материалов – межотраслевой научно-технический журнал. – Режим доступа: [http://izdat.ntckompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=154&ELEMENT\\_ID=13166](http://izdat.ntckompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=154&ELEMENT_ID=13166) (дата обращения: 25.07.2017). – 2008. – № 3. – С. 68-71 (82 с.).

131. ТУ 92-932-1-140-94 Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМг6-В с законцовками из алюминиевого сплава АМг6. Технические условия. – Королев Московской области. – 1994. – 54 с.

132. ТУ 92-932-1-187-2007 Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМг6-В с законцовками. Технические условия. – Королев Московской области. – 2007. – 29 с.

133. ГОСТ 7871-75 Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 14 с.

134. Олешко, А.Ю. Получение боралюминиевых трубчатых элементов для несущих конструкций космических аппаратов / А.Ю. Олешко, В.И. Цыруль, Н.Е. Лещев, Е.Н. Корзова, Т.К. Потапова // «Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»: сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции. – Москва: ФГУП ВИАМ, 2016. – С. 1-9 (410 с.).

135. Олешко, А.Ю. Разработка математических моделей для определения оптимальных параметров операций технологического цикла получения трубчатых элементов из боралюминия для нагруженных конструкций / А.Ю. Олешко, Т.Н. Антипова // Конструкции из композиционных материалов – межотраслевой научно-технический журнал. – 2017. – № 3(147). – С. 28–33.

136. Олешко, А.Ю. Управление качеством процесса изготовления боралюминиевых трубчатых элементов / А.Ю. Олешко, Т.Н. Антипова // «Инновационные аспекты социально-экономического развития региона»: сборник статей по материалам участников V ежегодной конференции аспирантов ФТА. – М.: Издательство «Научный консультант», 2014. – С. 382–386 (646 с.).

137. Clark, W. The Gantt. Chart, a working tool of management [Электронный ресурс] / W. Clark, H. Gantt // New York: Ronald Press. – Режим доступа: <https://archive.org/details/ganttchartworkin00claruoft/page/88> (дата обращения: 23.06.2016). – 1922. – 157 p.

138. Pareto, V. The Rise and Fall of the Elites: an Application of Theoretical Sociology. Totowa: Bedminstar Press [Электронный ресурс] / V. Pareto // Bedminster

Press. – Режим доступа: <https://www.amazon.com/rise-fall-elites-application-theoretical/dp/B0007DFH76> (дата обращения: 25.06.2016). – 1968. – 120 p

139. ГОСТ 10498-82 Трубы бесшовные особотонкостенные из коррозионностойкой стали. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 1988. – 6 с.

140. Шоршоров, М.Х. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей: учебник / М.Х. Шоршоров, А.И. Колпашников, В. И. Костиков и др. Под ред. М. Х. Шоршорова. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.

141. Исаев, В.Г. Напыление в динамическом вакууме – дальнейший путь улучшения качества покрытий / В.Г. Исаев, А.Г. Костылев // Информационно-технологический вестник. – 2016. – № 3(09). – С. 114-118 (140 с.).

142. Плошкин, В. В. Материаловедение: учеб. пособие / В.В. Плошкин. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – С. 390-391.

143. Цветкова, Е.В. Особенности формирования структуры и свойств аустенитной стали 03х17н14м3 в процессе селективного лазерного плавления и последующей термической обработки : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Цветкова Елена Валерьевна. – М., 2017. – 140 с.

144. Иванова, И.В. Разработка технологии и оборудования для дуговой сварки в среде защитного газа в условиях воздействия ветра : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.10 / Иванова Ирина Владимировна. – М., 2017. – 16 с.

145. Солибеков, С.Е. Структура и свойства композиционных материалов: учебник / С.Е. Салибеков, К.И. Портной. – М.: Машиностроение, 1979. – 312 с.

146. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 23 с.

147. Салганик, В.М. Адаптация математической модели регулирования процесса прокатки на стане 5000 ОАО "ММК" для получения полос высокого качества по профилю / В.М. Салганик, П.П. Полецков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2011. Т.1. № 69. – С. 245-247.

148. Салганик, В.М. Математические модели для предсказания механических свойств листового проката повышенной прочности из стали марки Н220Р / В.М. Салганик, М.С. Гущина // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2013. № 19. – С. 3-8.

149. Волков, И.В. Разработка технологии ремонта газопроводов в условиях интенсивного теплоотвода : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.10 / Волков Игорь Владимирович. – М., 2017. – 18 с.

150. ГОСТ Р 56656-2015 Композиты металлические. Метод определения характеристик прочности при растяжении армированных волокнами композитов с металлической матрицей. – М.: Стандартинформ, 2016. – 23 с.

151. Логунов, Л.П. Комплексная методика совершенствования процессов ротационной вытяжки элементов конструкций топливных баков ракет-носителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02 / Логунов Леонид Петрович. – М., 2018. – 21 с.

152. Чо, Х. Методика комплексного анализа характеристик перспективных космических аппаратов мониторинга природной среды : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02 / Чо Хюнчжэ. – М., 2018. – 25 с.

153. Моллер, А.Б. Управление качеством продукции на основе инновационной стратегии предприятия / А.Б. Моллер, А.С. Лимарев, О.С. Каледина // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. № 4(61). – С. 45-50.

154. Винокурова, М.Э. Сборка регулируемых цилиндрических клеевых соединений : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Винокурова Маргарита Эдуардовна. – М., 2017. – 133 с.

155. Баданина, Ю.В. Технологическое проектирование высокопористых теплоизолирующих конструкций насосно-компрессорных труб из коротких базальтовых волокон на основе метода жидкостной фильтрации : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Баданина Юлия Владимировна. – М., 2017. – 171 с.

156. Лашнев, М.М. Повышение несущей способности высоконагруженных зубчатых колес из стали 13Х3Н3М2ВФБ-Ш саособом вакуумной нитроцементации

: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09 / Лашнев Михаил Михайлович. – М., 2018. – 163 с.

157. Михеев, В.А. Обеспечение качества новых функциональных материалов для теплопроводящих покрытий на стадии разработки и производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Михеев Владислав Александрович. – СПб., 2018. – 18 с.

158. Ридный, Я.М. Определение оптимальных параметров моделирования для максимально точных расчётов энергий в ОЦК-железе / Я.М. Ридный, А.А. Мирзоев, Д.А. Мирзаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2016. Т.8. № 4. – С. 63-69.

159. Бойцов, Б.В. Методы неразрушающего контроля, применяемые для конструкций из ПКМ / Б.В. Бойцов, С.Л. Васильев, А.Г. Громашев, С.А. Юргенсон // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011. – № 49. – 11 с.

160. Закиров, Д.М. Разработка метода оценки результативности производственного процесса изготовления крепежных изделий [Электронный ресурс] / Д.М. Закиров, С.С. Скворцова, И.Ю. Мезин, Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин // Известия вузов. Черная металлургия. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9296396> (дата обращения: 25.06.2019). – 2006. – № 10. – С. 57-60.

161. Богатеев, Г.Г. Контроль качества изделий из композиционных материалов: учебное пособие / Г.Г. Богатеев, А.М. Коробков. – Казань: Методическая комиссия инженерного химико-технологического института КГТУ, 2018. – 29 с.

162. Котов, С.А. Научно-технологическая технология повышения эффективности размерной обработки углепластиков непрерывным излучением волоконного иттербиевого лазера / С.А. Котов, А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, Ю.Ю. Инфимовский, В.В. Блинков // Технологии прототипирования и лазерной обработки. – 2017. – № 11(77). – С. 33–39.

163. Колесников, А.Г. Многослойные конструкционные материалы с ламинарным строением / А.Г. Колесников, А.И. Плохих // Металлургия машиностроения. – 2016. – № 2. – С. 20–22.

164. Перспективные космические материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.poznovatelno.ru/space/8377.html> (дата обращения: 12.01.2018).

Таблица П.1.1 – Номенклатура и степень обязательности показателей свойств композиционных материалов [84]

Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
<b>1 Механические свойства</b>				
1.1 Разрушающее напряжение при растяжении в направлении оси армирования (ось 1)	$\sigma_1^+$	МПа	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603 ГОСТ 11262	++
1.2 Разрушающее напряжение при растяжении в направлении перпендикулярном к армированию (ось 2)	$\sigma_2^+$	МПа	ГОСТ 25.601 ГОСТ 11262	++
1.3 Разрушающее напряжение при сжатии в направлении оси армирования	$\sigma_1^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 4651	++
1.4 Разрушающее напряжение при сжатии в направлении перпендикулярном к армированию	$\sigma_2^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 4651	++
1.5 Предел текучести при растяжении в направлении оси армирования	$\sigma_T$	МПа	ГОСТ 11262	+
1.6 Относительное удлинение при пределе текучести	$\xi_T$	%	ГОСТ 11262	+
1.7 Относительное удлинение при разрушении в направлении оси армирования	$\xi_1$	%	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.602 ГОСТ 11262	++
1.8 Относительное удлинение при разрушении в направлении, перпендикулярном к оси армирования	$\xi_2$	%	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.602 ГОСТ 11262	++



Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
1.9 Модуль упругости при растяжении в направлении оси армирования	$E_1^+$	МПа	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603 ГОСТ 9550	++
1.10 Модуль упругости при растяжении в направлении, перпендикулярном к оси армирования	$E_2^+$	МПа	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603 ГОСТ 9550	++
1.11 Модуль упругости при сжатии в направлении оси армирования	$E_1^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 9550	++
1.12 Модуль упругости при сжатии в направлении, перпендикулярном к оси армирования	$E_2^-$	МПа	ГОСТ 25.602 ГОСТ 9550	++
1.13 Коэффициент Пуассона в плоскости 12 при растяжении в направлении оси армирования	$\nu_{12}^+$	–	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.602	++
1.14 Коэффициент Пуассона в плоскости 12 при сжатии в направлении армирования	$\nu_{12}^-$	–	ГОСТ 25.601 ГОСТ 25.603	(+)
1.15 Разрушающее напряжение при сдвиге в плоскости 12	$\tau_{12}$	МПа	ГОСТ 24778 ГОСТ Р 50578	++
1.16 Модуль сдвига в плоскости 12	$\sigma_{12}$	МПа	ГОСТ 24778	(+)
1.17 Разрушающее напряжение при поперечном изгибе	$\sigma_{и}$	МПа	ГОСТ 25.604	(+)
1.18 Модуль упругости при поперечном изгибе	$E_{и}$	МПа	ГОСТ 25.604 ГОСТ 9550	(+)
1.19 Разрушающее напряжение на срез	$\sigma_{ср}$	МПа	ГОСТ 17302	+
1.20 Длительная прочность при растяжении	$\sigma_t$	МПа	ГОСТ 18197	+
1.21 Долговечность при ползучести при растяжении	$t_p$	ч	ГОСТ 18197	+
1.22 Сопротивление усталости при циклическом	$\sigma_{max}$ $N$	–	Технические условия на материал	+

Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
растяжении, сжатии и растяжении – сжатии				
1.23 Разрушающее напряжение при смятии	$\sigma_{см}$	МПа	Технические условия на материал	+
<b>2 Физико-химические свойства</b>				
2.1 Плотность	$\rho$	г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 15139	++
2.2 Коэффициент линейного теплового расширения в направлении оси армирования	$\alpha_1$	°С <sup>-1</sup>	ГОСТ 15173	+
2.3 Коэффициент линейного теплового расширения в направлении, пер- пендикулярном к армированию	$\alpha_2$	°С <sup>-1</sup>	ГОСТ 15173	+
2.4 Теплопроводность в направлении оси армирования	$\lambda_1$	Вт/м·К	ГОСТ 23630.2	+
2.5 Теплопроводность в направлении, перпендикулярном к армированию	$\lambda_2$	Вт/м·К	ГОСТ 23630.2	+
2.6 Удельная теплоемкость	$C_p$	Дж/кг·К	ГОСТ 23630.1	+
2.7 Газопроницаемость	$G$	м·Па <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	ГОСТ 23553	+
2.8 Ударная вязкость	$\alpha$	кДж/м <sup>2</sup>	ГОСТ 4647	+
2.9 Предельное водопоглощение	$M_{max}$	%	ГОСТ 4650 ГОСТ 12020	+
2.10 Коэффициент влагопроницаемости	$P$	г·см/(см <sup>2</sup> ·с)	ГОСТ 12020	+
2.11 Коэффициент диффузии влаги	$D$	см <sup>2</sup> /с	ГОСТ 12020	+
2.12 Удельное объемное электрическое сопротивление	$\rho_v$	Ом·м	ГОСТ 20214 ГОСТ 6433.2	+
2.13 Удельное поверхностное электрическое сопротивление	$\rho_s$	Ом	ГОСТ 6433.2	+

Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
2.14 Диэлектрическая проницаемость	$\epsilon$	–	ГОСТ 22372	+
2.15 Радиационная удельная объемная электропроводимость	$\sigma_p$	См/м	ГОСТ 25645.323	+
2.16 Поглощенная доза излучения	$D_{и}$	кГр	ГОСТ 9.706 ГОСТ 25645.323 РД 50-25645.216	++
2.17 Радиационная потеря массы	$M_p$	%	Технические условия на материал	+
<b>3 Показатели надежности</b>				
3.1 Гарантийный срок хранения	–	мес.	Технические условия на материал	+
<b>4 Дизайн</b>				
4.1 Внешний вид	–	Соответствие образцу-эталону	Технические условия на материал	+
4.2 Цвет	–	Соответствие образцу-эталону	Технические условия на материал	+
<b>5 Технологические свойства</b>				
5.1 Усадка	–	%	ГОСТ 18616	+
<b>Примечания</b>				
<p>1 Знаком «++» обозначены основные показатели свойств композиционных материалов. К ним относят показатели, необходимые для проектирования деталей, работающих при статических силовых нагрузках.</p> <p>Знаком «(+)» обозначены показатели свойств, определяемые на этапах разработки материалов.</p> <p>Знаком «+» обозначены дополнительные показатели свойств композиционных материалов. К ним относят показатели, определяемые по требованию потребителя.</p>				

Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель	Степень обязательности показателя
<p>По согласованию с потребителем допускается дополнение состава основных и дополнительных показателей свойств и их количества в соответствии с нормативной и технической документацией на конкретную продукцию.</p>				
<p>2 Знаки «+»; «-», используемые в качестве верхних индексов в механических характеристиках, относятся к нагружению соответственно при растяжении и при сжатии.</p>				
<p>3 Направления осей координат 1,2,3 приведены на рисунке ниже.</p>				
				

Таблица П.1.2 – Номенклатура основных показателей безопасности полимерных композиционных материалов [84]

Наименование показателя	Обозначение показателя		Единица измерения	Обозначение нормативного документа на показатель
1 Кислородный индекс	КИ		%	ГОСТ 12.1.044 ГОСТ 21793
2 Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	$H_{CL50}$		г·м <sup>3</sup>	ГОСТ 12.1.044
3 Температура тления	t		°С	ГОСТ 12.1.044
4 Коэффициент дымообразования	D		м <sup>2</sup> /кг	ГОСТ 12.1.044
5 Стойкость к горению	V		мм/с	ГОСТ 28157
6 Предельно допустимая концентрация веществ, выделяемых материалом при хранении	ПДК		мг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 12.1.005
7 Степень воздействия на организм	Класс опасности		–	ГОСТ 12.1.007
8 Стойкость к воспламенению от раскаленного стержня	t, L		с, мм	ГОСТ 10456
9 Температура самовоспламенения	t		°С	ГОСТ 12.1.044

## ФГУП "ГНИИХТЭОС"

ОКП 21 1294

Группа М 91

УТВЕРЖДАЮ

 Генеральный директор  
 ФГУП "ГНИИХТЭОС"

 П. А. Стороженко  
 2009 г.

Нити (волокна) борные ④  
~~НИТИ БОРНЫЕ~~

Технические условия

ТУ 2112-065-00209013-2009

 (опытные партии) 01.01.2022 г. ③  
 ①

Срок действия с 01.06.2009 г. до 01.06.2012 г.

СОГЛАСОВАНО

ОАО "КОМПОЗИТ"

 Первый заместитель  
 Генерального директора


 А. Н. Тимофеев  
 2009 г.

РАЗРАБОТАНО

ФГУП "ГНИИХТЭОС"

Начальник лаборатории

 Д.В. Сидоров  
 20.04. 2009 г.

Начальник НИОСК

 Г.И. Панфиленок  
 20.04. 2009 г.

 МОСКВА  
 2009

	ОАО «Композит»
	ОКП 179829 <span style="float: right;">ГРУППА В-64</span>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>СОГЛАСОВАНО</p> <p>Генеральный директор ФГУП ГИИИХ ЭОС</p>  <p>М.А. Сторженко 2011 г.</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>УТВЕРЖДАЮ</p> <p>Первый заместитель генерального директора ОАО «Композит»</p>  <p>А.Н. Тимофеев 2011 г.</p> </div> </div>
	<p><b>Лента-полуфабрикат композиционного материала «алюминий-бор»</b></p> <p><b>ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ</b> ТУ 1798-523-56897835-2011</p>
	Дата введения: 2011-12-21
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>И. о. начальника БНИОС-8</p>  <p>Е.Ю. Гаврючин</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>РАЗРАБОТАНО</p> <p>Начальник отделения 0400</p>  <p>Т.К. Потапова</p> <p>Ведущий инженер</p>  <p>А.Ю. Олешко</p> <p>Инженер</p>  <p>Е.Н. Щербакова</p> </div> </div>
	Королев Московской обл. 2011
<p>Име. № подл.   Подпись и дата</p> <p>Взам. инв. №   Подпись и дата</p> <p>Име. № дубл.   Подпись и дата</p>	<p>① Зам. Изв. 932.1.03 - 2012</p>

ОАО «Композит»

ОКПД.2 24.45.30.390 (12)  
~~ОКПД.2 24.45.30.390~~

ОКС 49.025.15 (12)  
Группа В-64

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального  
конструктора-руководитель ОКБ  
ФГУП НИО им. С.А. Давиденко



М. Б. Мартынов

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального  
директора ОАО «Композит»



А. Н. Тимофеев

«Заготовки боралюминиевых трубчатых элементов марки АМг6-В  
с законцовками из алюминиевого сплава АМг6»

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ТУ 92-932-1-140-94

(взамен ТУ 92-932-1-140-85)

~~Срок действия до 20.02.2014~~ (12)

Начальник-главный конструктор центра

В. П. Макаров

Начальник отдела

В. М. Цвелев

Начальник отделения 0400

Т. К. Потапова

Начальник БИНОС-8

Е. Ю. Гаврючкин

1382 ВП МО РФ

В. Л. Рануткин

1994 г.



КОД ОКП <sup>02 24 45 30 390</sup> 179829 <sup>6</sup>

ТУ 92-932-1-187-2007

ОМС 49.025.45  
ГРУППА В-64 <sup>3</sup>

СОГЛАСОВАНО

Зам. Генерального конструктора –  
Директор ОЦ ТМС  
ФГУП «НПО ЦМД им. академика  
М.Ф.Решетнева»



ПОДПИСАЮ  
..... А.Н. Тимофеев  
.....2006г.



В.И.Халиманович

ЗАГОТОВКИ БОРАЛЮМИНИЕВЫХ  
ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАРКИ  
АМг6-В С ЗАКОНЦОВКАМИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ТУ 92-932-1-187-2007  
(Взамен ТУ 92-932-1-187-87)

Срок действия:  
2007.01.01 – 2011.12.31  
<sup>2016.12.30</sup> <sup>3</sup>  
Бессрочно <sup>3</sup>

Согласовано:

Заместитель директора ОЦ ТМС

14.02.07

А.В.Томчук

Разработано:

Предприятие ОАО «Композит»

Начальник отделения 0400

В.П. Воеводин

Начальник сектора 0410

Т.К. Потапова

Начальник группы

В.И. Цыруль

Начальник БНИОС-8

А.А. Зотов



