

*for the qualification of personnel. This increases the requirements for the reliability of the elements of the upper structure of the path.*

**Keywords:** *railway transport, train safety, technical means, reliability of elements, upper structure of the track, rails, switches, sub-rail base, integrated approach.*

УДК 621

**ПЕРЕВЕРТОВ В.П.** – к.т.н., доцент (Российская Федерация, г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения)

**АБУЛКАСИМОВ М.М.** – ст. преподаватель (Российская Федерация, г. Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

**АКАЕВА М.О.** – к.т.н., ст. преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

## **КЛАССИФИКАЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

### **Аннотация**

*Рассмотрена классификация порошковых наноматериалов для альтернативных технологий формообразования деталей на основе анализа эволюции развития мировых технологий – «Индустрия 1.0» – «Индустрии 4.0». Этап «Индустрии 4.0» – это развитие «умных» производственных систем (УПС), составными элементами которой являются гибкие производственные системы (ГПС), «умные» инфраструктура и вокзалы, дома и интернет-магазины, роботизированный умный подвижной состав и т.д. Тренд «Индустрии 4.0» – это аддитивные технологии (АТ) и быстрое производство изделий с помощью технологий 3D и 4D – печати (3D и 4D-принтер), управляемые концентрированные потоки энергии (лазерные, плазменные, ионные), системы контроля и диагностики параметров технологии в составе цифровых (адаптивных) систем управления, быстродействующие датчики и исполнительные органы технологического оборудования – основные элементы умных производственных систем (УПС). 4D-принтер использует для печати реальных объектов не только три измерения (X.Y.Z), но и четвертое измерение – время (T).*

**Ключевые слова:** *альтернативные технологии (традиционные и аддитивные), технологии 3D (4D) печать, композиты и наноматериалы, «умные» материалы.*

### **Введение.**

Аддитивные технологии (АТ) – это технологии АМ (AF) или 3D (4D) печать послойного лазерного (плазменного и т.д.) сплавления – спекания порошковых материалов, включая композиционные и нанокристаллические материалы, позволяющие в автоматизированном цифровом режиме строить трехмерные изделия по компьютерной модели, сокращающие время и затраты на получение изделия, устраняющие дефекты, приводящие к отказам и уменьшающие трудоемкость обработки материалов, называют «технологией 5-го промышленного уровня» [1-3].

Анализ работ по изучению технологий послойного синтеза металлических, полимерных, металлокерамических и нанопорошковых композиций формообразования деталей (заготовок) показал тренд исследований: внедрение в промышленность высокопроизводительных лазерных и плазменных технологических систем для спекания и сплавления металlopорошковых композиций, оснащенных системами контроля,

диагностики и адаптивного (интеллектуального) управления альтернативными технологиями, обеспечивающих надежность оборудования и качество продукции в условиях УПС [4-7].

### **Основная часть.**

Общим требованием к порошковому материалу для АМ(АF)-машин является сферическая форма частиц, обеспечивающую более компактную укладку частиц порошка в определенный объем, а также «текучесть» порошковой композиции с минимальным сопротивлением в системах подачи порошкового материала. Методы получения порошковых материалов разделяют на физико-химические и механические. К физико-химическим относят методы, связанные с физико-химическими превращениями исходного сырья, при этом химический состав и структура конечного продукта – порошковый материал существенно отличается от исходного материала. Механические методы обеспечивают производство порошкового материала из сырья без изменения химического состава. К ним относятся многочисленные варианты размол в мельницах, а также диспергирование (атомизация) процесса. Частицы порошков, получаемых механическими методами путем размол, имеют осколочную, неправильную форму и содержат примеси и продукты износа. Методы не применяют для получения порошков, используемых в АТ, а применяют в традиционных технологиях формообразования деталей.

Порошковые материалы (порошки) – сыпучие материалы с размером частиц до 1,0 мм – классифицируют по размерам частиц (диаметр  $d$ ): 1 – нанодисперсные:  $d < 0,001$  мкм; 2 – ультрадисперсные:  $d = 0,01-0,1$  мкм; 3 – высокодисперсные:  $d = 0,1-10$  мкм; 4 – мелкие:  $d = 10-40$  мкм; 5 – средние:  $d = 40-250$  мкм; 6 – крупные:  $d = 250-1000$  мкм [8]. Показатель, характеризующий порошковый материал, является средний диаметр частиц –  $d_{50}$ . Например,  $d_{50} = 40$  мкм означает, что 50% частиц порошка имеют размер частиц меньше или равный 40 мкм.

В аддитивных FM(AM) технологических машинах используются порошки различного фракционного состава с определенным перечнем материалов. Отсутствие стандартов на порошковые материалы для АТ и методов оценки (контроль и диагностика) свойств материалов, затрудняет их применение из-за анизотропии, возникающей при послойном принципе создания детали.

Одним из трендов развития машиностроения и материаловедения является разработка новых порошковых наноматериалов и гибких технологий их получения и обработки [1-5, 9], создания на их основе программируемых материалов и композитов. К наноматериалам относят дисперсные и объемные (массивные) материалы, содержащие структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры), геометрические размеры которых не превышают 100 нм и обладают новыми свойствами, наличие которых обеспечивает улучшение (появление) качественно новых механических, химических, физических свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов [8-11], функциональных и эксплуатационных характеристик. Это материалы, созданные с использованием наночастиц или посредством нанотехнологий, обладают уникальными свойствами представляют наномир (объекты, размер которых не превышает 100 нанометров). В одном нанометре (нм) –  $1 \cdot 10^{-9}$  м помещается от трёх до шести атомов. Любые целенаправленные преобразования вещества на нанометровом уровне составляют нанотехнологии, к которым относятся технологии, обеспечивающие возможность контролируемым образом создавать и модифицировать наноматериалы, а также осуществлять их интеграцию в надежно функционирующие сложные, управляемые динамические системы. Материалы с заранее заданными составами, размерами и структурой, полученные с использованием нанотехнологий и свойства зависят от входящих в их состав нанообъектов, называются наноматериалами. Нанонаука, изучающая устройство наномира и поиск эффективных методов использования наноматериалов, представляет совокупность всех знаний о свойствах вещества на нанометровом уровне, объединяющая физику, химию, медицину, материаловедение,

электронную и компьютерную технику и наряду с информатикой и молекулярной биологией, является основой развития технологии XXI века [10-12].

Классификация наноматериалов – основа научного познания, представляет совокупность классификации 1 рода (по основным категориям) и классификации 2 рода (структура наноматериалов по кристаллитам). Классификация 1 рода по основным категориям наноматериалов включает:

1 категория – материалы в виде твердых тел, размеры которых в одном, двух или трех пространственных координатах не превышают 100 нм. К ним относятся наноразмерные частицы (нанопорошки), нанопроволоки и нановолокна, пленки толщиной менее 100 нм, нанотрубки, которые могут содержать от одного структурного элемента или кристаллита (для частиц порошка) до нескольких их слоев (для пленки). Первую категорию можно классифицировать как наноматериалы с малым числом структурных элементов или наноматериалы в виде наноизделий.

2 категория – материалы в виде изделий с размером 1 мкм...1 мм (проволоки, ленты, фольга), содержащие значительное число структурных элементов и их можно классифицировать как наноматериалы с большим числом структурных элементов (кристаллитов) или наноматериалы в виде микроизделий.

3 категория – объемные наноматериалы с размерами изделий из них в макродиапазоне (более нескольких мм), состоящие из большого числа наноразмерных элементов (кристаллитов) и являющихся поликристаллическими материалами с размером зерна 1...100 нм. Третью категорию наноматериалов условно можно разделить на две группы. В первую группу входят однофазные материалы, структура и/или химический состав которых изменяется по объему материала только на атомном уровне. Их структура находится в неравновесном состоянии (стекла, гели и т.д.). Ко второй группе относятся микроструктурно неоднородные материалы, состоящие из наноразмерных элементов (кристаллитов, блоков) с различной структурой и/или составом. Это многофазные материалы на основе сложных металлических сплавов.

Вторая и третья категории наноматериалов являются нанокристаллическими или нанофазными материалами.

К 4 категории относятся композиционные материалы (КМ), содержащие в своем составе компоненты из наноматериалов, отнесенные к первой категории (композиты с наночастицами и/или нановолокнами, изделия с измененным ионной имплантацией поверхностным слоем или тонкой пленкой) и второй категории (композиты, упрочненные волокнами и/или частицами с наноструктурой, материалы с модифицированным наноструктурным поверхностным слоем или покрытием), а также КМ со сложным использованием нанокомпонентов. Классификация наноматериалов 2 рода по кристаллитам содержит свойства (признаки), которые определяются характером распределения, формой и химическим составом кристаллитов (наноразмерных элементов), из которых они состоят (таблица 1).

По форме кристаллитов наноматериалы можно разделить на: 1 – слоистые (пластинчатые); 2 – волокнистые (столбчатые); 3 – равноосные. Толщина слоя, диаметр волокна и размер зерна составляет порядка  $< 100$  нм. По химическому составу кристаллитов и их границ наноматериалы можно классифицировать на четыре группы [3-7]. К первой группе относят наноматериалы, у которых химический состав кристаллитов и границ раздела одинаков (однофазные): чистые металлы с нанокристаллической равноосной структурой и слоистые поликристаллические полимеры. Ко второй группе относят материалы, у которых химический состав кристаллитов различен, но границы являются идентичными по химическому составу. Третья группа включает наноматериалы, у которых как кристаллиты, так и границы имеют различный химический состав. Четвертую группу представляют наноматериалы, в которых наноразмерные частицы, волокна, слои распределены в матрице, имеющей другой химический состав: дисперсно-упрочненные материалы.

Таблица 1 – Основные типы структуры наноматериалов

Характер распределения	кристаллитное			матричное
Химический состав	состав кристаллитов и границ одинаковый	состав кристаллитов различен при одинаковом составе границ	состав и кристаллитов и границ различный	кристаллиты распределены в матрице другого состава
Форма кристаллитов:				
Слоистая				
Волокнистая				
Равноосная				

**Методы порошковой металлургии** позволяют получить материалы с управляемыми характеристиками: механическими, магнитными и др., а изделия из них используется в транспортном машиностроении.



Рисунок 1 – Основные методы получения наноматериалов

Промышленные методы (способы) производства порошковых материалов с заданными физическими, химическими и технологическими свойствами порошков: 1. Механическое измельчение металлов в вихревых, вибрационных и шаровых мельницах и т.д.; 2. Распыление расплавов (жидких металлов) в среде инертных газов, что эффективно очищает расплав от многих примесей при высокой производительности и экономичности процесса; 3. Восстановление руды для получения экономичного порошка железа; 4. Электролитический метод; 5. Использование тока, приложенного к стержню металла в вакууме; 6. Специальные порошки, получаемые осаждением, науглероживанием, термической диссоциацией летучих соединений (карбонильный метод) и другими способами [9-13].

Методы с использованием аморфизации позволяют получать аморфные металлические сплавы, являющихся новым перспективным материалом. Такое состояние

достигается сверхбыстрым охлаждением материала из газообразного, жидкого или ионизированного состояния.

Существуют методы получения аморфных сплавов: 1 – высокоскоростное ионно-плазменное и термическое напыление материала на охлаждаемую жидким азотом подложку позволяет получать слои толщиной до 5 мм; 2 – химическое или электролитическое осаждение ионов металлов на подложку; 3 – оплавление тонких поверхностных слоев деталей лазерным лучом; 4 – лазерная обработка смеси порошков при быстром отводе тепла от расплава; 5 – закалка из жидкого состояния и т.д. Методы позволяют получать аморфные сплавы при производстве лент, фольги и проволок толщиной до 100 мкм и шириной до 200 мм. Возможность получения аморфного состояния определяется химическим составом и скоростью охлаждения. Для выбора химического состава сплава существуют два подхода: 1 – для получения аморфной структуры в состав сплавов вводят специальные легирующие элементы – аморфизаторы (бор, углерод, кремний, и др.); 2 – выбор сплавов, имеющих базовую эвтектику, которая образуется при взаимодействии ряда фаз – аморфизаторов. Данные фазы легируют с целью понижения температуры плавления и подавления образования зародышей кристаллов. Этот подход позволяет получать микроизделия типа лент, фольг, проволок и объемные материалы толщиной до 5-10 мм [3, 7, 8].

Аморфное состояние сплавов является метастабильным, поэтому после аморфизации часто проводят отжиг, в процессе которого частично происходит переход к более стабильному состоянию. Наряду с аморфным, большой интерес стал проявляться и к нанокристаллическому состоянию аморфизирующихся сплавов. Для получения аморфного состояния проводят предварительную обработку (высокоскоростная закалка) заготовок: объемно-аморфизирующихся сплавов на основе железа, возможно получение нанокристаллической или аморфно-нанокристаллической структуры непосредственно при закалке расплава со скоростью охлаждения немного ниже критической скорости образования аморфного состояния.

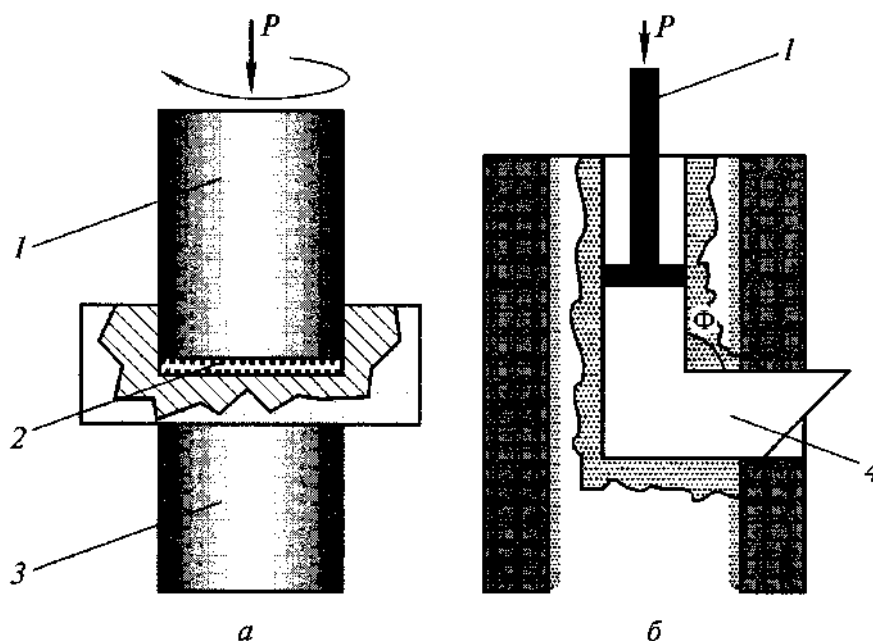
Для получения наноструктуры используется контролируемая кристаллизация сплавов из аморфного состояния при термообработке, получение нанокристаллической структуры путем инициации процессов кристаллизации в процессе деформирования аморфного материала.

Методы получения наноструктурных материалов (рисунок 2) с использованием интенсивной пластической деформации (ИПД), относятся к обработке материалов давлением (ОМД) и основаны на пластической деформации с большими степенями деформации в условиях высоких давлений, когда происходит сильное измельчение микроструктуры в металлах и сплавах до наноразмерного диапазона [3]. Диапазон размеров зерен материалов, получаемых рассматриваемыми методами составляет более 100 нм. Структура, получаемая при ИПД, отличается неравновесностью из-за малой плотности свободных дислокаций и большеугловом характере границ зерен. Для обработанных изделий применяют термообработку или дополнительное пластическое деформирование при повышенных температурах и большой степени деформации. Методы ИПД (рисунок 2) должны отвечать требованиям: 1 – формирование ультрамелкозернистых структур для качественного изменения свойств материалов; 2 – обеспечение стабильности свойств наноматериала за счет однородного формирования наноструктур по всему объему материала; 3 – отсутствие механических повреждений и трещин.

Метод ИПД кручения под высоким давлением. Структура материала начинает измельчаться после деформации образца. Образование ультрамелкозернистой структуры достигается после деформации в несколько оборотов образца. Размер зерен достигает 100-200 нм (рисунок 2а) и определяется условиями деформации – давлением, температурой, скоростью деформации и видом обрабатываемого материала.

Метод равноканального углового прессования (рисунок 2б), основанный на использовании деформации сдвигом формирует ультрамелкозернистую структуру со средним размером зерен в диапазоне от 200 до 500 нм [4].

Разрабатываются также другие методы ИПД, например, всесторонняя деформация на КШМ ударного действия (молоты, винтовые прессы) и специальная прокатка. Наноструктурные материалы содержат в структуре большое количество границ зерен, формирующих их необычные физические и механические свойства, высокую прочность и уникальную пластичность.



а – метод кручения под высоким давлением, б – метод равноканального углового прессования, 1 – пуансон, 2 – образец, 3 – пуансон, 4 – заготовка.

Рисунок 2 – Схема методов интенсивной пластической деформации

Методы получения наноматериалов с использованием технологий обработки поверхности материалов путем создания на поверхности материалов модифицированных слоев рассматриваются как методы нанотехнологии, так как позволяют создавать наноразмерные и/или наноструктурные слои на поверхности материалов, композиционные материалы с наноконпонентами, а в ряде случаев и наноматериалы в виде наномикроизделий. Данные методы можно подразделить на две группы: технологии, основанные на физических и химических процессах.

Среди nanoориентированных технологий обработки поверхности наиболее перспективными являются ионно-вакуумные технологии нанесения покрытий. Полученные слои отличаются высокой адгезией, а температурное воздействие на материал основы минимальное. Размер кристаллитов в пленках, полученных по технологиям вакуумного нанесения, может достигать 1-3 нм.

Комплексные методы получения наноматериалов используют последовательно (параллельно) несколько разных технологий, рассмотренных ранее. Синтез компьютерного моделирования и материаловедения, позволил создавать программируемые материалы, на основе наноматериалов, из которых изготавливаются объекты (изделия), способные к самоорганизации, изменяя при этом свои форму и свойства (функции) при воздействии энергии (световой, тепловой и т.д.), благодаря тому, что в них запрограммированы определенные свойства, реализуемые технологией четырехмерной (4D) печатью. Технология 4D-принтер является подвидом аддитивных

технологий для создания самосборных технологических систем на основе программируемых наноматериалов и включает алгоритм 4D-печати: 1 – 3D-принтер создает объект путем послойного распределения вещества; 2 – в результате на выходе мы получаем изделие нужной конфигурации; 3 – затем, и в этом особенность, 4D-печати – напечатанные, таким образом, изделия (также создаются слой за слоем) могут через определенный промежуток времени менять свои форму и свойства под действием энергии; 4 – изделия, изготовленные технологией 4D-принтером из программируемых материалов, могут собирать и выстраивать себя сами, превращать одни изделия в другие или менять их свойства по мере надобности с помощью освоенных технологий 3D-принтеров. Разработка программируемых материалов, на основе наноматериалов позволит создать роботизированные микроскопические системы с помощью 4D-печати, способных менять свою форму и функции. Если в процессе объединения технологии 4D-печати и наноматериалов в объект (изделие) внедрить «умные» материалы, то на выходе получатся многофункциональные нанокомпозиты, способные изменять свои свойства при воздействии на них электромагнитных волн (обычного света или ультрафиолетового излучения). В ходе эволюции таких материалов появится новый класс датчиков для встраивания в технические системы контроля и диагностики параметров технологического процесса.

Технология 3D-принтера позволяет «вырастить» изделие, способное менять свои формы, функции и назначения. Для этого нужно «заложить» в управляющие программы аддитивного технологического оборудования данные о свойствах программируемых материалов и о трансформациях, которые должны произойти с «выращенным» изделием. С таким количеством вариантов и последовательностей возможных трансформаций не справляются современные САПР. Для решения задачи необходимо разработать адекватную модель всего процесса путем создания библиотеки действий, используемых при сложной деформации любого объекта.

#### **Выводы.**

1. Анализ аддитивных технологии 3D (4D) послойного синтеза металлических, металлокерамических и наноструктурированных порошковых композиций формообразования деталей показал тренд внедрения в промышленность высокопроизводительных лазерных, плазменных и ионно-плазменных технологических систем для спекания и сплавления металлопорошковых «умных» композиций, оснащенных системами контроля, диагностики и адаптивного (интеллектуального) управления технологиями, обеспечивающих надежность оборудования и качество продукции в условиях УПС.

2. Классификация наноматериалов является основой создания технологий программируемых порошковых материалов, использование которых в технологиях 4D-печати позволит создавать самосборные технологические системы (датчики, роботы) на транспорте.

3. Методы и технологии порошковой металлургии позволяют получать детали, состоящие из двух или нескольких слоев различных металлов и сплавов, имеющих специальные свойства: антифрикционные детали узлов трения приборов и машин, конструкционные детали, фрикционные детали, инструментальные материалы, электротехнические детали для электронной и радиотехнической промышленности, композиционные и наноматериалы.

#### **Литература**

1. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. – М: МИФИ, 2005. – 52 с.
2. Новые материалы. / Под ред. Ю.С. Карабасова – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
3. Головин Ю. Введение в нанотехнологию. – М.: «Машиностроение», 2003 – 112 с.

4. Алымов М.И. Механические свойства нанокристаллических материалов. – М.: МИФИ, 2004. – 32 с.
5. Конструкционные материалы / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
6. Ковнеристый Ю.К. Объемно-аморфизирующие металлические сплавы и наноструктурные материалы на их основе // Металловедение и термическая обработка. – 2005. – №5. – С. 199-219.
7. Перевертов В.П., Андрончев И.К., Акаева М.О., Абулкасимов М.М. Технологии традиционные и аддитивные в «умных» производственных системах // Промышленный транспорт Казахстана. – 2019. – № 4(65). – С. 148-153.
8. Перевертов В.П., Андрончев И.К., Мусаева Г.С., Абулкасимов М.М. Алгоритм принятия решений при формообразовании деталей альтернативными технологиями в «умных» системах // Промышленный транспорт Казахстана. – 2020. – № 1(66). – С. 54-64.
9. Перевертов В.П., Андрончев И.К., Абулкасимов М.М., Акаева М.О. Концентрированные потоки энергии для традиционных и аддитивных технологий в условиях «умных» производств // Промышленный транспорт Казахстана. – 2020. – № 1(66). – С. 161-171.
10. Перевертов В.П. Качество управления гибкими технологиями: монография. – Самара: СамГУПС, 2019. – 270 с.
11. Перевертов В.П. Материаловедение и гибкие технологии: учебник. – Самара: СамГУПС, 2020. – 292 с.
12. <http://nanodigest.ru/stati/entciklopediia-nanotekhnologii>
13. <http://www.museion.ru/prev.pdf>

### References

1. Alymov M.I., Zelenskiy V.A. Methods of obtaining and physico-mechanical properties of bulk nanocrystalline materials. – M.: MEPhI, 2005. – 52 p.
2. New materials. / Edited by Yu. S. Karabasov – M.: MISIS, 2002 – 736 p.
3. Golovin Yu. Introduction to nanotechnology. – M.: "Mechanical Engineering", 2003 – 112 p.
4. Alymov M.I. Mechanical properties of nanocrystalline materials. – M.: MEPhI, 2004. – 32 p.
5. Construction materials / Edited by B.N. Arzamasov. – M.: Mashinostroenie, 1990 – 688 p.
6. Kovneristy Yu.K. Volume-amorphizing metal alloys and nanostructured materials based on them // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. – 2005. – №5. – pp. 199-219.
7. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Akaeva M.O., Abulkasimov M.M. Technologies traditional and additive in "smart" production systems // Industrial transport of Kazakhstan. – 2019. – № 4(65). – pp. 148-153.
8. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Musaeva G.S., Abulkasimov M.M. Algorithm of decision-making when forming parts with alternative technologies in "smart" systems // Industrial transport of Kazakhstan. – 2020. – № 1(66). – pp. 54-64.
9. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Abulkasimov M.M., Akaeva M.O. Concentrated energy flows for traditional and additive technologies in the conditions of "smart" production // Industrial transport of Kazakhstan. – 2020. – № 1(66). – pp. 161-171.
10. Perevertov V.P. Quality of flexible technology management: monograph. – Samara: SamGUPS, 2019 – 270 p.
11. Perevertov V.P. Material Science and flexible technologies: textbook. – Samara: SamGUPS, 2020 – 292 p.
12. <http://nanodigest.ru/stati/entciklopediia-nanotekhnologii>
13. <http://www.museion.ru/prev.pdf>



**ПЕРЕВЕРТОВ В.П. – т.ғ.к., доцент (Ресей Федерациясы, Самара қ., Самара мемлекеттік қатынас жолдары университеті)**

**ӘБІЛҚАСЫМОВ М.М. – аға оқытушы (Ресей Федерациясы, Мәскеу қ., Н.Э. Бауман ат. Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті)**

**АКАЕВА М.О. – т.ғ.к., аға оқытушы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

## **НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫ ЖІКТЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ КӨЛІКТІК МАШИНА ЖАСАУДЫҢ АДДИТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ҮШІН АЛУ ӘДІСТЕРІ**

### ***Аңдатпа***

Әлемдік технологиялардың «Индустрия 1.0» – даму эволюциясын талдау негізінде бөлшектерді қалыптастырудың балама технологиялары үшін ұнтақты наноматериалдардың жіктелуі қарастырылды. «Индустрия 4.0» кезеңі – «ақылды» өндірістік жүйелерді дамыту, оның құрамдас элементтері икемді өндірістік жүйелер, «ақылды» инфрақұрылым мен вокзалдар, үйлер мен интернет-дүкендер, роботтандырылған ақылды жылжымалы құрам және т.б. болып табылады. «Индустрия 4.0» тренді – бұл аддитивті технологиялар AT 3D және 4D-баспа 3D және 4D принтер технологияларының көмегімен бұйымдарды жылдам өндіру, басқарылатын қойылтылған энергия ағындары лазерлі, плазмалық, иондық сандық адаптивті басқару жүйелерінің құрамындағы технология параметрлерін бақылау және диагностикалау жүйелері, тез әрекет ететін датчиктер және технологиялық жабдықтың атқарушы органдары-ақылды өндірістік жүйелердің негізгі элементтері 4D принтері нақты объектілерді басып шығару үшін үш өлшемді ғана емес (X. Y. Z), төртінші өлшемді – уақытты (T).

**Түйінді сөздер:** баламалы технологиялар дәстүрлі және аддитивті, 3D (4D) технологиялар басып шығару, композиттер мен наноматериалдар. «ақылды» материалдар.

**PEREVERTOV V.P. – c.t.s., assoc. professor (Russian Federation, Samara, Samara state university ways of communications)**

**ABULKASIMOV M.M. – senior lecturer (Russian Federation, Moscow, Bauman Moscow state technical university)**

**AKAEVA M.O. – c.t.s., senior lecturer (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

## **CLASSIFICATION OF NANOMATERIALS AND METHODS OF THEIR PRODUCTION FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES OF TRANSPORT ENGINEERING**

### ***Abstract***

The classification of powdered nanomaterials for alternative technologies of forming parts is considered based on the analysis of the evolution of the development of world technologies – "Industry 1.0" – "Industry 4.0". The stage of "Industry 4.0" is the development of "smart" production systems (SPS), the components of which are flexible production systems (GPS), "smart" infrastructure and train stations, houses and online stores, robotic smart rolling stock, etc. The trend of "Industry 4.0" is additive technologies (AT) and rapid production of products using 3D and 4D printing technologies (3D and 4D printer), controlled concentrated energy flows (laser, plasma, ion), systems for monitoring and diagnosing technology parameters as part of digital (adaptive) control systems, high-speed sensors and process equipment actuators – the

*main elements of smart production systems (SPS). The 4D printer uses not only three dimensions (X, Y, Z), but the fourth dimension – time (T).*

**Keywords:** *alternative technologies (traditional and additive), 3D (4D) printing technologies, composites and nanomaterials, "smart" materials.*

УДК 656.2

**АХМЕТОВ Б.С.** – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**АБУОВА А.Х.** – доктор PhD (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

### **МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФИНАНСОВО-МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

#### **Аннотация**

*Уменьшить масштабы негативных последствий техногенных аварий или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте, можно путем оптимизации процессов принятия решений. Это относится как к доаварийному периоду, так и непосредственно к моменту ликвидации последствий аварии или чрезвычайных ситуаций.*

*Достаточным условием для принятия качественного решения, в данной ситуации может стать применение интеллектуализированных систем поддержки принятия решений в задачах ликвидации последствий техногенных аварии или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Актуальной задачей остается разработка для подобных автоматизированных систем поддержки принятия решений соответствующих методик и программного обеспечения, базирующихся на структуризации задач, моделях и методах их решения.*

**Ключевые слова:** *железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации, ликвидации последствий аварии, интеллектуальные системы, математические модели.*

#### **Введение.**

Уменьшить масштабы негативных последствий техногенных аварий или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте (ЖДТ), можно путем оптимизации процессов принятия решений. Это относится как к доаварийному периоду, так и непосредственно к моменту ликвидации последствий аварии или чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Достаточным условием для принятия качественного решения, в данной ситуации может стать применение интеллектуализированных систем поддержки принятия решений в задачах ликвидации последствий техногенных аварии (ТГА) или чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. В частности, актуальной задачей остается разработка для подобных автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) соответствующих методик и программного обеспечения, базирующихся на структуризации задач, моделях и методах их решения. Например, для определения оптимального (квазиоптимального) распределения финансовых ресурсов или иных материальных ресурсов (техника, специальные средства и др.) для ликвидации ТГА или