

УДК 621.9

**Петров М.Г.***индивидуальный предприниматель  
Луганск, Украина***Головятинская В.В.***индивидуальный предприниматель  
Днепр, Украина***Петров А.М.***индивидуальный предприниматель  
Чернигов, Украина***Цыркин А.Т.***к.т.н., доцент  
Луганск, Украина**E-mail: Depla@yandex.ru*

## **ОБЩАЯ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

### **Аннотация**

Разработка технологии нанесения и обработки детонационных покрытий требует принятия многокритериальных решений и на современном уровне ее реализация целесообразна в рамках синтеза функционально-ориентированных технологических процессов и объектно-ориентированного проектирования технологий. Разработанная общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий и установленная схема взаимодействий между модулями данной модели, а, соответственно, и между уровнями анализа, позволяют реализовать выбор структуры функциональных элементов детонационного покрытия. Методология разработки базируется на том, что выбор предметной реализации функциональных элементов детонационного покрытия осуществляется на основании обеспечения ими эксплуатационных функций. Параметры качества детонационного покрытия включают в себя геометрические, морфологические, физико-механические, химико-физические, эксплуатационные и другие показатели, обеспечивающие исполнение соответствующих эксплуатационных функций детонационного покрытия. Анализ модификаций детонационных покрытий осуществляется по глубине технологии как на уровнях их строения: участки и слои, образованные единичными пятнами покрытия; единичные пятна покрытия; так и на уровнях структур – макро-, микро- и наноструктуры. Принципы анализа и принятия решений, предусмотренные в разработанной общей объектно-ориентированной модели синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий, позволяют осуществить выбор предметной реализации функциональных элементов детонационного покрытия на основании обеспечения ими эксплуатационных функций последнего. Кроме того, эти принципы могут быть использованы при синтезе функционально-ориентированных технологических процессов для изделий с гибкой структурой функциональных элементов.

**Ключевые слова:** объективно-ориентированная модель, синтез функционально-ориентированных технологий, синтез технологии нанесения и обработки детонационных покрытий, эксплуатационные функции, эксплуатационные воздействия.

**Введение.** Синтез технологии нанесения и обработки детонационных покрытий требует принятия многокритериальных решений. Данное обстоятельство обусловлено широким спектром как технологических методов и приемов, используемых в процессе нанесения и обработки детонационных покрытий, так и самих модификаций структуры и

строения детонационных покрытий. Например, подготовка подложки к нанесению покрытий является важным фактором обеспечения адгезионной прочности детонационных покрытий. В зависимости от физико-механических и химических свойств материала подложки и функциональной целесообразности используются не менее двадцати пяти методов ее подготовки к нанесению детонационных покрытий [1]. Обеспечение качества нанесенных детонационных покрытий реализуется разнообразными видами и методами обработки, среди которых: точение, фрезерование, шлифование, обкатывание, лазерный отжиг, нормализация с отпуском, оплавление, пропитка, электрохимическое полирование, электроабразивная обработка. При этом параметры технологических процессов обработки деталей с детонационными покрытиями значительно отличаются от аналогичных параметров обработки однородных материалов, что связано с особенностями физико-механических свойств и структуры детонационных покрытий, в том числе:

- низкой адгезионной и когезионной прочностью;
- высокими остаточными напряжениями;
- наличием переходных зон между: частицами порошка в единичных пятнах покрытий; единичными пятнами покрытий; слоями и участками, образованными единичными пятнами покрытий;
- пористостью.

В целом, разработка технологии нанесения и обработки детонационных покрытий на современном уровне целесообразна в рамках синтеза функционально-ориентированных технологических процессов и объектно-ориентированного проектирования технологий.

**Анализ предыдущих исследований и публикаций.** В работе [2] представлена общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса. Процесс синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса начинается с изучения особенностей эксплуатации изделия и выявления структуры эксплуатационных функций. Далее выполняется деление изделия на функциональные элементы по уровням глубины технологии, а именно: уровень всего изделия в целом, уровень частей изделия, уровень составляющих частей изделия, уровень зон, уровень макрозон, уровень микрозон, уровень нанозон. Затем производится упорядочивание функциональных элементов по заданным параметрам качества. По этим параметрам множество функциональных элементов разделяются на подмножества  $1, 2, \dots, z_k, \dots, Z_k$ , и выполняется их упорядочивание с помощью оператора упорядочивания функциональных элементов. Для каждого функционального элемента данного подмножества формируется модуль технологических воздействий или подпроцесс. При этом любой  $z$ -й модуль технологических воздействий или подпроцесс может содержать множество схем технологических воздействий  $1, 2, \dots, s_z, \dots, S_z$ . Эти схемы технологических воздействий формируются из условий обеспечения заданных, требуемых или предельных свойств функциональных элементов изделия. Эти схемы концентрируются в базе данных № 1 – обеспечение свойств функциональных элементов изделия. С помощью схем технологического воздействия выполняются преобразование свойств изделия из начальных параметров в конечные свойства. Процесс преобразования свойств изделия выполняется на основе существующих и новых принципов, методов и способов технологических преобразований, которые накоплены в базе данных № 2. При этом схемы технологических воздействий выбираются из базы данных № 3 на основе особых принципов ориентации технологических воздействий и обеспечения заданных, требуемых или предельных свойств функциональных элементов и всего изделия в целом.

Соответствие функциональных элементов, их свойств и схем технологического воздействия определяет оператор технологических воздействий. В объектно-ориентированной модели синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса все три базы данных связаны между собой прямыми и обратными связями. Эти связи обеспечивают взаимосвязи между всеми этапами проектирования функционально-ориентированного технологического процесса. С помощью приведенной модели можно выполнять анализ и синтез функционально-ориентированных технологических процессов и обеспечивать качественно новую совокупность свойств изделий при эксплуатации.

Рассмотренная общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса предусматривает анализ изделий, имеющих конструктивные решения их функциональных элементов. Однако при синтезе технологии нанесения и обработки детонационных покрытий на основе изучения особенностей эксплуатации изделия и выявления структуры эксплуатационных функций рационально осуществлять выбор функциональных элементов детонационных покрытий, продиктованный вопросами функциональной и технологической целесообразности. В свою очередь, предметная реализация функциональных элементов детонационных покрытий определяет выбор различных схем технологических воздействий, технологических методов, средств выполнения технологического процесса, технологических режимов, предметов труда и других составляющих технологии нанесения и обработки детонационных покрытий.

**Цель.** Разработка общей объектно-ориентированной модели синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий.

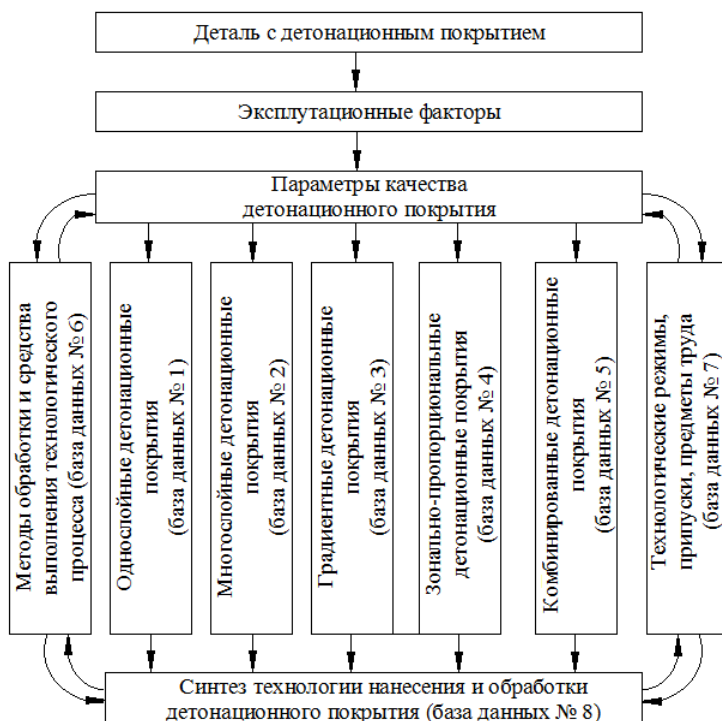
**Результаты.** Методология разработки базируется на том, что выбор предметной реализации функциональных элементов детонационного покрытия осуществляется на основании обеспечения ими эксплуатационных функций.

Разработанная общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий показана на рис. 1. Взаимодействие между модулями модели, а, соответственно, и между уровнями анализа, обусловлено заданной последовательностью анализа и принятия решений.

Исходным объектом общей объектно-ориентированной модели синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий является деталь с детонационным покрытием. Эксплуатационные функции деталей с покрытиями реализуются посредством совмещения эксплуатационных функций заготовок, представляющих собой предметы труда, из которых изменением формы, размеров и свойств поверхности изготавливаются детали, и эксплуатационных функций поверхностных слоев из инородного материала. В случае детонационного напыления поверхностным слоем из инородного материала является детонационное покрытие.

Начальным этапом проектирования согласно общей объектно-ориентированной модели синтеза технологии нанесения и обработки детонационных покрытий является анализ особенностей эксплуатации детонационного покрытия, реализуемый в модуле «Эксплуатационные факторы». Этот анализ учитывает:

- свойства и эксплуатационные функции заготовки;
- эксплуатационные воздействия заготовки на детонационное покрытие, например, связанные с процессами старения материала подложки;
- эксплуатационные воздействия на детонационное покрытие внешней среды.



**Рис. 1. Общая объектно-ориентированная модель синтеза технологии нанесения и обработки детонационных покрытий**

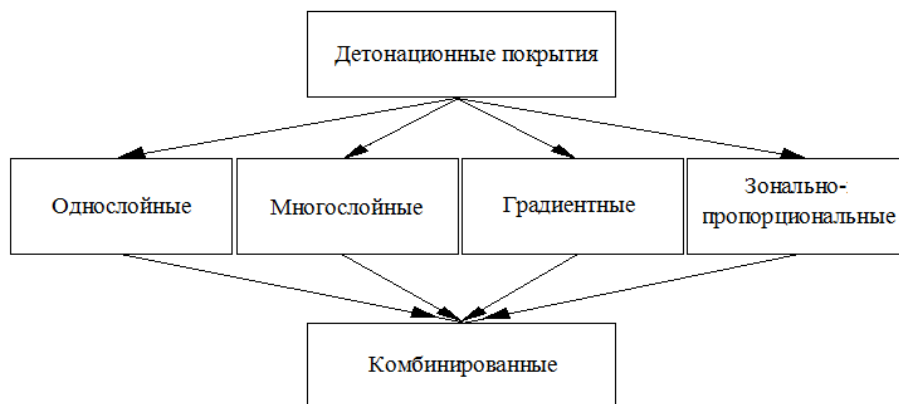
В результате анализ особенностей эксплуатации детонационного покрытия выявляются его эксплуатационные функции, и формируется их структура. Как правило, детонационные покрытия выполняют несколько эксплуатационных функций, к примеру, обеспечение теплозащиты и износостойкости.

Исходя из структуры эксплуатационных функций в модуле «Параметры качества детонационного покрытия» определяются и задаются параметры его качества. Параметры качества детонационного покрытия включают в себя геометрические, морфологические, физико-механические, химико-физические, эксплуатационные и другие требования, соответствующие эксплуатационным функциям детонационного покрытия.

Согласно требованиям к параметрам качества детонационного покрытия анализируются эксплуатационные функции детонационных покрытий различных составов и модификаций. Анализ модификаций детонационных покрытий осуществляется по глубине технологии как на уровнях их строения: участки и слои, образованные единичными пятнами покрытия; единичные пятна покрытия; так и на уровнях структур – макро-, микро- и наноструктуры. В частности, укрупненная классификация модификаций строения детонационных покрытий показана на рис. 2.

Однослойные детонационные покрытия формируются из однородных по химическому составу порошков и преимущественно обладают равномерными физико-механическими и эксплуатационными свойствами по всему объему покрытия [3-5]. Эксплуатационные качества однослойных детонационных покрытий, в первую очередь, связаны со свойствами порошков, из которых они сформированы. Известно, что покрытия обладают отличными свойствами, если они сформированы из различных

материалов [5, 6]. При нанесении однослойных детонационных покрытий не используется технологическая возможность формирования на контактной поверхности покрытия участков, отличающихся составами, свойствами и функциональным назначением, в то время как наличие таких участков позволяет влиять и, соответственно, управлять эксплуатационными свойствами покрытий, например, износостойкостью [6, 7].



**Рис. 2. Укрупненная классификация модификаций строений детонационных покрытий**

Многослойные детонационные покрытия состоят из двух и более последовательно полученных слоев, отличающихся составами, свойствами и функциональным назначением [8]. Многослойные детонационные покрытия используются для оптимизации физико-механических и других свойств внешнего слоя покрытия посредством нанесения промежуточных слоев между материалом подложки и внешним слоем покрытия. При реализации строения многослойных детонационных покрытий внешнему слою покрытия присущи ограничения функциональных возможностей, свойственные однослойным детонационным покрытиям. А именно, не используется технологическая возможность формирования на контактной поверхности покрытия участков, отличающихся составами, свойствами и функциональным назначением.

Градиентные детонационные покрытия – многослойные детонационные покрытия, в которых каждый промежуточный слой содержит несколько компонентов с градиентом концентрации, направленным от основы к внешнему слою [8].

При использовании градиентных детонационных покрытий, например, в парах трения физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий по мере их износа будут изменяться из-за различий химического состава промежуточных слоев, что приведет к повышению интенсивности изнашивания пары трения.

Зонально-пропорциональные детонационные покрытия состоят, как минимум, из двух структурированных участков, отличающихся составами, свойствами и функциональным назначением [7], что дает возможность управления эксплуатационными свойствами покрытия. В парах трения зонально-пропорциональные детонационные покрытия используются преимущественно для низших кинематических пар.

Комбинированные детонационные покрытия – детонационные покрытия, выполненные с использованием соответствующей комбинации из однослойных, многослойных, зонально-пропорциональных и градиентных детонационных покрытий [9]. Комбинированные детонационные покрытия обеспечивают структурирование различных физико-механических и других свойств отдельных зон и участков покрытия

под особенности эксплуатации деталей, например, с целью компенсации в зоне трения действия неравномерной удельной контактной нагрузки на износ. Повышение физико-механических и других свойств зон и участков комбинированных детонационных покрытий ограничено свойствами однослойных, многослойных, зонально-пропорциональных и градиентных детонационных покрытий.

Информация о функциональном назначении детонационных покрытий различных составов и модификаций содержится в базах данных №№ 1-5. В результате анализа информации этих баз данных может быть осуществлен выбор не одной, а нескольких комбинаций составов и модификаций детонационного покрытия. Информация о выборе комбинации состава и модификации детонационного покрытия или нескольких таких комбинаций является основанием для анализа синтеза технологии нанесения и обработки детонационного покрытий при поступлении этих данных в базу данных № 8 модуля «Синтез технологии нанесения и обработки детонационных покрытий».

Далее посредством установленных процедур информации о выбранном составе и модификации детонационного покрытия или их нескольких комбинаций обрабатывается в модулях «Методы обработки и средства выполнения технологического процесса» и «Технологические режимы, припуски, предметы труда». В базе данных № 6 содержатся сведения о технологическом оборудовании, технологической оснастки, приспособлениях и инструменте, используемых при выполнении соответствующих элементов технологических операций, например, для выполнения элементов технологических операций подготовки подложки, нанесения и обработки детонационного покрытия. В базе данных № 7 содержатся сведения о предметах труда, технологических режимах и припусках для исполнения соответствующих элементов технологических операций. Структурные элементы базы данных № 7 могут также содержать сведения о характеристиках технологического процесса – цикл технологической операции, такт выпуска, ритм выпуска, подготовительно-заключительное время и другие. Результаты обработки информации баз данных № 6 и № 7 поступают в базу данных № 8 и служат основанием для окончательного выбора одного или нескольких вариантов технологии обработки и нанесения детонационного напыления. Факторами такого выбора могут быть:

- совпадение расчетных и возможных показателей эксплуатационных функций детонационного покрытия в пределах установленных допусков;
- технические, технологические, экономические;
- другие основания, включая факторы конкурентоспособности детали по новой совокупности ее свойств при эксплуатации.

Выполненный окончательный выбор позволяет конкретизировать синтез технологии нанесения и обработки детонационных покрытий в единичный, типовой или групповой технологический процесс обработки и нанесения детонационного покрытия.

**Выводы и перспективы.** Разработанная общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий и установленная схема взаимодействий между модулями этой модели, позволяет осуществить выбор предметной реализации функциональных элементов детонационного покрытия на основании обеспечения ими эксплуатационных функций последнего.

Принципы анализа и принятия решений, предусмотренные в разработанной общей объектно-ориентированной модели синтеза структуры технологии нанесения и обработки детонационных покрытий, могут быть использованы при синтезе функционально-ориентированных технологических процессов для изделий с гибкой структурой функциональных элементов.

**Список использованных источников**

1. Лузан С. А., Горбачевская О. М., Биша В. М. Анализ способов подготовки поверхностей деталей для напыления газотермических покрытий: *Сборник научных работ НТУ ХПИ, научно-технический журнал "Механіка та машинобудування"*. 2012. № 1. С. 124-128.
2. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. Донецк: ДонТУ, 2009. 346 с.
3. Бартнев С. С., Федько Ю. П., Григоров А. И. Детонационные покрытия в машиностроении. Ленинград : Машиностроение, 1982. 215 с.
4. Зверев А. И., Шаривкер С. Ю., Астахов Е. А. Детонационное напыление покрытий. Ленинград : Судостроение, 1979. 232 с.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. Москва : Машиностроение, 1985. 240 с.
6. Румянцева К. Е. Физические и технологические свойства покрытийю Иваново : ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2007. 80 с.
7. Михайлов А. Н., Петров М. Г., Головатинская В. В., Петров А. М. Повышение износостойкости пары трения за счет функционально-ориентированных покрытий: Les problèmes contemporains de la technosphère et de la formation des cadres d'ingénieurs. Recueil des exposés des participants de la VI Conférence internationale scientifique et méthodique sur l'île de Djerba du 11 au 18 octobre 2012. Donetsk : UNTD, 2012. P. 196-199.
8. ГОСТ 28076-89 Газотермическое напыление. Термины и определения. Дата введения 01.07.1990. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 10 с.
9. Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Грубка Р. М., Петров М. Г. Повышение долговечности деталей машин на базе функционально-ориентированных покрытий: Научные технологии в машиностроении. Москва : Машиностроение, № 7 (49), 2015. С. 30-39.

*Дата надходження статті до редакції : 11.03.2018  
Рецензування 10.04.2018 Прийняття в друк 31.05.2018*

**Petrov M. G.**

*Individual entrepreneur  
Lugansk, Ukraine  
E-mail: Depla@yandex.ru*

**Golovjatinskaja V. V.**

*Individual entrepreneur  
Dnipro, Ukraine  
E-mail: Depla@yandex.ru*

**Petrov A. M.**

*Individual entrepreneur  
Chernigiv, Ukraine  
E-mail: Depla@yandex.ru*

**Cyrkin A. T.**

*PhD in Engineering, Assoc. Professor  
Lugansk, Ukraine  
E-mail: Depla@yandex.ru*

**GENERAL OBJECT-ORIENTED MODEL FOR THE SYNTHESIS  
OF COATING AND TREATMENT DEPOSITION TECHNOLOGY**

**Abstract**

*The well-known general object-oriented model for the synthesis in the structure of function-oriented technological process involves the analysis of products that have constructive solutions to their functional elements. However, when synthesizing the technology for applying and processing detonation coatings, it is rational to choose the structure of the functional elements of detonation coatings according to functional and*

technological feasibility.

The aim of the work is to develop a general object-oriented model for the synthesis in the structure of the technology of applying and processing detonation coatings.

The development methodology is based on the fact that the choice of the objective implementation of the functional elements of the detonation coating is carried out on the basis of providing them with operational functions.

The developed general object-oriented model for the synthesis in the structure of the technology of applying and processing detonation coatings and the established scheme of interactions between the modules of this model, and, accordingly, between the levels of analysis, allow the choice of functional elements structure in the detonation coating.

The analysis of modifications of detonation coatings is carried out according to the depth of the technology at the levels of their structure: areas and layers formed by single spots of the coating; single patches of coverage; and at the levels of structures - macro, micro and nanostructures.

The principles of analysis and decision-making make it possible to choose the objective implementation of the functional elements for the detonation coating based on their operational functions. In addition, these principles can be used in the synthesis of function-oriented technological processes for products with a flexible structure of functional elements.

**Keywords:** objective-oriented model, the synthesis of function-oriented technologies, the synthesis technology of the application and processing of detonation coatings, operational functions, operational effects

### References

1. Luzan, C. A., Gorbachevskaja, O. M., & Bisha, V. M. (2012). Analiz sposobov podgotovki poverhnostej detalej dlja napylenija gazotermicheskikh pokrytij. *Mehanika ta mashinobuduvannja*, 1, 124-128. [in Russian]
2. Mihajlov, A. N. (2009). *Osnovy sinteza funkcional'no-orientirovannyh tehnologij mashinostroenija*. Doneck: DonTU. [in Russian]
3. Bartenev, S. S., Fed'ko Ju. P., & Grigorov, A. I. (1982). *Detonacionnye pokrytija v mashinostroenii*. Leningrad : Mashinostroenie [in Russian]
4. Zverev A. I., Sharivker S. Ju., & Astahov E. A. (1979). *Detonacionnoe napylenie pokrytij*. Leningrad : Sudostroenie
5. Hasui A., & Morigaki O. (1985). *Naplavka i napylenie*. Moskva : Mashinostroenie. [in Russian]
6. Rumjanceva K. E. (2007). *Fizicheskie i tehnologicheskie svojstva pokrytiju*. Ivanovo : GOU VPO Ivan. gos. him.-tehnol. un-t. [in Russian]
7. Mihajlov A. N., Petrov M. G., Golovjatinskaja V. V., & Petrov A. M. (2012). Povyshenie iznosostojkosti pary trenija za schet funkcional'no-orientirovannyh pokrytij: *Les problèmes contemporains de la technosphère et de la formation des cadres d'ingénieurs. Recueil des exposés des participants de la VI Conférence internationale scientifique et méthodique sur l'île de Djerba du 11 au 18 octobre 2012*. Donetsk : UNTD, 2012. P. 196-199. [in Russian]
8. GOST 28076-89 Gazotermicheskoe napylenie. Terminy i opredelenija. Data vvedenija 01.07.1990. Moskva : Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, 1989. [in Russian]
9. Mihajlov A. N., Mihajlov D. A., Grubka R. M., & Petrov M. G. (2015). Povyshenie dolgovechnosti detalej mashin na baze funkcional'no-orientirovannyh pokrytij: *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii*, 7 (49), 30-39. [in Russian]

Received: March 11, 2018

Revision: April 10, 2018 Accepted: May 31, 2018