

УДК 621

<sup>1</sup>А. В. Костенко, канд. техн. наук, <sup>2</sup>А. Н. Михайлов, д-р. техн. наук, проф.,<sup>2</sup>А. В. Лукичев, канд. техн. наук<sup>1</sup>Камчатский государственный технический университет, Россия, г. Петропавловск-Камчатский<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет, ДНРE-mail: [andr13kost@list.ru](mailto:andr13kost@list.ru), [mntk21@mail.ru](mailto:mntk21@mail.ru), [a\\_lukichov@mail.ru](mailto:a_lukichov@mail.ru)

## АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*В статье представлен алгоритм синтеза функционально-ориентированных технологических процессов, который позволяет системно разрабатывать эти процессы на любой известный уровень глубины технологий. Этот алгоритм особенно важен для проектирования функционально-ориентированных технологических воздействий для деталей судовых дизелей. Также приведены схемы проектирования технологических процессов и средств технологического обеспечения с учетом различных уровней проектирования. Отражена рекуррентная структура разных этапов предложенного алгоритма.*

**Ключевые слова:** дизель судовой, функционально-ориентированный технологический процесс, отделочно-упрочняющая обработка, структура, алгоритм.

A. V. Kostenko, A. N. Mikhailov, A. V. Lukichov

## ALGORITHM FOR SYNTHESIS OF FUNCTIONALLY ORIENTED TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING OF SHIP DIESEL DETAILS

*The article presents an algorithm for the synthesis of function-oriented technological processes. The algorithm allows to develop technological processes at any known level of technology depth. This algorithm is especially important for the design of functional-oriented technological impacts for parts of marine diesel engines. Schemes for designing technological processes and means of technological support for various levels of design are also given. The recurrent structure of the various stages of the algorithm is shown.*

**Keywords:** ship diesel, function-oriented technological process, finishing and hardening treatment, structure, algorithm.

**Введение.** При изготовлении деталей судовых дизелей используется широкий спектр различных методов отделочно-упрочняющей обработки (ОУО), которые позволяют реализовывать требуемые эксплуатационные свойства деталей и их функциональных элементов (ФЭ). Важной и актуальной является задача проектирования технологических процессов, включающих в себя методы ОУО, реализуемых на базе функционально-ориентированных технологий (ФОТ). Процесс проектирования должен быть объединен общей моделью системы технологических преобразований и реализовываться по двум направлениям [1]:

- синтез типа «технологический процесс», содержащий схемы технологического воздействия (ТВ), операции, собственно технологический процесс (ТП);
- синтез типа «технологическая система», содержащей блоки технологического воздействия, технологические подсистемы для реализации операций, технологические системы для реализации всего ТП.

Кроме этого, проектирование ТП на базе ФОТ должна осуществляться с позиций системного подхода и иметь возможность применения методов автоматизированного проектирования. Создание общего алгоритма синтеза функционально-ориентированного технологического процесса (ФОТП) позволяет упорядочить процесс

© Костенко А.В., Михайлов А.Н., Лукичев А.В.; 2019

проектирования, формализовать его и, таким образом, сделать удобным как для анализа, так и для синтеза его составляющих. Отметим, при этом, что использование ФОТП целесообразно для тяжело нагруженных деталей судовых дизелей, требующих реализации в своей конструкции различных эксплуатационных свойств.

**Целью статьи** является описание алгоритма создания ТП изготовления деталей судовых дизелей на основе ФОТ.

#### **Основная часть.**

При создании алгоритма использовались результаты исследований, приведенных в работах [2-5], в которых были рассмотрены следующие вопросы, необходимые для построения алгоритма: особенности классификации и представления деталей в функционально-ориентированной технологии машиностроения, особенности структуры функционально-ориентированной отделочно-упрочняющей обработки деталей судовых агрегатов, применение функционально-ориентированных технологий при производстве судовых двигателей внутреннего сгорания, особенности синтеза технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки методом графов. Отдельно следует отметить работу [1], в которой были изложены основные положения ФОТ. Используя результаты приведенных работ, был разработан алгоритм синтеза ФОТП изготовления деталей, представленный на рис. 1.

Исходными данными для синтеза ТП являются начальные и граничные условия, должны быть приведены данные о детали: его технико-экономических параметрах, надежности, точности, требованиях, служебном назначении и другая информация.

На втором этапе, в соответствии с особенностью ФОТ, проводится анализ эксплуатационных свойств детали, способах выражения этих свойств соответствующими параметрами качества. Здесь же анализируются условия эксплуатации, выявляется структура действия на деталь эксплуатационных функций (ЭФ). Причем, описанные действия выполняются параллельно, в тесной взаимосвязи между собой, что и указано в алгоритме в виде штриховых стрелок. Кроме этого, на данном этапе используются данные базы 1 с набором известных свойств ФЭ.

Результатом проделанной на предыдущем этапе работы является деление детали на ФЭ по уровням глубины технологии: выявляется количество уровней (вводится в алгоритм на следующем этапе), определяется количество ФЭ на каждом уровне (также будет вводиться в алгоритм на последующих этапах). На рис. 1, в качестве примера, представлен алгоритм для четырех уровней глубины технологии: уровень 1 – всей детали, уровень 2 – участков, уровень 3 – составляющих, уровень 4 – зон. Попутно заметим, что при необходимости можно дополнить алгоритм еще тремя уровнями глубины технологии – макрозон, микрозон и нанозон. Такое многоуровневое деление особенно важно для ряда тяжело нагруженных деталей судовых дизелей: выпускных клапанов, седел клапанов, цилиндрической втулки, поршня, прецизионных пар топливного насоса высокого давления, деталей турбокомпрессора и других.

После введения количества уровней глубины технологии, переменной  $Z$  присваивается единица и, в зависимости от того, на каких уровнях глубины технологии будет проектироваться ТП, осуществляется порядок реализации алгоритма.

Если ТП проектируется только для уровня всей детали ( $Z = 1$ ), то далее осуществляется линейно построенный алгоритм: выбор необходимого метода ОУО с использованием базы 2, содержащей существующие и новые принципы, методы и способы технологических преобразований. Далее выбирается схема ТВ с использованием базы 3, содержащей схемы реализации ТВ.

После этого осуществляется реализация группы особых принципов ориентации ТВ и свойств детали. Из восьми принципов ориентации ТВ и свойств могут быть использованы все принципы или только часть из них [6].

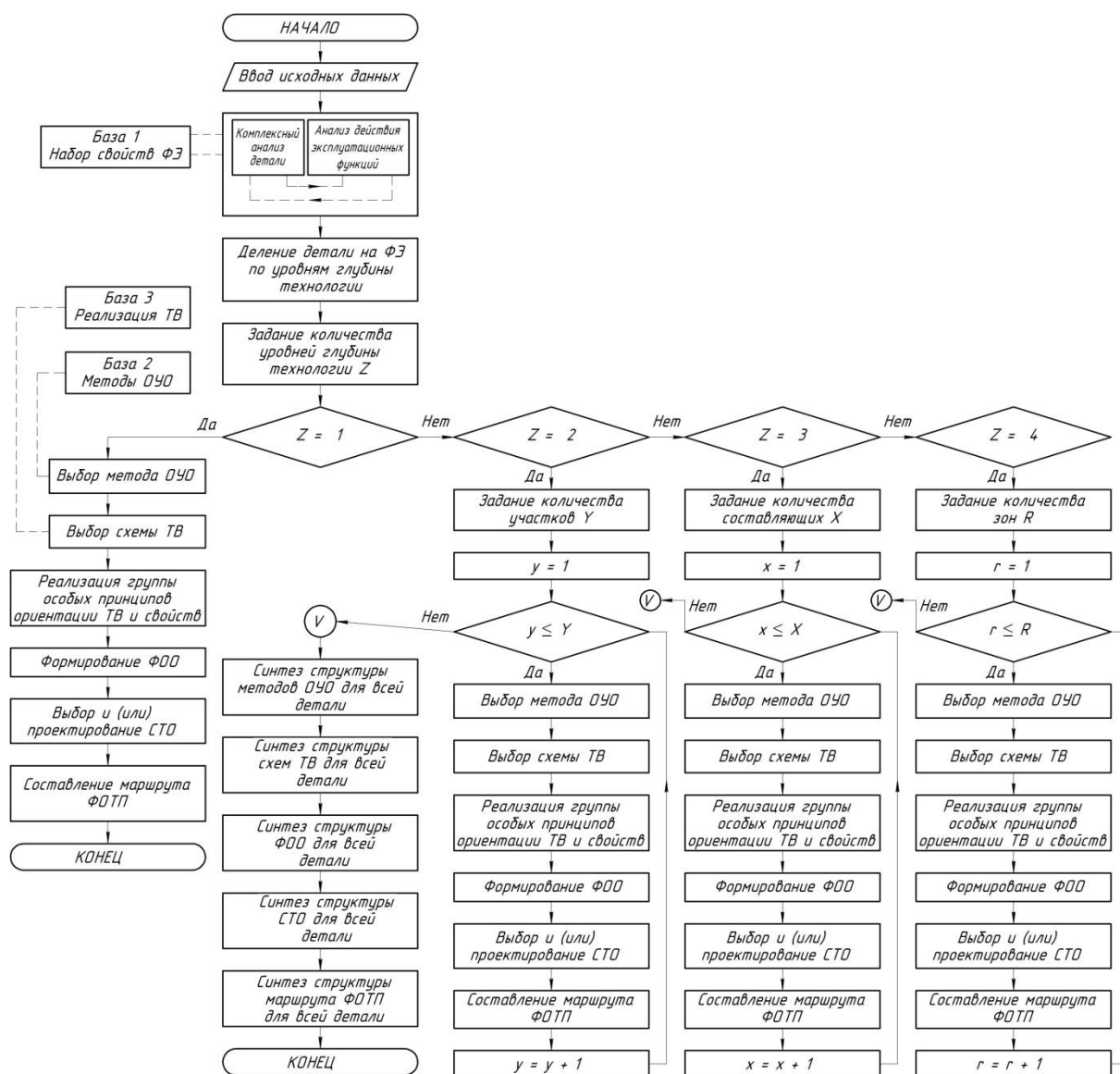


Рисунок 1. Алгоритм синтеза ФОТП

Затем производится формирование функционально-ориентированной операции (ФОО) для элемента, которым в данном случае является сама деталь.

На следующем этапе выполняется выбор из существующих или, при необходимости, проектирование новых средств технологического оснащения (СТО).

В заключение этой ветви алгоритма осуществляется составление маршрута ФОТП для изготовления всей детали.

Если количество уровней глубины технологии больше единицы, то реализация алгоритма осуществляется по соответствующей ветви. Рассмотрим на примере  $Z=2$  – уровень глубины – «участок детали».

Вначале необходимо задать количество участков, что определяется после комплексного анализа детали на этапе ее деления по уровням глубины технологии. После

этого реализуется цикл типа «ПОКА» – происходит последовательный перебор участков, для каждого из которых выполняется основное тело цикла, реализующего последовательность, описанную выше для  $Z = 1$ , начиная с выбора метода ОУО до составления маршрута ФОТП.

Однако, следует отметить, что в этом случае действия выполняются для участков детали. Поэтому после выполнения последовательности для всех участков осуществляется переход в другую ветвь алгоритма, в которой происходит синтез методов ОУО, схем ТВ, структуры ФОО и СТО, а также маршрута ФОТП для всей детали, с учетом ее ФЭ, т.е. комплексный, объединяющий подход ко всем участкам, с учетом как их сходных свойств, так и различий.

Аналогично происходит реализация предлагаемого алгоритма для третьего уровня ( $Z = 3$ ) и четвертого уровня ( $Z = 4$ ) глубины технологии – составляющих и зон детали. Реализуемые в результате прохождения по соответствующим циклам алгоритма этапы повторяют описанные выше для участков, однако, уже для соответствующих ФЭ. После реализации необходимых циклов также осуществляется переход на заключительную ветвь синтеза структуры для всей детали.

Таким образом, процесс проектирования ФОТП выполняется в 3 этапа (рис. 2):

- 1) анализ действия ЭФ на деталь;
- 2) деление детали на ФЭ, определение соответствия действия ЭФ и ФЭ;
- 3) на базе схем ТВ, операций и группы особых принципов формируется структура ФОТП.

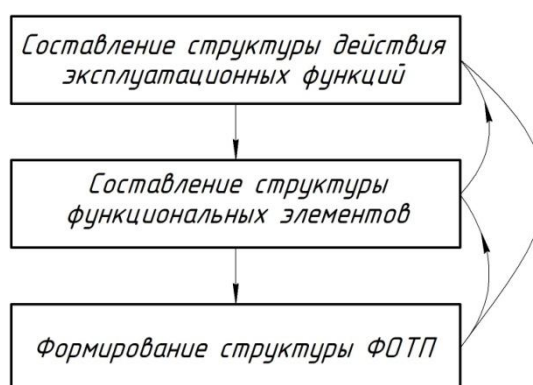


Рисунок 2. Схема процесса проектирования ФОТП

Отметим на рис. 2 наличие замкнутой рекуррентной структуры с итерационной последовательностью. Это позволяет в процессе разработки ФОТП осуществлять возврат на предыдущий этап для внесения изменений. После возврата на предыдущий этап и внесения необходимых изменений с целью получения параметров процесса, удовлетворяющим заданным требованиям, повторяются действия по проектированию ФОТП.

Кроме этого, в рамках каждого блока алгоритма (см. рис. 1) может быть реализована своя повторяющаяся последовательность. Рассмотрим это на примере проектирования СТО (рис. 3).



Рисунок 3. Средства технологического обеспечения

Особенности проектирования СТО для ФОТП определяются особенностями технологического объекта. Этап проектирования СТО, показанный на рис. 1, состоит из уровней проектирования, представленных на рис. 4.



Рисунок 4. Уровни этапа проектирования СТО

Аналогично, на рис. 5, можно представить процесс проектирования – синтез типа «технологический процесс», являющегося, также, частью алгоритма, представленного на рис. 1.

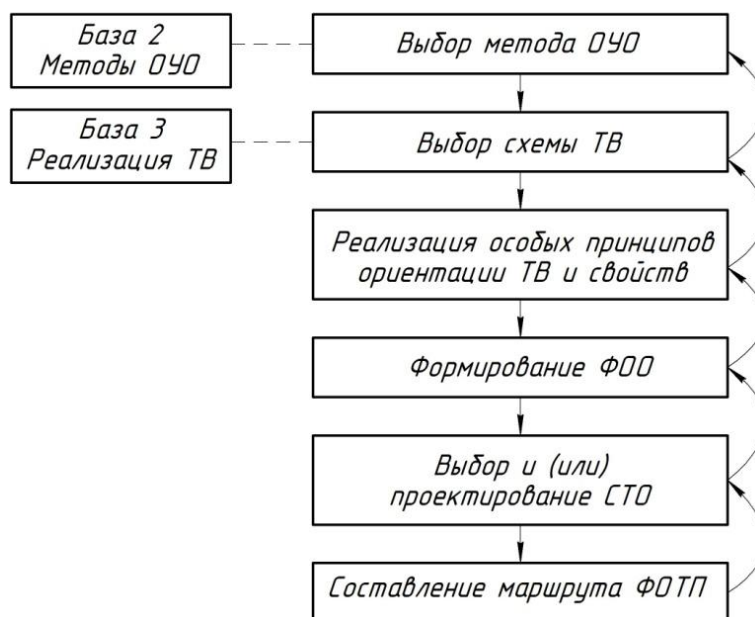


Рисунок 5. Процесс проектирования типа «технологический процесс»

На рис. 5 дополнительно отражена рекуррентная структура, которая в целях упрощения и наглядности не показана на рис. 1.

Отметим, что заданные, требуемые или предельные эксплуатационные свойства деталей судовых дизелей реализуются путем решения по замкнутой форме триединой задачи - определение ТВ для обеспечения ЭС детали в зависимости от действия ЭФ на соответствующем уровне глубины технологии. Такой подход позволит получать детали судовых дизелей с управляемыми на этапе проектирования ЭС, которые в свою очередь обеспечат заданный ресурс каждой из деталей, а значит и всего изделия.

### **Заключение.**

Приведенный и описанный в работе алгоритм синтеза ФОТП позволяет обобщить и систематизировать комплекс действий, связанных с проектированием ФОТП в судовом машиностроении для деталей судовых дизелей, работающих в сложных эксплуатационных условиях. Использование алгоритма при назначении функционально-ориентированных методов ОУО на разных уровнях глубины технологии дает возможность обеспечивать в деталях судовых дизелей требуемые эксплуатационные свойства.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
2. Костенко, А. В. Особенности классификации и представления деталей в функционально-ориентированной технологии машиностроения / А. В. Костенко, А. Н. Михайлов, А. Н. Полетайкин // Механики XXI века. – 2019. – №18. – С. 179-186.
3. Костенко, А. В. Особенности структуры функционально-ориентированной отделочно-упрочняющей обработки деталей судовых агрегатов / А. В. Костенко, А. Н. Михайлов, А. В. Лукичев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – №1 (64). – С. 43-51.
4. Михайлов, А. Н. Применение функционально-ориентированных технологий при производстве судовых двигателей внутреннего сгорания / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко, А. В. Лукичев // Вестник КамчатГТУ. – 2015. – №33. – С. 11-14.
5. Костенко, А. В. Особенности синтеза технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки методом графов / А. В. Костенко, А. Н. Михайлов, А. В. Лукичев // Научные труды Азербайджанской государственной морской академии – 2019. – №2. – С. 89-94.
6. Михайлов, А. Н. Общие принципы повышения эксплуатационных свойств деталей судовых агрегатов на базе функционально-ориентированных технологий / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 6 (314). – С. 82-87

Поступила в редколлегию 30.04.2019 г.