

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.51 : 621.81

Л. М. Акулович, Д. Б. Ермашкевич

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА

UDC 658.51 : 621.81

L. M. Akulovich, D. B. Yermashkevich

COMBINED METHOD FOR AUTOMATED DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE MANUFACTURE OF MACHINE COMPONENTS FROM PROFILE ROLLED METAL

Аннотация

На основе анализа методов автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин предложен комбинированный метод и разработан алгоритм его функционирования, что позволяет вести проектирование как в автоматическом режиме с применением комплексных технологических процессов, так и в диалоговом режиме с использованием конструкторско-технологических элементов. По результатам исследований разработана и внедрена «Автоматизированная система подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ», обеспечивающая сквозное проектирование технологических процессов изготовления деталей из металлопроката.

Ключевые слова:

технологический процесс, автоматический режим, синтез маршрутов и операций, управляющий массив, конструкторско-технологический элемент.

Abstract

Based on the analysis of methods for automated design of technological processes to be used in the manufacturing of machine components, the combined method and the algorithm for its functioning are proposed, which allow designing to be carried out both in the automatic mode with the use of complex technological processes and in the dialogue mode using design-technological elements. The results of the research have been used in the development and implementation of «Automated system for the preparation of production at the enterprise specializing in manufacture of equipment for agricultural work mechanization», which ensures end-to-end design of technological processes for the production of components from profile rolled metal

Key words:

technological process, automatic mode, synthesis of routes and operations, managing array, design-technological element.

Введение

Особенностью современного машиностроительного производства является необходимость частой сменяемости номенклатуры выпускаемых изделий, что вызвано спросом рынка. Для освоения выпуска новых изделий требуется

осуществлять соответствующую технологическую подготовку производства (ТПП), главная задача которой заключается в обеспечении освоения выпуска нового изделия в короткие сроки и с наименьшими затратами [1, 2]. Вместе с тем в себестоимости продукции много-

номенклатурного производства доля затрат на подготовку производства адекватно отражает количество видов выпускаемых изделий.

Основной составляющей в трудоемкости подготовки производства выступают затраты инженерного труда на проектирование технологических процессов. Среди них этап «проектирование технологических процессов» является центральным, главным звеном всей системы ТПП и решающим образом влияет на сроки подготовки и освоения новых изделий, на их качество и конкурентоспособность. С внедрением инновационных технологий возрастает воздействие технологической подготовки производства на эффективность деятельности машиностроительного предприятия и его конкурентоспособность.

В этих условиях нет альтернативы использованию систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) изготовления изделий, которые обеспечивают снижение трудоемкости поиска оптимального проектного решения и сокращают сроки технологической подготовки производства.

Большинство известных [2–6] САПР ТП осуществляют проектирование в интерактивно-алгоритмическом режиме с большей или меньшей степенью автоматизации проектных процедур, а для обработки деталей сложной конфигурации (например, корпусных и т. п.) – в диалоговом режиме с незначительной степенью автоматизации, в том числе посредством текстового редактора Word.

Современные САПР ТП реализуют следующие методы проектирования: автоматический, полуавтоматический, интерактивный (диалоговый) и «по аналогу» [6, 7]. Каждый из перечисленных методов проектирования имеет свои преимущества и недостатки. Общим недостатком САПР ТП, реализующих эти методы проектирования, является неудовлетворительная производитель-

ность проектирования технологических процессов для изготовления относительно несложных деталей. Например, для деталей, поддающихся группированию в технологические группы, интерактивный режим неэффективен, а при применении автоматического режима в большинстве случаев требуется адаптация разработанного технологического процесса к условиям производства.

Решить данную проблему возможно, используя сразу несколько САПР ТП под соответствующие виды деталей. Но такой подход является нецелесообразным по следующим причинам:

- пользователю системы потребуется приобретать несколько различных систем, что усложняет и удорожает проектирование;

- необходимо создание нескольких баз данных и архивов спроектированных технологических процессов;

- у пользователя могут появиться проблемы интеграции систем и вытекающие отсюда организационные сложности.

Другой путь решения проблемы – совершенствование методов проектирования и представления технологической информации, которые составляют базовую основу режимов проектирования в САПР ТП.

Методы представления технологической информации и проектирования в САПР ТП

Существующие САПР ТП отличаются друг от друга по функциональным возможностям, уровню автоматизации проектных процедур, методам и режимам проектирования технологических процессов. Однако общим для всех систем является то, что процессу проектирования на различных уровнях соответствует определенный состав и последовательность решаемых технологических задач, основные из которых – задачи анализа и синтеза [1, 6].

Метод анализа основан на ис-

пользовании унифицированных технологических процессов. Предполагается, что структура единичного технологического процесса не создается заново, а базируется на применении комплексных технологических процессов. Метод анализа является основным методом проектирования технологических процессов. Его применение дает наибольший эффект при использовании групповых и типовых технологических процессов (КТП).

Метод синтеза базируется на синтезе маршрутов и операций, то есть на принципе их генерации для проектирования единичных технологических процессов. В основе метода в качестве технологической информации лежат локальные типовые решения, при этом каждая САПР ТП может быть построена на своих индивидуальных алгоритмах. Метод синтеза базируется на использовании конструкторско-технологических элементов (КТЭ). САПР ТП, в которых применен данный метод, универсальны и позволяют разрабатывать технологические процессы для различных классов деталей.

В современных условиях при большой номенклатуре изделий и их частой сменяемости возникает потребность в САПР ТП, совмещающей в себе достоинства проектирования известных САПР ТП и использующей комбинированный метод. Сущность комбинированного метода состоит в том, что САПР ТП должна обладать возможностью применения при проектировании одного и того же технологического процесса разных методов: автоматического (в том числе полуавтоматического), диалогового (в том числе метода структурного синтеза с использованием КТЭ), «по аналогу».

Автоматический метод проектирования базируется на технологических алгоритмах, содержащих конкретные технологические решения и условия их выбора в автоматическом режиме. В результате работы САПР ТП в автомати-

ческом режиме формируется вариант технологического процесса. Разработанный системой вариант технологического процесса может быть принят технологом или отредактирован с использованием других режимов работы САПР ТП. В таких САПР ТП требуется максимально подробное описание входных данных о детали – информация с конструкторского чертежа или 3D-модели. Проектировать в автоматическом режиме технологические процессы возможно только на детали, поддающиеся группированию по конструктивно-технологическим признакам. Для каждой группы таких деталей формируют индивидуальные технологические алгоритмы проектирования в САПР ТП.

Например, в САПР ТП «Модуль механической обработки PRAMEN» (разработчик – ОАО «Институт БЕЛОРГСТАНКИПРОМ», РБ) использовано понятие комплексных технологических процессов, являющихся основой автоматического режима функционирования системы. По своей сути КТП представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с общими конструктивными и технологическими признаками. С другой стороны, КТП – формализованный технологический алгоритм, содержащий операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения. КТП является основой для организации проектирования технологических процессов обработки деталей в автоматическом режиме.

КТП включает структуры, представленные в виде массивов (рис. 1): УМ – управляющий массив; КО – комплексная операция; СО – содержание операции.

Для каждого КТП создается свой управляющий массив. Из структуры управляющего массива происходит определение состава технологического процесса в виде упорядоченного перечня комплексных операций. В УМ пере-

числены все возможные комплексные операции, которые могут встречаться при обработке деталей определенной группы с логическими условиями их назначения. В результате анализа логи-

ческих условий выбираются комплексные операции, из которых формируется состав технологического процесса для каждой конкретной детали.

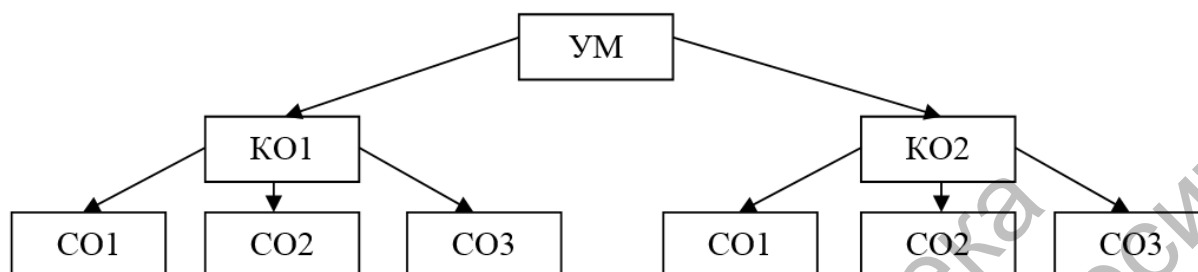


Рис. 1. Типовая структура КТП

Комплексная операция (КО) представляет собой массив, имя которого присваивается из обрабатываемого управляющего массива. В КО описывается перечень входящих операций, на каждую операцию задается перечень моделей оборудования, а также, при необходимости, условия, при выполнении которых будут назначаться операции и модели оборудования. Массивы КО могут входить как в один, так и в несколько УМ, что дает возможность не дублировать, а использовать один и тот же массив КО в разных УМ.

Содержание операции (СО) представляет собой массив, имя которого получено из записи в массиве комплексной операции. В содержании операции задается перечень переходов, которые входят в данную операцию, с условиями их назначения. Это могут быть технологические, вспомогательные, контрольные и ненормируемые переходы.

Достоинства САПР ТП, в которых используется автоматический метод проектирования технологических процессов:

- от технолога не требуется высокой квалификации в предметной области, так как все методики и техноло-

гические алгоритмы проектирования уже заложены в САПР ТП;

- в методиках и технологических алгоритмах можно учесть существующую специализацию и традиции производственных подразделений;

- достигается максимальный уровень автоматизации проектирования по сравнению с диалоговым методом;

- имеется возможность углубленной адаптации САПР ТП к условиям конкретного предприятия по нормативно-справочным данным (средства технологического оснащения), базам данных и технологическим алгоритмам.

Совместно с автоматическим режимом работы в САПР ТП применяется *полуавтоматический режим*, который позволяет редактировать технологический процесс, сформированный в автоматическом режиме (на уровне оборудования, операций и переходов).

Однако для автоматического проектирования технологических процессов изготовления деталей, не поддающихся группированию (например, детали сложной конфигурации, получаемые из индивидуальных отливок), требуется разработка индивидуальных технологических алгоритмов для каждой детали, что экономически нецелесообразно.

Интерактивный (диалоговый) метод построен на проектировании технологического процесса посредством диалога пользователя с САПР ТП. Технолог, взаимодействуя с базой данных системы через интерфейс, в диалоговых окнах формирует маршрут обработки, оснащает и нормирует технологический процесс, задает его параметры. Разновидностью этого метода является структурный синтез технологического процесса с использованием КТЭ. Формирование технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза происходит путем совмещения выбранных вариантов обработки всех КТЭ детали. Каждую деталь можно

представить в виде совокупности ее КТЭ (рис. 2). Соответственно, конструкторско-технологическая модель детали – это совокупность входящих в нее КТЭ. Для каждого КТЭ должны быть определены геометрические параметры, варианты технологии обработки, а также условия выбора требуемого варианта технологии обработки. На основании фактических значений геометрических параметров для каждого КТЭ происходит выбор требуемого варианта технологии его обработки. Технологический процесс изготовления детали синтезируется из выбранных вариантов технологии обработки всех входящих в эту деталь КТЭ.

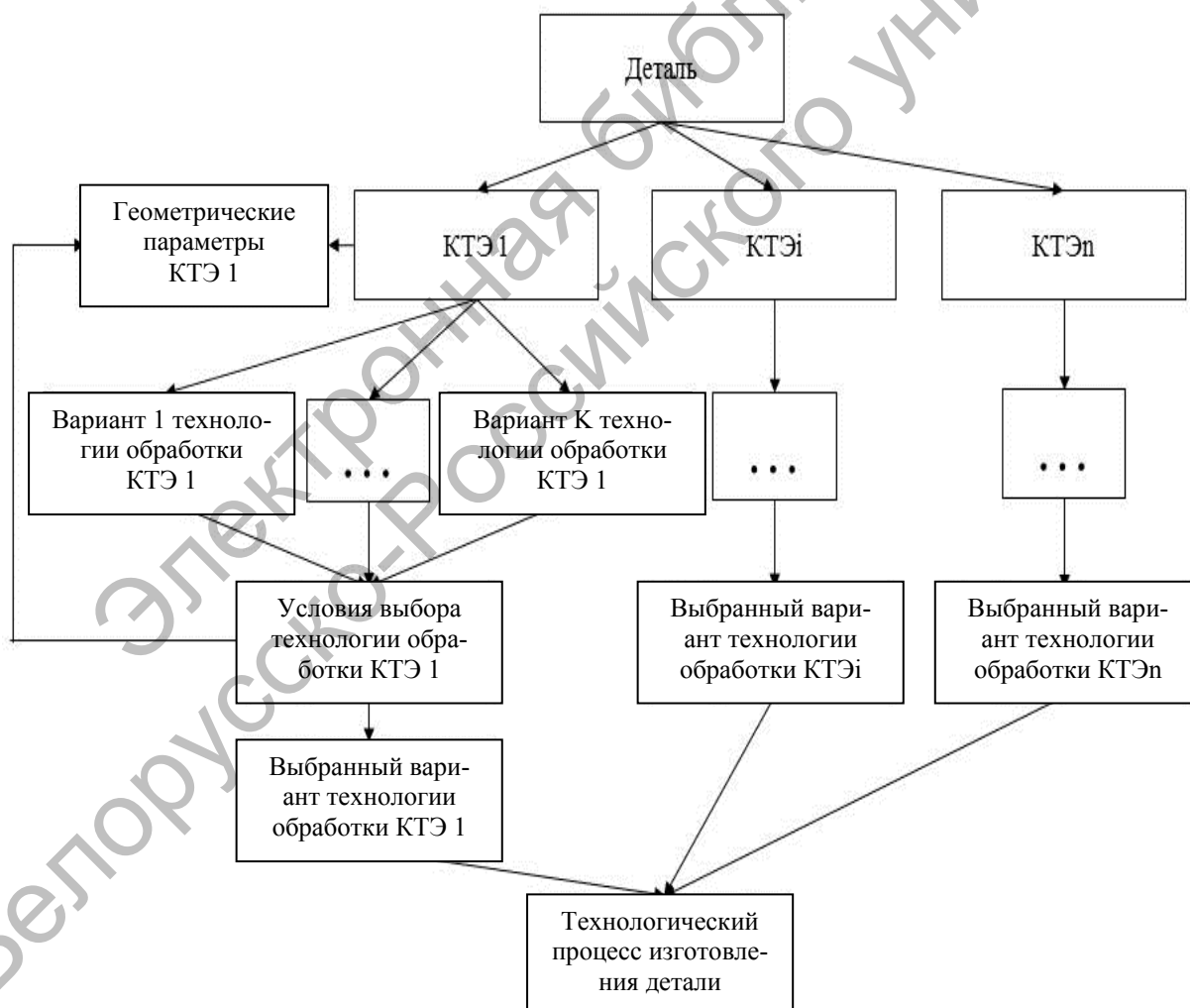


Рис. 2. Схема формирования технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза

В качестве примера на рис. 3 приведены типовая деталь из металлопроката и входящие в нее КТЭ. Конструкторско-технологическую модель такой детали можно представить в виде совокупности семи различных КТЭ:

– КТЭ 1 – плоская поверхность с фасками (геометрические параметры: $L1$, $\Phi1$, $\Phi2$);

– КТЭ 2 – окно в сплошном материале на плоской поверхности (геометрические параметры: $L1$, $L2$, $L3$, $L4$, $L5$);

– КТЭ 3 – плоская поверхность со скосом (геометрические параметры: $L1$, $L2$);

– КТЭ 4 – плоская поверхность со скосом (геометрические параметры: $L1$, $L2$);

– КТЭ 5 (2 шт.) – отверстие цилиндрическое в сплошном материале на плоской поверхности (геометрические параметры: $D1$, $L1$);

– КТЭ 6 – плоская поверхность со скосом (геометрические параметры: $L1$, $L2$);

– КТЭ 7 (4 шт.) – плоская поверхность (геометрические параметры: $L1$).

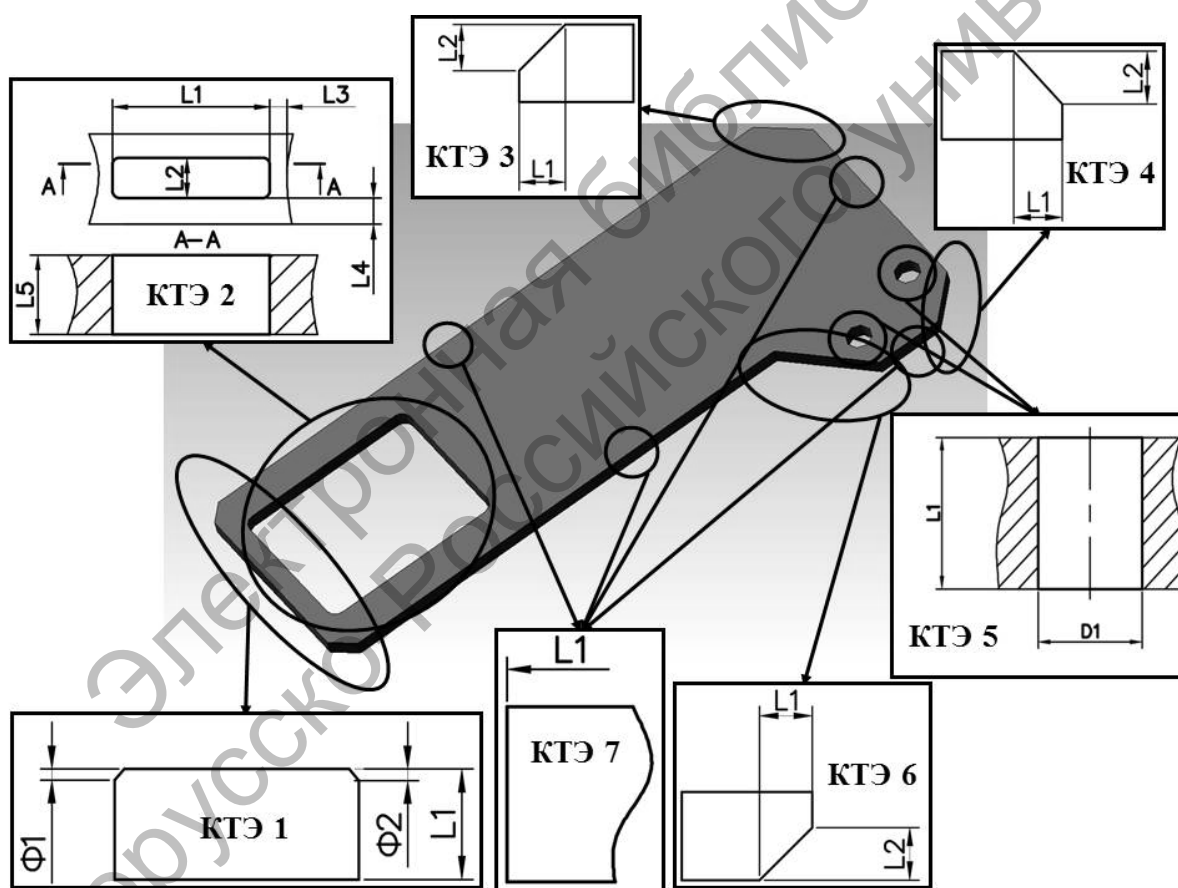


Рис. 3. Схема конструкторско-технологической модели детали

Каждый из КТЭ, входящих в рассматриваемую деталь, имеет несколько вариантов технологии обработки в зависимости от геометрических параметров

и шероховатости поверхности. Требуемый вариант технологии обработки КТЭ выбирается путем сравнения значений геометрических параметров КТЭ

и шероховатости поверхностей, взятых из чертежа детали, с условиями выбора вариантов технологии обработки.

Использование метода структурного синтеза эффективно при наличии наработанной базы данных КТЭ. Интерактивные (диалоговые) САПР ТП универсальны, позволяют проектировать технологические процессы на детали любого типа. Однако процесс проектирования является более трудоемким по сравнению с автоматическим методом проектирования.

Метод проектирования «по аналогу» основан на заимствовании уже готовых технологических решений из технологического процесса изготовления детали-аналога с подобными конструктивно-технологическими признаками. При использовании этого метода нет необходимости вносить исходные данные и проектировать новый технологический процесс «с нуля», поэтому трудоемкость проектирования минимальная при условии наличия соответствующей детали-аналога. С целью минимизации трудоемкости автоматизированного проектирования технологических процессов предлагается комбинированный метод, который позволяет использовать достоинства рассмотренных методов проектирования. Алгоритм функционирования САПР ТП, в которой реализован комбинированный метод, представлен на рис. 4.

САПР ТП, в которой будет реализован комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, должна представлять пользователю следующий порядок проектирования технологических процессов:

– для деталей, поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам, – проектирование в автоматическом режиме на базе комплексных технологических процессов с доработкой (при необходимости) в полуавтоматическом и диалоговом режимах с использованием (или

без использования) метода структурного синтеза;

– для деталей, не поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам или не обеспеченных КТП по тем или иным причинам, – проектирование в диалоговом режиме, в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ;

– для деталей, у которых одна часть конструкторско-технологических элементов поддается группированию, а другая – не поддается, – проектирование комбинированным методом, при котором первая часть технологического процесса формируется в автоматическом режиме, другая – в диалоговом, в том числе методом структурного синтеза с использованием конструкторско-технологических элементов, обработка которых не предусмотрена в КТП;

– для деталей, входящих в технологическую группу, – проектирование методом «по аналогу» при условии наличия в САПР ТП спроектированного ранее технологического процесса на деталь-аналог.

Апробация предлагаемого комбинированного метода проектирования

Проектирование комбинированным методом реализовано в САПР ТП изготовления деталей для изделий сельскохозяйственного назначения, в которых основная масса деталей изготавливается из сортового проката. Детали, изготавливаемые из металлопроката (листовой, круглый и профильный), имеют общность по форме поверхностей: цилиндрические и плоскости. Это позволяет сформировать библиотеку конструкторско-технологических элементов и вести проектирование технологических процессов в автоматическом режиме на базе комплексных технологических процессов с последующей адаптацией к конкретным условиям предприятия.

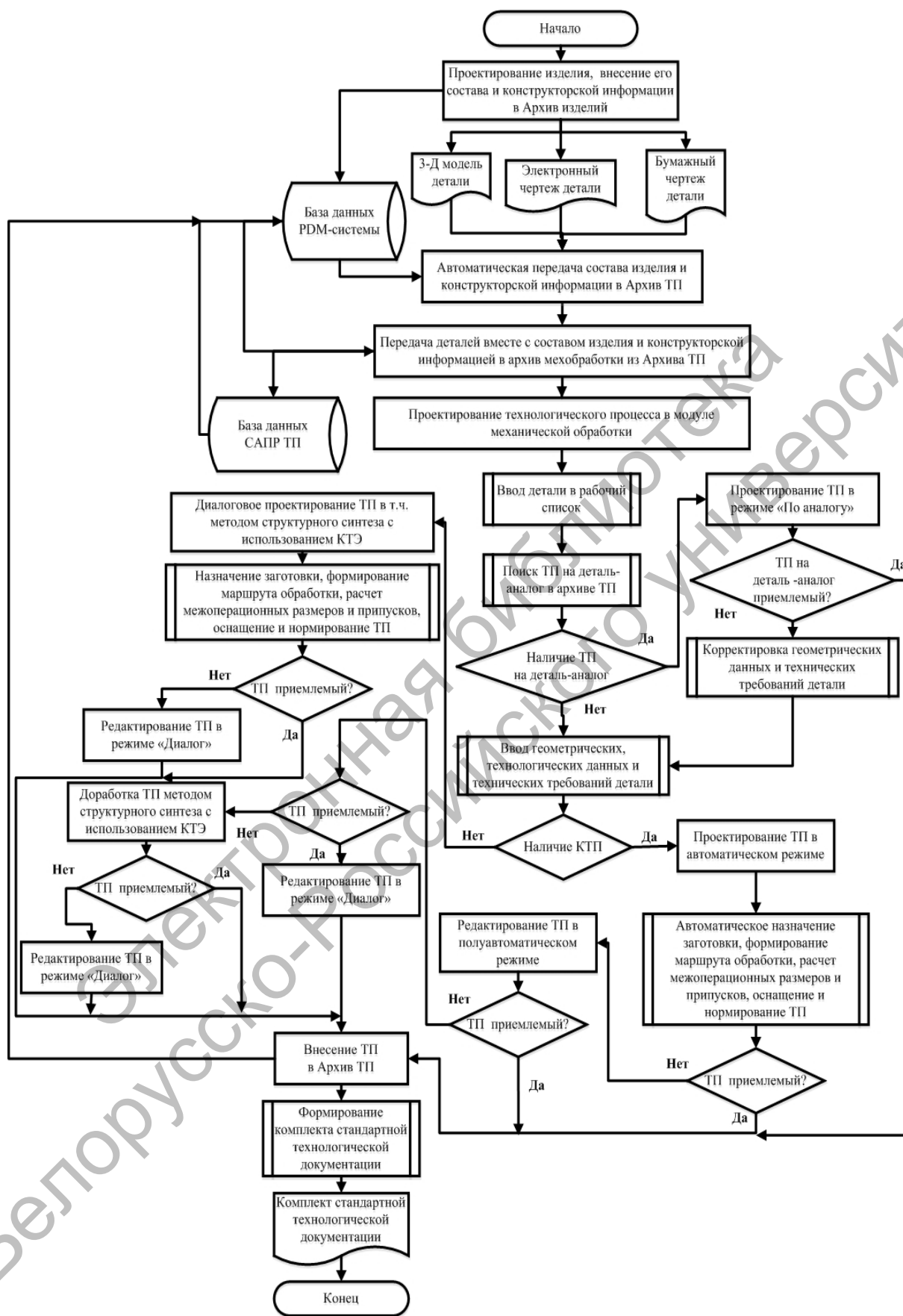


Рис. 4. Блок-схема алгоритма функционирования интегрированной САПР ТП при автоматизированном проектировании технологических процессов комбинированным методом

С другой стороны, сквозное автоматизированное проектирование технологических процессов целесообразно осуществить, используя уже готовые решения для автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства, т. е. создать интегрированную автоматизированную систему сквозного проектирования. Такая интегрированная система должна выполнять следующие основные функции:

- возможность интеграции с графическими пакетами разных производителей (AutoCAD, T/FLEX, Компас и др.);
- ведение автоматизированного архива деталей и сборочных единиц (управление составом изделий);
- ввод информации с электронных чертежей и 3D-моделей, созданных в разных графических системах (AutoCAD, T/FLEX, Компас и др.);
- создание и ведение единой базы данных технологического назначения с передачей данных между единой базой данных и модулями, выполняющими основные функции системы, и обменом информацией с информационными системами предприятий;
- сквозное проектирование технологических процессов в автоматическом и диалоговом режимах (в том числе с применением комплексных технологических процессов), методом синтеза (с использованием конструкторско-технологических элементов), в режиме «по аналогу»;
- построение схем раскладки для всех видов раскроя металлопроката с расчетом их показателей эффективности;
- проектирование и УП для оборудования с ЧПУ;
- формирование и вывод стандартной технологической документации на принтер или графопостроитель.

Для реализации вышеприведенных функций интегрированная система должна включать в себя следующие основные компоненты:

- CAD-система (графический пакет);

- система управления базами данных (СУБД);
- база данных технологического назначения, подключенная к СУБД;
- архив изделий (система электронного управления составом изделий);
- проблемно-ориентированный программный модуль для графического ввода геометрической информации с электронных чертежей и 3D-моделей;
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки на универсальном оборудовании деталей всех технологических групп («Модуль механической обработки»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования управляющих программ для оборудования с ЧПУ («Модуль ЧПУ»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов термической обработки («Модуль термической обработки»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов холодной штамповки («Модуль холодной штамповки»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов сварки («Модуль сварки»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов нанесения гальванических покрытий («Модуль гальванических покрытий»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования лакокрасочных покрытий («Модуль лакокрасочных покрытий»);
- объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования раскроя деталей произ-

вольной формы («Модуль фигурного раскроя»);

– объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования раскроя деталей прямоугольной формы («Модуль прямоугольного раскроя»);

– объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования раскроя деталей из прутка («Модуль линейного раскроя»);

– объектно-ориентированный модуль системы автоматизированного проектирования технологических процессов сборки («Модуль сборки»);

– проблемно-ориентированный программный модуль генерации форм технологических и других документов;

– архив технологических процессов (система электронного управления технологической документацией);

– проблемно-ориентированный программный модуль связи с информационными системами предприятия.

Программные модули по запросу выбирают состав изделия, характеристики узлов и деталей из архива изделий интегрированной системы. Далее для разработки документации по технологическим переделам используются условно-постоянные параметры базы данных с возможностью их дополнения и(или) редактирования. Результаты работы модулей передаются в архив технологических процессов автоматизированной системы [7].

Архивы интегрированной системы содержат информацию о результатах работы модулей [7, 8]:

- структуру изделий;
- характеристики изделий, узлов, деталей;
- расход материалов на изделия;
- технологические процессы изготовления изделий, узлов и деталей.

Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления дета-

лей из металлопроката применен при разработке интегрированной САПР ТП «Автоматизированная система подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ», которая внедрена в ОАО «Минский Агросервис».

Заключение

1. В результате анализа применяемых в САПР ТП методов автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин установлено, что автоматический метод проектирования является наиболее производительным, однако он эффективен для деталей конкретных технологических групп, а для деталей, не входящих в технологические группы, требуется доработка спроектированного технологического процесса.

2. Предложен комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, сущность которого состоит в том, что часть технологического процесса формируется в автоматическом режиме с применением комплексных технологических процессов, а оставшаяся часть – методом структурного синтеза с использованием конструкторско-технологических элементов.

3. Разработан алгоритм функционирования комбинированного метода, который использован при разработке «Автоматизированной системы подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ», внедрение которой позволило осуществлять сквозное автоматическое проектирование технологических процессов изготовления деталей из металлопроката и обеспечило сокращение сроков подготовки производства на 20...25 %, а также экономии металлопроката на 5...10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акулович, Л. М.** Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. **Хармац, И.** Компас-Автопроект – технологическая подготовка производства в едином информационном пространстве / И. Хармац // САПР и графика. – 2002. – № 9. – С. 23–30.
3. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / Н. Н. Попок, Н.В. Беляков, В. И. Олышанский, Ю. Е. Махаринский, М. М. Жадович, Д. Б. Ермашкевич, А. В. Белецкий, В. В. Величко // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. – 2011. – № 11. – С. 2–11.
4. **Куликов, Д. Д.** Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства : учеб.-метод. пособие / Д. Д. Куликов, Е. И. Яблочников, В. С. Бабанин. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 136 с.
5. Проектирование технологического процесса механической обработки в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ : метод. указания / Сост. А. С. Лавров. – Абакан : ФГОУВПО «Сибирский федеральный университет». Хакасский технический институт, 2010. – 49 с.
6. **ОРГС 4664.013.ИЗ.** Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. – Минск : Ин-т Белоргстанкин-пром», 2005. – 135 с.
7. Функциональная структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов для машиностроительных предприятий / А. Г. Гривачевский, Д. Б. Ермашкевич, Р. Л. Кулик, Б. М. Штейн // Проблемы создания информационных технологий : сб. науч. тр. / Под ред. Г. Г. Маньшина. – М. : Техполиграфцентр, 2014. – Вып. 25. – С. 39–44.
8. **Волков, П. Ю.** Системы автоматизированного проектирования технологического оборудования машиностроительных производств : учеб. пособие / П. Ю. Волков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 100 с.

Статья сдана в редакцию 9 марта 2017 года

Леонид Михайлович Акулович, д-р техн. наук, проф., Белорусский государственный аграрный технический университет. E-mail: leo-akulovich@yandex.ru.

Дмитрий Брониславович Ермашкевич, зам. директора, Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «ЛАКШМИ». E-mail: mitrich31@mail.ru.

Leonid Mikhailovich Akulovich, D. Sc. (Engineering), Prof., Belarusian State Agrarian Technical University. E-mail: leo-akulovich@yandex.ru.

Dmitry Bronislavovich Yermashkevich, Deputy Director, «LAKSHMI» Scientific and Production Ltd. Co. E-mail: mitrich31@mail.ru.