

$$D = (A \setminus B) \cup C,$$

где  $C$  – множество совмещенных ремонтов со всем набором показателей для этих ремонтов.

Алгоритм сортировки состоит в следующем. Все вершины-источники объединяются в одну вершину, причем множество инцидентных ей ветвей образуется как

$$\Gamma_0 = \bigoplus_{i \in I} \Gamma_i$$

где  $I$  – множество вершин источников;  $\Gamma_i$  – множество ветвей, инцидентных  $i$ -й вершине;  $\bigoplus$  – операция кольцевого суммирования множеств, которая определяется формулой

$$\bigoplus_{i \in I} \Gamma_i = \left( \bigcup_{i \in I} \Gamma_i \right) \setminus \left( \bigcap_{i \in I} \Gamma_i \right).$$

После этого выполняются проверка составленного графика ремонтов по режимно-топологическим ограничениям и соответствующая коррекция.

*Акулович Л.М., Ермашкевич Д.Б. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет, ОАО «Институт Белоргстанкинпром», Минск, Беларусь*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Основные показатели конкурентоспособности продукции машиностроения (качество, себестоимость, сроки освоения выпуска) формируются на первом этапе подготовки производства – проектировании технологических процессов изготовления изделий. За последние годы имеет место тенденция увеличения удельного веса работ по технологической подготовке производства. Это обусловлено как увеличением доли мелкосерийного производства, так и совершенствованием технологического оборудования на заготовительных и механообрабатывающих операциях, требующего разработки управляющих программ. Так, например, технологические возможности современного оборудования термической (лазерной и плазменной) резки материалов значительно расширились и обеспе-

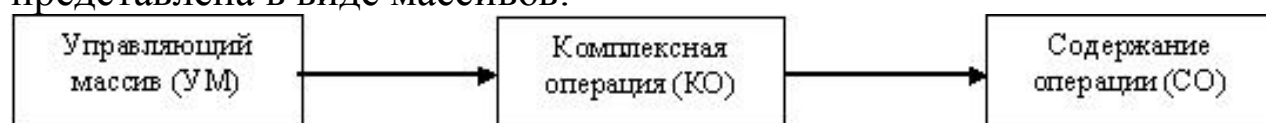
чивают точность позиционирования по управляемым осям  $\pm 0,01$  мм, а точность обработки –  $\pm 0,1$  мм. В результате стало возможным на заготовительных операциях производить обработку ряда отверстий, окон, контуров деталей окончательно с обеспечением заданных чертежом требований по точности и шероховатости поверхностей, то есть совмещать их с операциями механической обработки в единых технологических процессах. Все это обуславливает создание систем автоматизированного проектирования (САПР) сквозных технологических процессов изготовления деталей машин, позволяющих разрабатывать как единые технологические процессы изготовления деталей, так и управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением.

Известные системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки (САПР ТП МО) и раскроя листовых материалов (САПР “Раскрой”) решают задачи соответствующих технологических переделов и не могут функционировать совместно [1]. В ОАО «Институт Белорганкинпром» решена задача сквозного технологического проектирования путем представления информационной модели технологии раскроя листовых материалов на уровне операций механической обработки с учетом взаимосвязи компонентов структурного и параметрического синтеза для всех операций.

Структура технологического процесса  $S_{m.n.} = \{V, S\}$  интегрированной САПР ТП представлена множеством  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  элементов каждой системы и множеством связей  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  между ними. Информация о размерах и точности всех элементов детали, о расположении элементарных поверхностей, шероховатости и т.п. представляется в виде конструкторско-технологического шифра, который служит ключом для поиска в таблицах кодированных сведений (ТКС) нужной при проектировании информации. Технологический процесс изготовления детали с одной стороны (стороны структуры) представляется как совокупность взаимосвязанных этапов, операций и переходов, а с другой (со стороны функции) – как часть производственного процесса, связанную с количественным и качественным преобразованием объектов производства из состояния заготовок  $C_3$  в состояние готовых изделий  $C_H$ . Реализация технологических процессов приводит к изменению качественных и количественных характеристик объектов производства. В результате функция технологического процесса может быть описана как  $C_3$

→  $C_{II}$ . В соответствии с разделением технологического процесса на операции общая функция расчленяется на ряд операционных функций  $\varphi_j$ . Функция каждой  $\varphi_j$ -операции характеризует промежуточное изменение качественного состояния заготовки  $C_{j-1} \rightarrow C_j$ . Состояние заготовки  $C_j$  характеризуется формой, межоперационными размерами, их точностью, шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностей, полученных в результате выполнения  $j$ -й операции.

Разработанная САПР ТП основана на использовании комплексных технологических процессов (КТП) и функционирует в автоматическом режиме проектирования. Структура каждого КТП представлена в виде массивов:



С одной стороны, КТП в отличие от типового процесса представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с примерно общими конструктивными и технологическими признаками. С другой стороны, КТП представляет собой формализованный технологический алгоритм, содержащий операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения. В УМ приводятся все возможные комплексные операции, которые могут встречаться при обработке деталей определенной группы с логическими условиями их назначения. В результате анализа логических условий выбираются комплексные операции, из которых формируется состав проектируемого технологического процесса. Имя массива КО формируется из используемого УМ. В нем описываются входящие операции, условия их назначения и модели оборудования. Массивы КО могут входить в несколько УМ, что дает возможность использовать один и тот же массив КО в разных УМ. Содержание операции представляет собой массив, имя которого получено из записи СО массива комплексной операции. В содержании операции задаются перечень переходов, которые входят в данную операцию, и условия их назначения.

Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов-пользователей, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов. Внедрение САПР ТП на машиностроительных предприятиях позволит

улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3...10 раз в зависимости от сложности конструкции деталей.

## **Литература**

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Мн. : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488с.

*Андреев Н.С.* НИАТ, ГЕТНЕТ КОНСАЛТИНГ,  
Москва, Россия

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

В настоящее время, имитационные модели играют весомую роль в различных областях науки. Не является исключением и машиностроение.

При решении задач по оценки эффективности и функционирования производственных систем, такой метод, как имитационное моделирование является ключевым для проведения экспериментов и оптимизации. Для моделирования производственных процессов наиболее подходящим является метод дискретно-событийного моделирования. Метод дискретно-событийного моделирования позволяет смоделировать во времени поведение производственной системы как функционирование «реального» объекта.

В настоящее время существует ряд систем дискретно-событийного моделирования. Когда речь идет о построении имитационной модели сложной производственной системы с большим количеством связей, процесс создания модели является трудоемким, не смотря на широкий функционал систем представленных на рынке.

Каждая имитационная модель обладает своим собственным жизненным циклом. Жизненный цикл имитационной модели включает в себя стадии разработки, создания и эксплуатации. На этапах