

# ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## FEATURES OF THE AUTOMATION OF THE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PRODUCTION FOR AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

**K. Alkhaled  
A. Goryachev**

*Summary.* The article discusses the process of developing components of information and software systems for the automation of the design of technological processes of production for an industrial enterprise.

*Keywords:* automation, information support, software, CAD, technological processes.

**Аль-Халед Халед Али Хуссейн**

Аспирант, Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»  
khaledalkhaled89@mail.ru

**Горячев Александр Вадимович**

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ»  
avgoriachev@etu.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается процесс разработки компонентов информационного и программного обеспечения системы автоматизации проектирования технологических процессов производства для промышленного предприятия.

*Ключевые слова:* автоматизация, информационное обеспечение, программное обеспечение, САПР, технологические процессы.

**В** настоящее время автоматизация проектирования всех технологических процессов является обязательным условием развертывания процесса изготовления любого устройства или компонента, так как иначе невозможно обеспечить быструю настройку и переналадку оборудования в процессе изготовления новых узлов и устройств.

Переход от ручного проектирования технологических процессов к их автоматизированному проектированию является важным рычагом для развития и роста производственных мощностей, повышения прибыльности, эффективности, а также количества и качества изготавливаемых компонентов.

Безусловно, никакие автоматизированные системы не могут полностью заменить профессионального технолога на предприятии, задача стоит в максимальной автоматизации рутинных операций и информационно поддержке процесса проектирования технологических процессов.

Основой проектирования технологического маршрута (ТМ) является дерево технологического процесса. Вопрос формирования этого дерева на основе, например, чертежа изделия, лежит полностью в компетенции технолога.

Дерево технологических операций представляется в виде древовидной структуры из кодов операций и логических условий, совокупность которых и будет опре-

делять технологический маршрут создания изделия. В виде ограничений используются данные об оборудовании, оснастке, материалах и их характеристиках.

Задача состоит в определении последовательности набора операций, выбора необходимого оборудования и оснастки, которые потребуются для технологического процесса. Последовательность набора операций будет зависеть от возможностей оборудования, оснастки, количества выпускаемых изделий и их особенностей. В связи с этим задача создания алгоритма технологического маршрута распадается на ряд подзадач.

В первую очередь нужно выяснить количество переходов ТМ.

Мы должны узнать, сколько переходов на каждом этапе  $n$  технологического маршрута (1):

$$\zeta_n = \{\mu_n | (P_k)\} \quad (1)$$

$\zeta_n$  — название этапа,  
 $\mu_n$  — номер этапа,  
 $P_k$  — методика создания детали на определенном этапе.

Множество этих переходов нужно поделить на какие-то подмножества исходя из особенностей используемой оснастки:

$$W: \{\mu_1(P_1), \mu_2(P_2), \dots \rightarrow M(A_n)\} \quad (2)$$

где  $W$  — алгоритм деления по логическим условиям, а  $M(A_i)$  — множество вариантов укрупненных операций, полученных после деления.

В итоге мы получим множество возможных вариантов некоего большого числа операций, для которых характерно большое количество переходов при создании детали. Из этих решений можно вычленить порядок операций согласно наличию оборудования и оснастки на предприятии.

Для каждого типа изделия создается обобщенный маршрут, заключающий в себе упорядоченный список операций и состоящий из множества операций ранее созданных индивидуальных маршрутов, необходимых для этого типа.

У нас есть набор подмножеств маршрутов  $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$  для одной группы изделий, где  $1, 2, \dots$  — значение индивидуального маршрута (ИМ)

Объединив их, можно получить обобщенный маршрут (ОМ)  $M_y^* \supset M_i$ , т.е. обобщенный маршрут  $M_y^*$  можно создать из индивидуальных маршрутов (3).

$$M_y^* = \cup_{i=1}^n M_i, n \rightarrow \max \tag{3}$$

Ключевое условие присоединения ИМ в обобщенный маршрут — наличие области пересечения операций  $M_i$  и  $M_j$ , при этом эта область не может быть пустой  $M_i \cap M_j \neq \emptyset$ . Основная характеристика ОМ — мощность пересечения всех операций  $|M_p|$ , т.е. выборка похожих операций (4), входящих в это пересечение:

$$|M_p| = \cup_{i=1}^n M_i, n \rightarrow \max \tag{4}$$

Стремление мощности к максимуму — главное требование объединения ИМ в ОМ. А вот мощность ОМ должна быть минимальна:

$$|M_y^*| = \cup_{i=1}^n M_i, n \rightarrow \min \tag{5}$$

Выходит, что, ОМ — это множество пересекающихся ИМ. Когда пересекаются два и больше маршрута, в них должны быть включены эквивалентные операции с одинаковым кодом  $|M_p|$  и  $|M_y^*|$ . Они необходимы для увеличения процента типизации, тогда мы сможем перебрать возможные варианты создания объединенных групп и их качество.

Теперь нужно построить индивидуальный маршрут. Для этого функцию к-ой операции мы будем находить по формуле (6):

$$f_k = \nabla_{j=1}^{n_2} (\Delta_{i=1}^{n_1} A_i) \tag{6}$$

где  $A_i$  — условие набора изделий,  $n_i$  — некоторое кол-во условий конъюнкций, а  $j = 1, 2, \dots$  — набор сочетаний дизъюнкций.

Тогда наша функция будет состоять из неких наборов, которые связаны логической суммой. Какие-то комплекты могут быть включены в функции (7):

$$\Delta_{i=1}^{n_1} A_i \leq f \tag{7}$$

Получается, что каждый набор, будучи уникальным, может помочь выбрать подходящую операцию для ИМ с отражением её положения в маршруте. Для упрощения каждому пояснению операции соотносят логические условия сочетания. Если  $f_k = 0$ , то это значит, что операция доступна к включению в любой индивидуальной ТМ. Пример такой операции — клеймение.

Для  $n_1, n_2, n_3$  значение может быть изменено в любой операции или условии в ОС, однако назначается на проектировании маршрута.

В логической функции каждое условие должно быть элементом из множества условий  $A$ , в результате получается следующая функция (8):

$$\Phi = \Delta_{k=1}^{n_3} \nabla_{j=1}^{n_2} \left( \left( \Delta_{i=1}^{n_1} A_i \right) \right)_k \tag{8}$$

Обозначение  $\nabla_{j=1}^{n_2}$  внутри нашей функции ОМ говорит, что некоторые отдельные операции могут как входить, так и не входить в ТМ.

Операции не обязательно должны входить или не входить в какие-либо маршруты.

При проектировании ОМ всегда первым указывается базовый маршрут, например,  $M$ . вписывают Операции, которых не хватает в этом маршруте, могут быть взяты из любых других маршрутов. Чтобы вписать другие маршруты, нужно найти эквивалентные операции из присоединяемого маршрута. Новый спроектированный маршрут ОМ будет для нас базовым.

К базовому маршруту  $M_y$  мы присоединяем  $M_i$ , в итоге получая следующий маршрут, и т.д. В полученном маршруте мы можем увидеть, что он состоит из списка операций, для каждой из которых определена своя функция, которая будет определять, включать ли эту операцию в ИМ.

Когда происходит соединение нескольких маршрутов, получается новый маршрут:  $M_{yi}^*$ .

Для операционных значений  $C_{imi} C_{imj}$  для  $M_i$  и  $M_j$  найдутся эквивалентных данных операций если  $C_{imi} = C_{imj}$  т.е. эквивалентны значения операций.

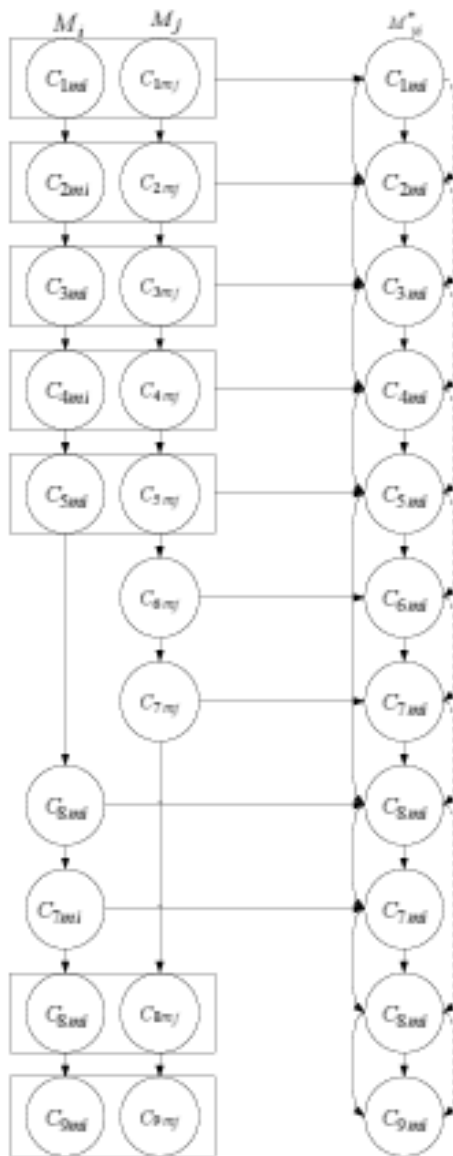


Рис. 1. Схема построения ОМ

Условие, действующее на все эквивалентные операции (9):

$$\forall C_{imi} C_{imj} \in (C_{imi} = C_{imj}) [M_{yi}^* \in (C_{imi} \nabla C_{imj})] \rightarrow C_{imi} \quad (9)$$

Схема построения ОМ приведена на рисунке 1.

Во всех новых ОМ, которые мы получаем, сохраняется порядок ИМ, когда мы их выделяем, т.е. нужно выполнить следующее требование (10):

$$\forall C_p C_q \in (M_i \cap M_j) [(C_p < C_q; C_p, C_q \in M_i) \rightarrow (C_p < C_q; C_p, C_q \in M_j)] \quad (10)$$

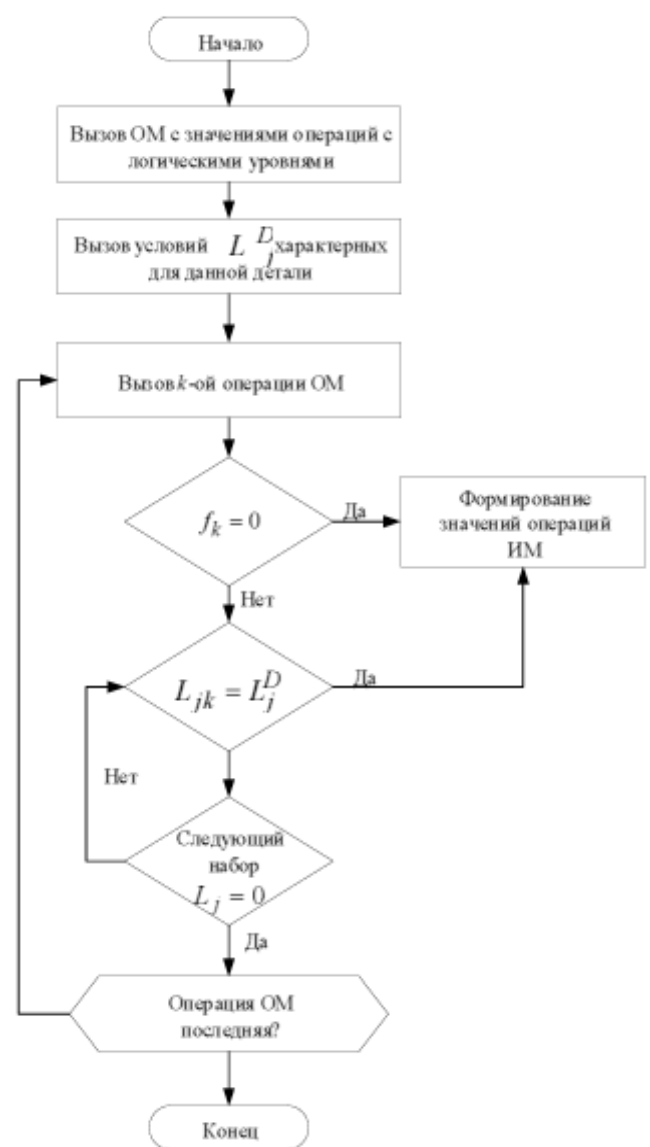


Рис. 2. Блок-схема алгоритма ОМ

Формирование ИМ получается при выделении одного из ОМ, где в качестве входных данных будут использоваться условия проектирования какой-то конкретной детали.

В случае каких-то обобщенных операций лог. функций не будет существовать, т.е. мы получим  $f_k = 0$ , а все выборки  $\Delta_{i=1}^{n_1} A_i$  будут равны условиями какого-то определенного изделия.

Для каждого значения операции  $C_k$ , входящего в ИМ  $M_{i^*}$  будет исполняться условие: «наличие хотя бы одной выборки условий  $L_i = \Delta_{i=1}^{n_1} A_i$ , соединённых логически произведениями, которые являются подмножеством  $f_k$  для определенного значения», то есть

$$VC_k \in M_i[\exists L_j(L_j \leq f_k)] \quad (11)$$

Получается, что главное условие включения  $k$ -ой операции ОМ в ИМ является  $L_{jk} = L_j^D, L_j^D$  — набор требований для какой-то детали. На третьем этапе мы изначально вызываем первую команду ОМ с его функцией  $f$ . Потом мы проверяем эту функцию и вызванную ранее операцию.

Если получается, что  $f_k \neq 0$ , то определяется нужное условие  $\Delta_{i=1}^{n_1} A_i$  операций согласно требованиям производства изделия.

Если каждое требование выполнено, то сохраняется значение операции. На этапе номер шесть происходит создание индивидуального маршрута изделия. В блоке номер семь проверяется существует ли условие выбо-

ра для операции, если  $L_j$  и  $L_i$  не равны. Если же  $L_j = 0$ , то тогда для операций уже не существует условий, и мы переходим к следующей операции. Алгоритм представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

После проведения всех проверок для операций ОМ, вычисляется ИМ для конкретной детали с определёнными формулировками и пояснениями операций.

Получаемый на выходе маршрут будет использоваться для проектирования технологической документации, МК и операционно-маршрутных карт, где будет описание состава технологических переходов, планов или маршрутов последовательности операций, типа оборудования, инструмента, нормы времени, технологической себестоимости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bagge M. "Process Planning For Precision Manufacturing" Ph. D. Thesis Royal Institute of Technology, Engineering Sciences, 2014.
2. Быков А. Цеховая САПР на базе АДЕМ А7 САПР и графика, 2003, № 1, Компьютер Пресс, М. — с. 69–71.
3. Казаков А., К. Карабчиев, А. Кашуба. Что такое АДЕМ САПР и графика 2003 № 9, Компьютер Пресс, М-с 10–16
4. Cay, F.; Chassapis, C. — An IT view on perspectives of computer aided process planning research, Computers in Industry, 34, (1997).307–337

© Аль-Халед Халед Али Хуссейн (khaledalkhaled89@mail.ru), Горячев Александр Вадимович (avgoriachev@etu.ru).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



ЛЭТИ