

Программный комплекс «Контур» для проектирования роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры в многономенклатурном производстве

77-48211/548375

03, март 2013

Иванов Ю. В., Курносенко А. Е.

УДК: 621.396.6:658.274; 621.396.6:621.717

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

mario7@inbox.ru

akurnosenko@elinform.ru

Введение

Рассматриваемый в данной статье программный комплекс «Контур» выполняет компьютерное проектирование роботизированных комплексов ГАСК многономенклатурной сборки электронных модулей (ЭМ). Статья является продолжением работы «Методология трехэтапного компьютерного проектирования роботизированных комплексов ГАСК сборки электронной аппаратуры в условиях многономенклатурного производства», где описывалась методология компьютерного проектирования структур ГАСК в целом, а также постановка задачи и критерии и ограничения на каждом из этапов трехэтапного процесса проектирования. В данной статье описывается программное обеспечение для компьютерного проектирования ГАСК и его работа в автоматическом и ручном режиме.

Реализация методики компьютерного синтеза структур ГАСК в ПК «Контур»

Комплекс «Контур» в автоматическом режиме позволяет проектировать:

- автоматизированные техпроцессы сборки изделий – электронных модулей из однотипных компонентов и на их основе – подструктуры ГАСК;
- автоматизированные техпроцессы сборки электронных модулей из разнотипных компонентов и на их основе – структуры ГАСК;
- элементы техпроцессов (технологические переходы, операции).

При разработке элементов техпроцессов происходит выбор/разработка специального технологического оснащения, технологических автоматов, промышленных роботов; оценка характеристик сборочных автоматов, выбор лучшего по комплексному показателю эффективности; разработка компоновки участка сборки и транспортных операций.

При проектировании технологических переходов и операций выполняется также параметрическая оптимизация (очередность монтажа) и структурная оптимизация (интеграция компонентов на одном рабочем месте), учитываются ограничения по затратам, точности и надежности. При проектировании транспортных операций учитываются вероятностный характер сборки ЭМ в ГАСК, ограничения по затратам, обеспечение наибольшего уровня загрузки технологического оборудования при минимально необходимом количестве транспортного оборудования.

Компьютерный синтез вариантов структур приближенно можно представить в виде следующих действий [1 ... 6]:

- формирование и перебор множества шаблонов структур (множество построено на предварительном этапе с помощью унифицированных структур).
- выбор на каждом шаге очередного шаблона.
- построение промежуточной модели структуры [на основе идентификаторов моделей оптимальных подструктур, технологических операций, компонентов, моделей транспортных операций и системы массового обслуживания, расчета характеристик структур ГАСК].
- учёт ограничений и допусков по надёжности и затратам (отсев не прошедших тестирование вариантов).
- для остальных вариантов– определение эффективности вариантов структур (по комплексному показателю R_{K2}).
- ранжирование структур (по значению R_{K2}), выбор оптимальной структуры ($R_{K2} = R_{K2 \max}$), определение признаков полной модели оптимальной структуры (по количеству оборудования, обслуживающих рабочих, занимаемой площади).
- для оптимальной структуры ГАСК происходит формирование маршрутной, операционных карт, блоков управляющей информации, таблиц с марками, количеством и расположением технологического, транспортного и накопительного оборудования.

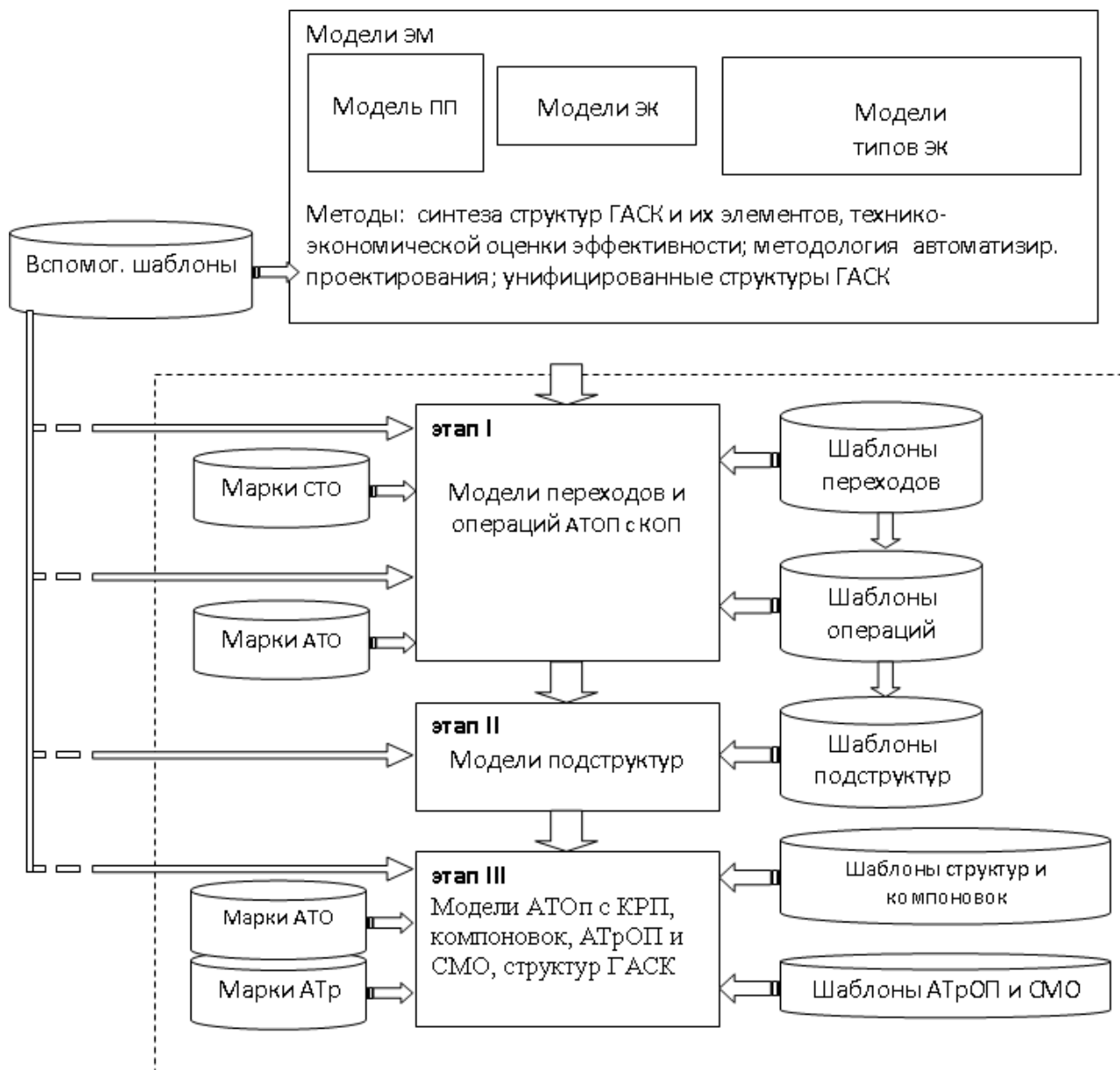


Рис. 1. Упрощенная схема процесса проектирования структур ГАСК для производства электронных модулей при большой номенклатуре.

На рисунке 1 вверху расположен большой прямоугольник, представляющий собой конструкторско-технологическую базу данных (БД), информация для которой разрабатывается на предварительном этапе проектирования структур ГАСК.

В базе данных находится информация в формализованном виде о методах проектирования (синтеза, технико-экономической оценки; определения и обеспечения точности, надежности, производительности и стоимости); правилах проектирования; алгоритме адаптации изделий к условиям сборки в ГАСК; моделях и шаблонах изделий (электронных модулей ЭМ, электронных компонентов ЭК, печатных плат ПП), технологических автоматов (АТО), промышленных роботов (ПР), накопительного и транспортного оборудования (АТр), специального технологического оснащения (СТО),

унифицированных структур ГАСК, групповых техпроцессов сборки ЭМ; начальных моделях и шаблонах технологических, транспортных операций, подструктур, структур и др.

Задачами этапа являются:

- конструкторско-технологический анализ изделий ЭМ, техпроцессов АТП, структур автоматизированных комплексов сборки (АСБК) ЭМ в многономенклатурном производстве,
- адаптация изделий ЭМ;
- разработка унифицированных структур ГАСК, групповых техпроцессов,
- формирование списка оборудования АТО, АТр, оснащения СТО,
- формализация представления изделий ЭМ, компонентов ЭК, плат ПП, оборудования АТО, АТр, оснастки СТО в виде моделей; групповых техпроцессов, переходов, операций, подструктур унифицированных структур ГАСК – в виде шаблонов.
- формализация методов проектирования, методов и критериев оптимизации.

Первый этап проектирования оптимальных структур ГАСК (здесь и далее при рассмотрении этапов см. рис. 1) – компьютерное проектирование оптимальных технологических операций сборки ЭМ из однотипных ЭК.

Задачи программного комплекса по выполнению 1-го этапа заключаются в обеспечении компьютерного проектирования моделей оптимальных технологических операций сборки электронных модулей из однотипных компонентов с максимальной их концентрацией (АТОП с КОП) на одном оборудовании и оптимизацией очередности монтажа при максимальном значении аргумента комплексного показателя эффективности операции $P_{оп}$. Одновременно с оптимальной операцией (на данном этапе) определяется оптимальная марка оборудования и оснащения.

Второй этап – проектирование оптимальных подструктур ГАСК сборки электронных модулей из однотипных ЭК для каждого типа. Этот этап также понижает размерность решаемых задач, но главное – позволяет корректно сравнить эффективности одно- и многооперационного оборудования.

Задачи программного комплекса по выполнению 2-го этапа – компьютерное проектирование моделей оптимальных подструктур ГАСК сборки ЭМ из однотипных компонентов. Проектирование подструктур включает в себя синтез моделей подструктур, расчет их основных характеристик, определение эффективности (по комплексному показателю $P_{К1}$) с учетом ограничений по суммарным затратам. выбор оптимальной подструктуры ГАСК (по критерию $P_{К1} = P_{К1 \max}$).

Третий этап – этап проектирования оптимальных структур ГАСК сборки ЭМ из разнотипных компонентов.

Задачами программного обеспечения по выполнению 3-го этапа проектирования - являются разработка оптимальных технологических операции сборки изделия из разнотипных компонентов (АТОП КРП) с концентрацией и оптимизацией очередности их монтажа, компоновки оборудования, оптимальных транспортных операций с учетом вероятностного характера сборки в ГАСК и обеспечения требуемой загрузки технологического и транспортного оборудования (АТО, АТр), оптимальных структур ГАСК и технической документации на оптимальную структуру.

На выходе третьего этапа получается оптимальная структура ГАСК сборки электронных модулей из разнотипных компонентов многономенклатурного производства и техническая документация на неё. Для решения указанных выше задач по проектированию роботизированных комплексов ГАСК разработаны программные модули комплекса «Контур».

Состав модулей программы

Схема взаимодействия модулей ПК «Контур» [7] приведена на рис. 2. ПК содержит следующие типы блоков-модулей: исходных данных (ПП, ЭК, ЭМ, номенклатуре, программе выпуска); подготовки данных для ручного режима проектирования; шаблонов (переходов, операций, подструктур); методов оптимизации (многоугольника, ближнего соседа, венгерский); расчета основных и групповых характеристик; проектирования моделей структур ГАСК и их элементов (переходов, технологических операций с концентрацией однотипных (АТОП с КОП) и разнотипных (АТОП с КРП) переходов, транспортных операций АТрОП); планирования запуска ЭМ в производство.

Модули ПК в свою очередь делятся на: основные, обслуживающие базу знаний (БЗ), выполняющие связь с БЗ, интерфейсные, вспомогательные и служебные.

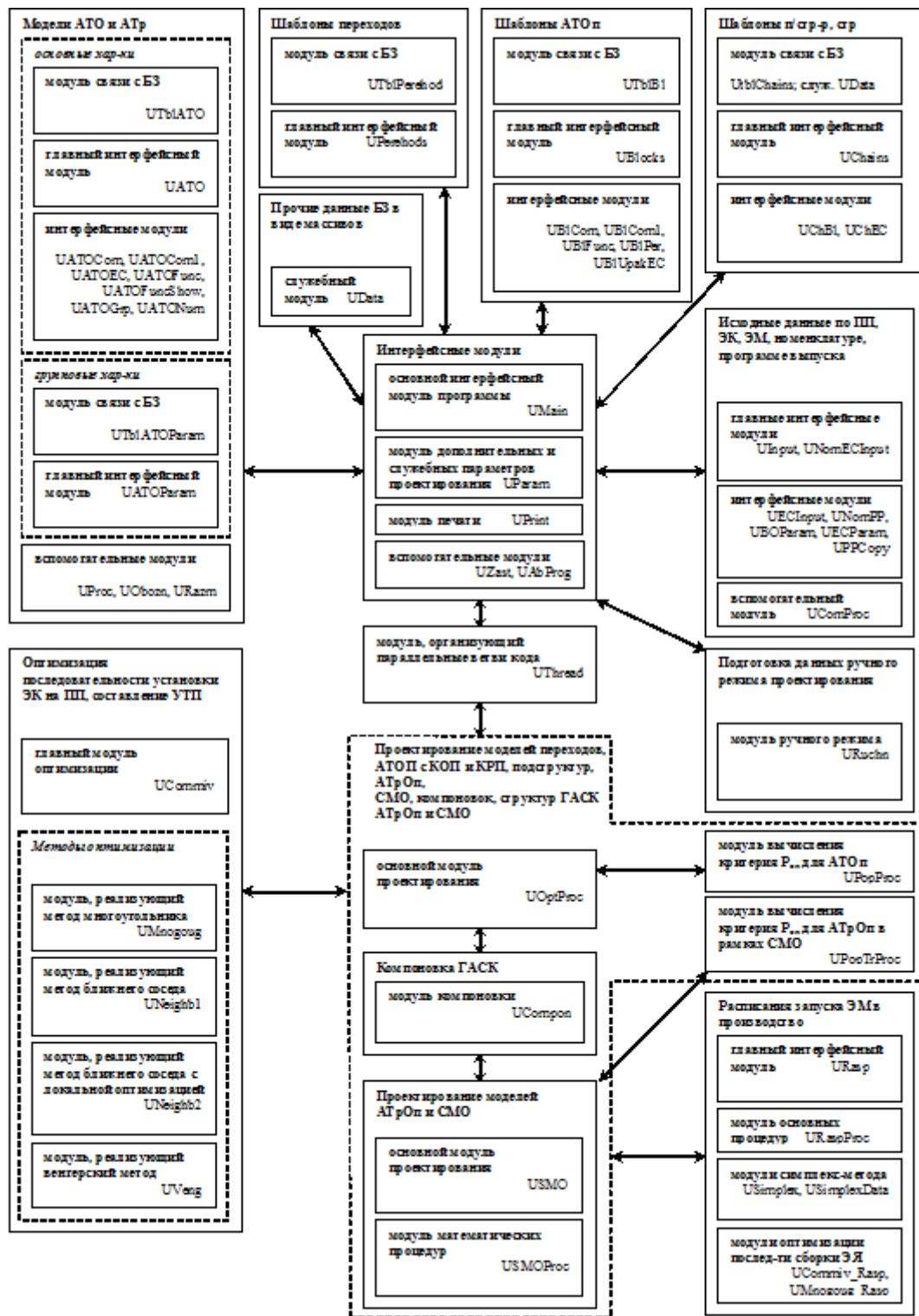


Рис.2. Схема взаимодействия модулей программного обеспечения «Контур» автоматизированного проектирования структур ГАСК сборки электронных модулей.

Работа с ПК «Контур» в автоматическом режиме

Работа ПК в автоматическом режиме проектирования структур ГАСК практически полностью освобождает разработчика от участия в этом процессе. Он только вводит исходные данные о ячейках, номенклатуре и объеме выпуска; проектирование технологических и транспортных операций, техпроцесса (АТП) сборки ЭЯ, компоновки АТО, множества моделей структур ГАСК, их оптимизация, необходимые расчеты

характеристик, комплексного показателя эффективности, выбор по нему с учетом ограничений лучшей структуры; формирование результатов проектирования оптимальной структуры ГАСК, формирование и выпуск маршрутных и операционных карт, текста с управляющими программами УТП происходит без его участия. Порядок ввода исходных данных, выполнения автоматического проектирования, получения и просмотра результатов описан ниже.

После запуска установленной программы на исполнение создается новый (пустой) проект ГАСК. До начала проектирования можно с помощью соответствующих команд меню осуществить просмотр баз данных по маркам АТО, групповым характеристикам АТО, шаблонам переходов, операций и подструктур. Возможно редактирование записанной информации (удаление, изменение, добавление новых элементов баз).

Если был открыт предварительно созданный проект, можно просмотреть его исходные данные по сборочным компонентам – ЭК и ПП (типы ЭК, вид упаковки и гарантия пайки ЭК выбранного типа, количественные параметры ЭК, а также данные по геометрии ПП, номенклатуре и программе выпуска ЭМ). Для нового проекта эти данные вводятся пользователем.

После ввода исходных данных запускается процесс проектирования структуры ГАСК. После окончания процесса проектирования программа информирует об этом пользователя.

В качестве результатов проектирования структуры ГАСК пользователю предоставляется список УТП для станков с ЧПУ, оптимальная последовательность монтажа ЭК по типам, сформированные подструктуры ГАСК по типам ЭК (рис. 3). с вычисленными значениями критерия $R_{к1}$ и таблицей количественных параметров подструктуры по операциям (построчно).

Вид операции	Тип(ы) ЭК [Вид(ы) упаковки]	Вид АТО	Марка АТО	Сгол(тр)*10 ⁶ ,[руб.]	Кгол
ПМ	ИС 201 [к...к]	спец. авт.	АА-6025	0.432	0.006
ПМ	ИС 201 [к...к]	спец. авт.	ГГМ2.339.007	0.435	0.006
М	ИС 201	АЧПУ с МПУ	КП-1671	0.435	0.014
ПВ	ИС 201	п/авт.	ГГМ1.135.001	0.432	0.004

Рис. 3. Результаты проектирования подструктур ГАСК по типам ЭК.

Также приводятся структуры ГАСК без учета компоновки АТО (без проектирования АТр, затраты на транспорт в этом случае учитываются как 20% от технологических) при различных уровнях концентрации разнотипных переходов (КОП, КРП по группам ЭК, КРП

по всем ЭК) с вычисленными значениями критерия $R_{к2}$ и таблицей количественных параметров структуры по операциям (построчно).

Аналогично предоставляются результаты по структурам комплекта оборудования (КО) без учета компоновки АТО.

Наконец, в качестве окончательного решения приводятся структуры ГАСК с учетом компоновки АТО по вариантам компоновки с указанием номера оптимального варианта, вычисленными значениями критерия $R_{к2}$ и таблицей количественных параметров структуры по операциям (построчно) с учетом результатов проектирования АТр (рис. 4) и координатами размещения АТО на сборочном участке (рис. 5).

Вид опти	Тип(ы) ЭК [Вид(ы) упаковки]	Вид АТО	Марка АТО	Сгоп(тр)-10 ⁶ [р/ч]	
ПМ	ИС 201 [к...к]	спец. авт.	АА-6025	0.341	
ПМ	ИС 201 [к...к]	спец. авт.	ГГМ2.339.007	0.344	
Опт.:8	ПМ	Полярные ЭРЭ [и...к]	спец. авт.	ГГМ3.112.001	0.108

Рис. 4. Результаты проектирования структур СК с учетом компоновки АТО. Вариант структуры ГАСК.

№№ АТО	X [м]	Y [м]
1	13.20	7.55
2	13.20	9.95

Рис. 5. Результаты проектирования структур СК с учетом компоновки АТО. Координаты АТО.

Исходные данные и результаты проектирования, УТП, операционные и маршрутные карты можно вывести на печать на принтер или в файл.

Среди настраиваемых параметров программы можно выделить параметры оптимизации (выбор метода оптимизации последовательности монтажа ЭК, обеспечение КРП, проектирование КО в целях сравнения с ГАСК и т. д.), а также параметры составления

УТП для АТО с ЧПУ (привязки ПП к КС станка, рабочий квадрант, контроль наличия ЭК и т. д.), и значения максимально допустимых затрат на операцию, подструктуру и структуру.

Работа с ПК «Контур» в ручном режиме

Ручной режим применяют при разработке РК сборки электронных модулей на существующем производстве. У пользователя на этом производстве может быть несколько единиц технологических автоматов (для выполнения подготовительных, монтажных и финишных операций). Обычно пользователь предлагает рассмотреть возможность использования этого оборудования в качестве кандидатов в структуру РК. Чтобы ответить на этот вопрос нужно:

- 1) знать требования, которые предъявляет комплекс РК к соответствующим автоматам;
- 2) определить технические характеристики предлагаемого автомата (автоматов): по точности, надежности, производительности, затратам, функциональности и др. показателям.

Если автомат не отвечает требованиям РК, то необходимо установить, как его можно ли его модернизировать и как – нужно определить «слабое звено (звенья)». Для этого автомат условно разделим на функциональные устройства (ФУ) монтажную, координатную, накопительную системы; систему управления. Протестируем ФУ и определим их технические характеристики. Для выполнения всего этого нам понадобятся соответствующие цифровые модели. Выполним компьютерное проектирование моделей функциональных устройств и исследуем их с целью определения характеристик, оптимальных параметров, материалов, структур, режимов работы.

В ручном режиме работы ПК, помимо ввода исходных данных, пользователь может назначить на каждую операцию техпроцесса одну из моделей АТО из имеющихся в его распоряжении в БД. ПК сформирует альтернативные структуры и определит их эффективность. Данный режим дает пользователю возможность получить количественную оценку эффективности своего варианта структуры ГАСК. Отличия в последовательности работы программного комплекса «Контур» при выборе автоматического или ручного режима проектирования приведены ниже и на рис. 6.

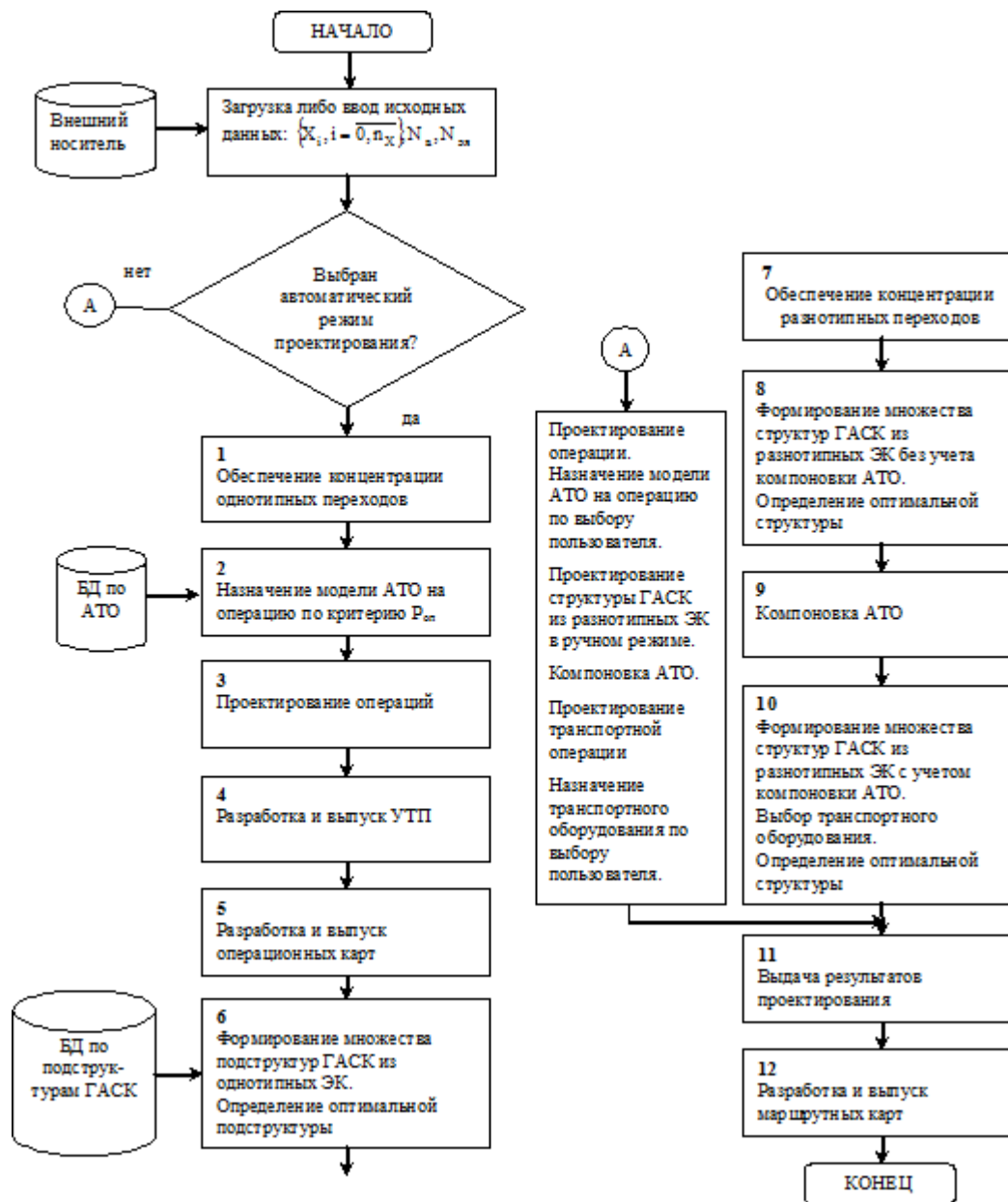


Рис. 6. Отличия в последовательности работы программного комплекса «Контур» при выборе автоматического или ручного режима проектирования

Напомним, что за подготовку данных для него отвечает специальный модуль URuchn. Для активизации ручного режима необходимо установить соответствующий флажок в настройках программы (рис. 7).

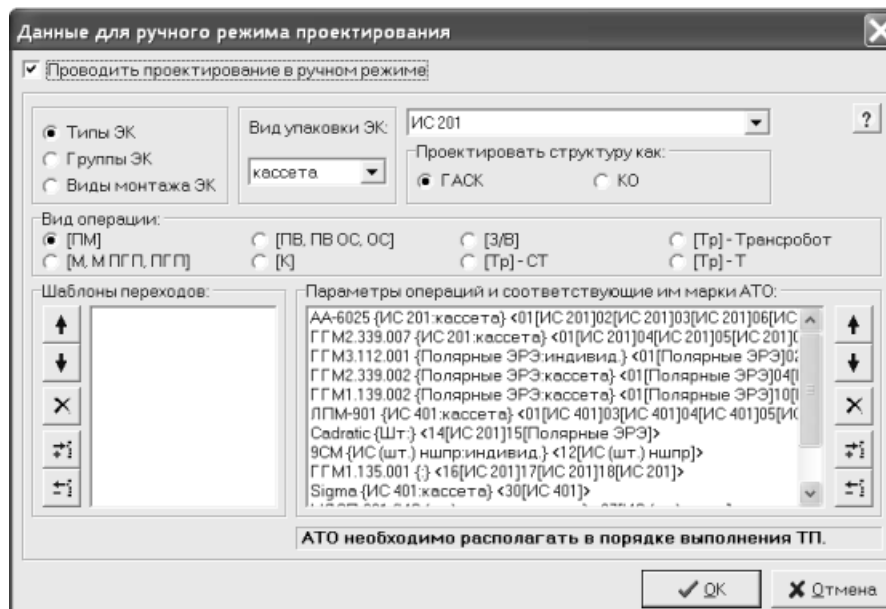


Рис. 7. Окно данных для ручного режима проектирования.

Далее необходимо последовательно, в порядке выполнения техпроцесса, выбирать АТО для конкретной АТОП, тип ЭК и вид упаковки ЭК при поступлении на станок и назначать конкретную модель АТО на операцию. В появившемся окне базы данных по оборудованию необходимо выбрать в таблице желаемую модель оборудования. Возможно изменение порядка следования моделей оборудования в сформированном списке. Следует еще раз отметить, что для корректной работы программы необходимо располагать оборудование в списке в порядке выполнения ТП.

Проиллюстрируем возможности программного комплекса (ПК) «Контур» для выбора варианта подструктуры из предложенного пользователем оборудования, например, подготовки планарных выводов интегральных микросхем (ИС₄).

На существующем производстве (у пользователя) имеется шесть серийно выпускаемых автоматов. Пять из них – подготовки выводов ИС₄, один – монтажа и пайки (без устройства дозированной подачи припоя), четыре – однооперационные автоматы подготовки (распаковки, гибки, лужения и напрессовки припоя), один – многооперационный автомат (выполняет все перечисленные операции подготовки выводов ИС₄). У поступивших на сборку микросхем ИС₄ выводы не имеют гарантии пайки. Для автоматизированного монтажа и пайки микросхем ИС₄ на плату необходима: распаковка микросхемы, 2-х угловая гибка, лужение и напрессовка припоя на выводы. Лужение нужно, т.к. нет гарантии пайки выводов, напрессовка припоя - из-за отсутствия на автомате устройства дозированной подачи припоя. Производственные операции (кассетирование, перемещение и др.) для простоты рассуждения опущены.

Из имеющегося оборудования образуем три варианта подструктур (изменяем только подготовительные автоматы). Вар.1 – многооперационный автомат подготовки выводов ИС₄ (распаковки, гибки, лужения и напресовки припоя), сборочный центр (СбЦ) монтажа и пайки ИС₄ на плате, роботизированный комплекс отмывки и сушки изделий ЭМ и автомат с ЧПУ контроля ЭМ. Вар.2 – специальный автомат подготовки (распаковки, гибки, лужения), специальный автомат напресовки припоя, СбЦ монтажа и пайки на плате ИС₄, роботизированный комплекс отмывки и сушки изделий ЭМ и автомат с ЧПУ контроля ЭМ. Вар. 3. – специальный автомат подготовки (распаковки, гибки), специальный автомат лужения выводов ИС₄, специальный автомат напресовки припоя на выводы ИС₄, СбЦ монтажа и пайки на плате ИС₄, роботизированный комплекс отмывки и сушки изделий ЭМ и автомат с ЧПУ контроля ЭМ.

Результаты исследований

Результаты исследований подструктур приведены на рис. 8.

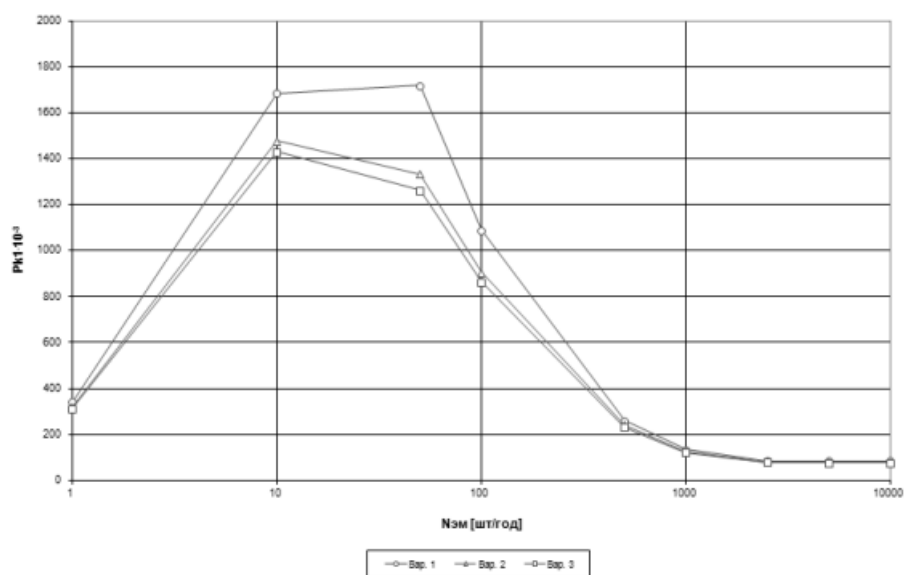


Рис. 8. Результаты исследования влияния типа подструктуры и годового объема выпуска на значение показателя эффективности R_{k1} .

Анализ графика (рис. 8) позволяет сделать вывод о преимуществе подструктуры с применением многооперационного автомата АТО (вар 1) над вариантами с меньшей концентрацией подготовительных операций. Особенно это заметно при изменении объёмов годовой программы в диапазоне 10...800 ЭМ/г. Данное преимущество связано прежде всего со значительным снижением в вар. 1 суммарных затрат по подструктуре по сравнению с вар. 1 и 2.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости обеспечения максимальной концентрации подготовительных операций на одном рабочем месте в подструктуре (и, соответственно, в структуре) ГАСК.

Исследование разных вариантов подструктур одного назначения (отличающихся степенью интеграции подготовительных операций) показало, что эффективность (по $R_{к1}$) выше у подструктур с применением многооперационного АТО против вариантов с меньшей концентрацией подготовительных операций из-за меньших суммарных переменных и постоянных затрат, поэтому рекомендуются подструктуры с максимальной концентрацией подготовительных операций на одном рабочем месте.

Выводы

Разработанный программный комплекс компьютерного проектирования структур роботизированных комплексов сборки электронных модулей в многономенклатурном производстве позволяет в автоматическом и ручном режиме проектировать оптимальные автоматические техпроцессы, структуры ГАСК и их элементы и, таким образом, выполнять:

- 1) разработку технологических переходов и операций сборки электронных модулей из однотипных компонентов;
- 2) выбор/разработку специального технологического оснащения;
- 3) оценку характеристик технологических автоматов и их выбор по комплексному показателю эффективности;
- 4) тестирование предложенных пользователем технологических автоматов и их модернизацию;
- 5) технологические процессы сборки электронных модулей из однотипных компонентов и на их основе подструктуры ГАСК;
- 6) технологические переходы, операции сборки электронных модулей из разнотипных компонентов;
- 7) компоновку оборудования;
- 8) разработку транспортных операций;
- 9) разработку техпроцессов сборки изделий из разнотипных компонентов и на их основе структур ГАСК;

При проектировании технологических переходов и операций выполняется параметрическая (очередность монтажа) и структурная (интеграция однотипных компонентов на одном рабочем месте) оптимизация, учитываются ограничения по затратам, точности и надежности. При проектировании транспортных операций учитывается вероятностный характер сборки, использование наименьшего необходимого количества единиц транспортного оборудования, обеспечение требуемого уровня загрузки технологического оборудования.

Список литературы

1. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования сложных роботизированных комплексов сборки ЭА : учебное пособие. М.: МГТУ, 2004. 46 с.
2. Иванов Ю.В. Методы и средства проектирования технологических структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства ЭА : автореф. дис. докт. техн. наук. М.: МГТУ, 2003. 32 с.
3. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования оптимальных операций сборки электронных модулей на автоматах ГАСК : учебное пособие. М.: МГТУ, 2004. 33 с.
4. Иванов Ю.В. Проектирование роботизированных комплексов сборки электронных модулей в ГАСК : учебное пособие. М.: МГТУ, 2004. 36 с.
5. Иванов Ю.В. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки ЭА в ГАСК : учебное пособие. М.: МГТУ, 2004. 45 с.
6. Иванов Ю.В., Лакота Н.А. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов : учебное пособие. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.
7. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. Специальное программное обеспечение автоматизированной разработки структур ГАСК многономенклатурного производства электронной аппаратуры : учебное пособие. М.: МГТУ, 2002. 37 с.
8. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. Базы данных для САПР структур ГАСК сборки ЭМ первого уровня : свидетельство интеллектуальной собственности № 2006620158 от 02.06.2006.
10. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. Модуль автоматизированной разработки расписания запуска ЭМ первого уровня в многономенклатурное производство : свидетельство интеллектуальной собственности № 2006611921 от 02.06.2006.
11. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. САПР структур ГАСК сборки ЭМ первого уровня : свидетельство интеллектуальной собственности № 2006611922 от 02.06.2006.
12. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. Модуль автоматизированной компоновки оборудования и проектирования транспортных операций : свидетельство интеллектуальной собственности № 2006611923 от 02.06.2006.
13. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. Модуль определения оптимальной последовательности монтажа электронных компонентов на печатную плату и автоматизированной подготовки управляющих программ УТП для оборудования с ЧПУ : свидетельство интеллектуальной собственности № 2006611924 от 02.06.2006.