

УДК 658.512.4

## СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ САПР ТП СБОРКИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Умаров Герман Шавкатович

*Студент 5 курса  
кафедра «Технология машиностроения»  
МГТУ им.Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А.Островский,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»*

На сегодняшний день разработки в области САПР ТП сборки сильно разрознены, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом.

Для выполнения предъявленных требований необходимо выявить конкретные задачи и подзадачи.

В настоящее время к САПР ТП (системам автоматизированного проектирования технологических процессов) сборки предъявляют следующие требования ([3], стр.93):

- 1) Выбор метода достижения заданной точности сборки;
- 2) Декомпозиция изделия (сборочной единицы) в соответствии с их технологической структурой;
- 3) Выбор базовых деталей для узловой и общей сборки;
- 4) Выделение в конструкции размерных цепей, их расчет по методикам, задаваемым пользователем, интерпретирование результатов расчета;
- 5) Формирование собственно ТП сборки, его маршрутно-операционного изложения, техническое нормирование;
- 6) Выбор и оптимизация вариантов ТП сборки в соответствии с заданными критериями (целевыми функциями);
- 7) Оформление технологической документации на спроектированный ТП.

Данные требования можно уточнить и дополнить:

1) Так, метод достижения заданной точности сборки задается конструктором, а технолог лишь проверяет выбранный метод и в случае невозможности использования предложенного метода предлагает конструктору свой вариант или утверждает невозможность выбранного. К тому же для различных узлов и соединений могут быть различные методы; Данный пункт можно назвать - *проверка выбранных методов достижения заданной точности сборки*;

2) Декомпозицию можно дополнить предварительной оценкой ТП сборки – как по времени, так и по требуемому оборудованию; *Декомпозиция*

изделия (сборочной единицы) в соответствии с его технологической структурой. Предварительная оценка ТП сборки;

3) Без изменений;

4) Методики расчета необходимо унифицировать, например основываясь на работах профессора Базрова Б.М. в этой области [2]. Участие пользователя при этом не требуется. К тому же данный пункт тесно связан с первым пунктом, 1 и 3 можно объединить. *Выделение в конструкции размерных цепей, интерпретирование результатов расчета и проверка выбранных методов достижения заданной точности сборки;*

5) Оставшиеся пункты не требуют уточнений.

Уточненный список требований:

1) Выделение в конструкции размерных цепей, интерпретирование результатов расчета и проверка выбранных методов достижения заданной точности сборки;

2) Декомпозиция изделия (сборочной единицы) в соответствии с его технологической структурой. Предварительная оценка ТП сборки;

3) Выбор базовых деталей для узловой и общей сборки;

4) Формирование собственно ТП сборки, его маршрутно-операционного изложения, техническое нормирование;

5) Выбор и оптимизация вариантов ТП сборки в соответствии с заданными критериями (целевыми функциями);

6) Оформление технологической документации на спроектированный ТП.

Для полноценной работы системы необходима ГТМИ (геометро-технологическая модель изделия). Однако проблемой остается то, что современные конструкторские САПР не создают полноценных ГТМИ. Создание полноценной ГТМИ (путем корректировки и дополнения) можно возложить на пользователя или же автоматизировать (извлекать в автоматическом режиме технологические данные из модели изделия). Самой главной и общей задачей является представление ГТМИ в виде *математической модели*. Данная задача имеет решение в виде представления изделия графом, узлы которого образуются совокупностью МП (модуль поверхностей), а ребра – МС (модуль соединения), см. [1]. Соответствующей подзадачей является декомпозиция изделия на МП и МС, установление связей между ними и непосредственно построение графа изделия. Таким образом система САПР будет иметь возможность опознавать изделие и детали как взаимодействующие объекты, а не как совершенно обезличенные тела.

На основании вышеизложенного, предлагается следующий способ построения САПР ТП сборки (в порядке следования модулей, см. рис.1,2 - схемы на IDEF0).

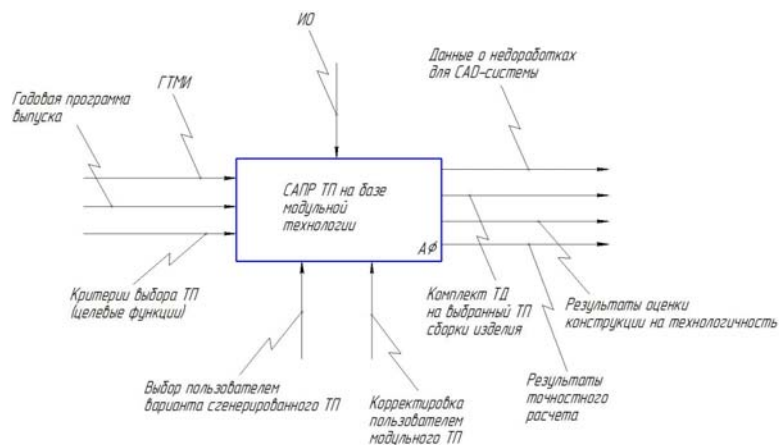


Рис.1. Структура системы САПР ТП сборки

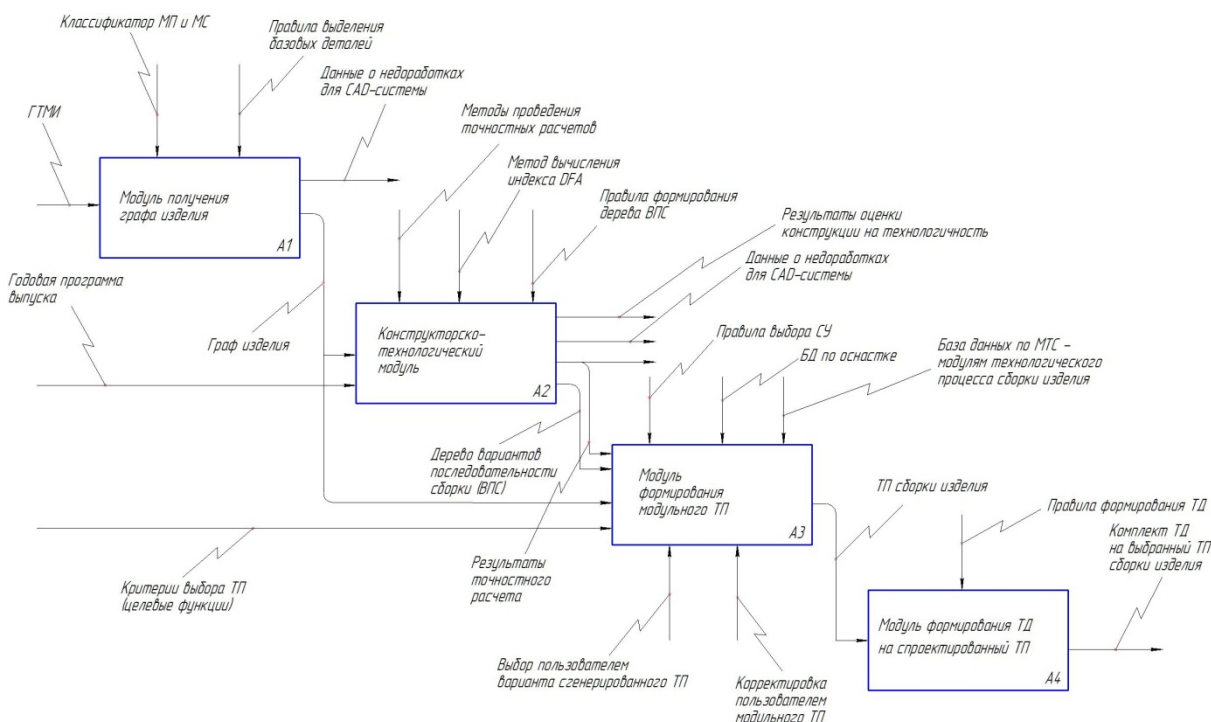


Рис.2. Структура системы САПР ТП сборки (продолжение)

### А1. Модуль получения графа изделия

В данном модуле осуществляется автоматизированная генерация графа изделия, образованного совокупностью МПБ (МП базирующие) деталей и связями между ними (рис.3).

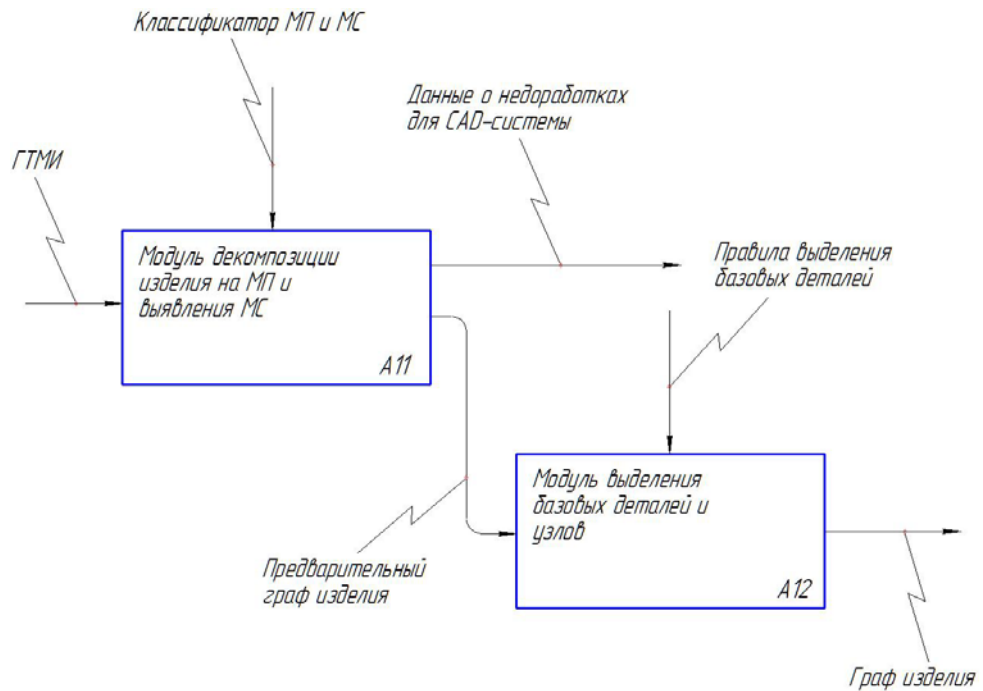


Рис.3. Модуль получения графа изделия А1

**А11. Модуль декомпозиции изделия на МП и выявления МС** требует алгоритма выделения и распознавания в деталях МП и МС. На основании того, что МП и МС обладают вполне однозначными свойствами в отношении состава поверхностей их образующих, предлагается следующий алгоритм выделения и распознавания в деталях МПБ (выделять МПС – МП связующие и МПР – МП рабочие нет необходимости т.к. они не участвуют непосредственно в формировании модуля соединения) и МС (рис.4).

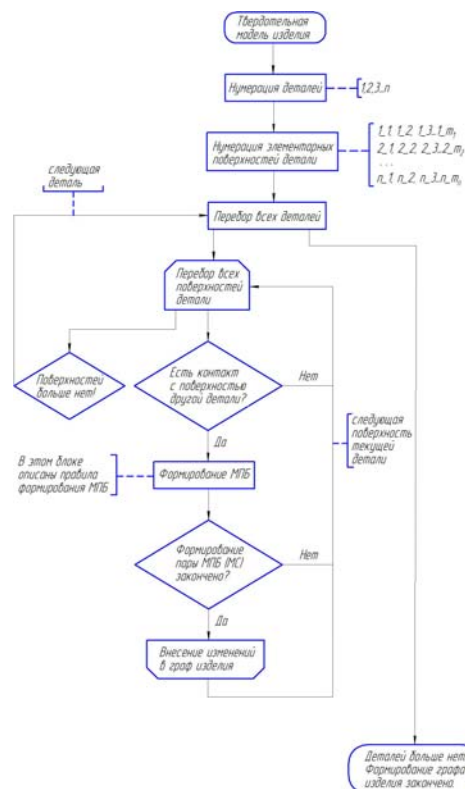


Рис.4. Алгоритм распознавания в деталях МПБ и МС

Обозначения на рис.1. –  $n$  – количество деталей в изделии,  $mp$  – количество элементарных поверхностей в  $n$ -ой детали. *Правила формирования МПБ* основаны на классификации МП (см. [1]), а именно на однозначности состава поверхностей их образующих.

Рассмотрим действие алгоритма на конкретном примере (анализируемое изделие – обратный клапан).

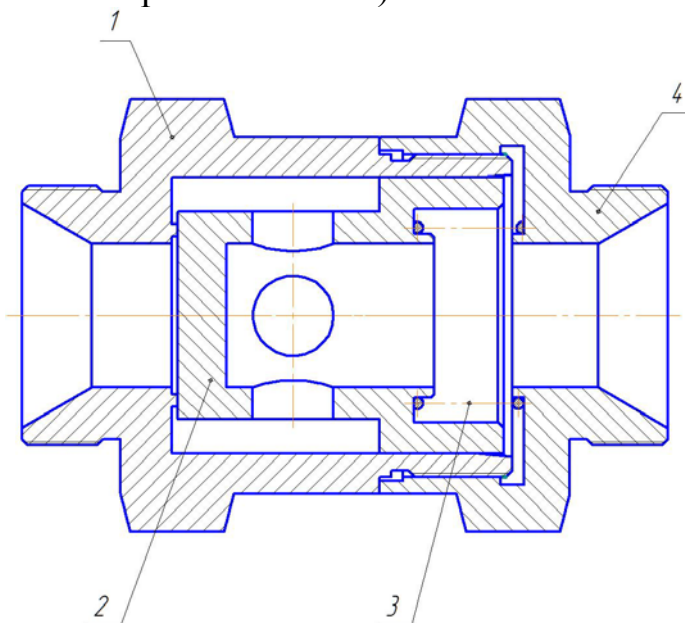


Рис.5. Обратный клапан

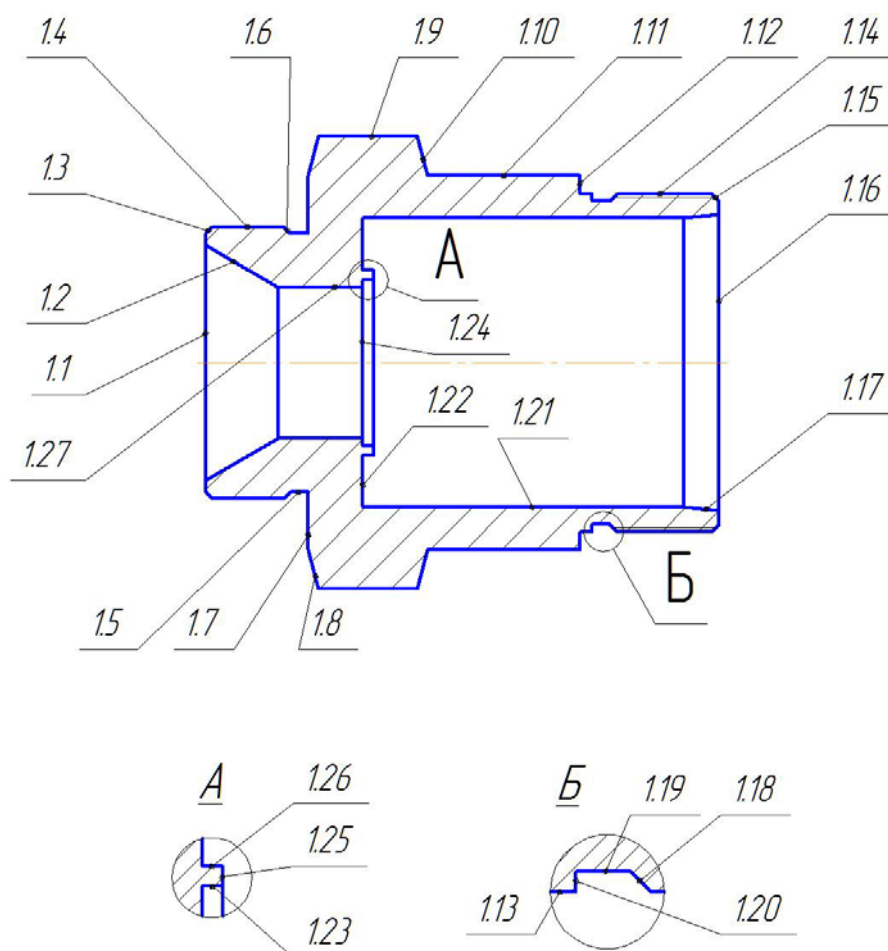


Рис. 6. Нумерация элементарных поверхностей детали 1

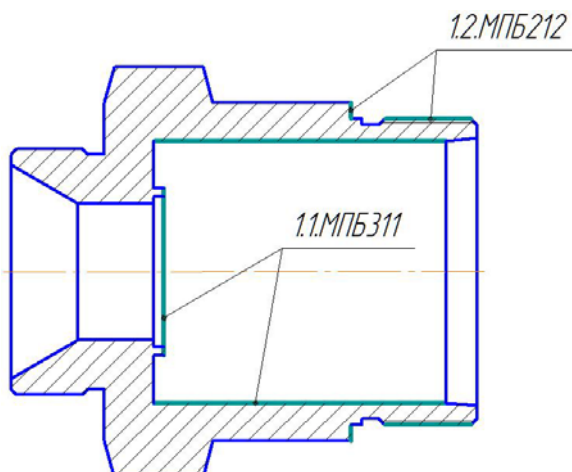


Рис. 7. Выявленные МПБ детали 1

Таким образом в процессе анализа детали 1 были выявлены два МПБ и образующие их поверхности. Аналогично проводится анализ других деталей, входящих в изделие. В процессе выявления МПБ деталей параллельно вносятся изменения в граф изделия.

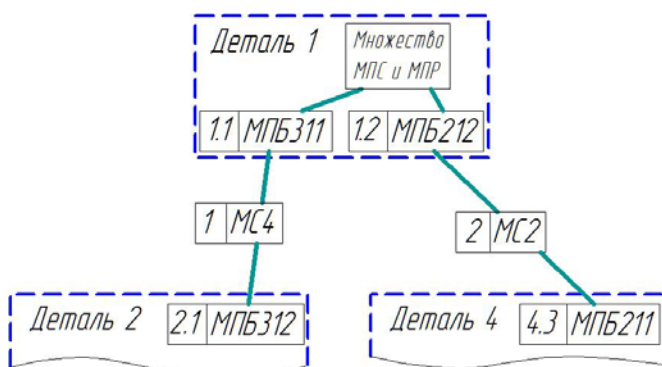


Рис.8. Фрагмент формируемого графа изделия

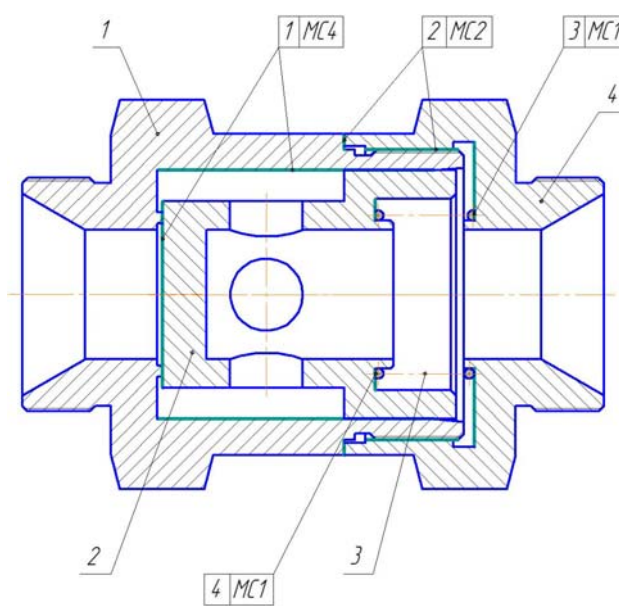


Рис.9. Выявленные МС

**A12. Модуль выделения базовых деталей и узлов** производит выявление базовых деталей для общей и узловых сборок, и выявление сборочных единиц (узлов). Для этого используются данные по массе, габаритам и количеству МС, которые образует деталь. Рассчитывается обобщенный коэффициент базовых деталей для каждой из деталей входящих в изделие.

$$K_{ОБД_i} = K_{мас} + K_{габ} + K_{МС}, \text{ где}$$

$$K_{мас} = \frac{m_i}{m_{\max}}, \quad m_{\max} - \text{масса самой массивной детали, } m_i - \text{масса текущей}$$

детали,

$$K_{габ} = \frac{G_{\Sigma_i}}{G_{\Sigma_{\max}}}, \quad G_{\Sigma_{\max}} - \text{сумма габаритов самой большой детали, } G_{\Sigma_i} -$$

сумма габаритов текущей детали,

$$K_{МС} = \frac{n_{МС_i}}{n_{МС_{\max}}}, \quad n_{МС_{\max}} - \text{количество МС которые образует деталь (с}$$

максимальным количеством МС),  $n_{МС_i}$  - количество МС которые образует текущая деталь,  $0 < K_{ОБД_i} \leq 3$ ,  $0 < K_{мас}, K_{габ}, K_{МС} \leq 1$ .

Деталь с наибольшим  $K_{ОБД_i}$  принимается за базовую для всего изделия.

На основании выбора базовой детали всего изделия строится *граф изделия* (рис.10). Остальные детали проверяются как базовые для сборочных единиц (СЕ) по определенным правилам с учетом связей в графе изделия (например, вал часто является базовой деталью для СЕ, или же деталь устанавливается с зазором в базовую всего изделия и т.п). Требуется выявление *четких правил выделения СЕ*. Далее на основании информации о СЕ граф изделия дополняется соответствующей информацией.

Рассчитаем  $K_{ОБД_i}$  для деталей обратного клапана.

$$K_{ОБД_1} = \frac{0,2кг}{0,2кг} + \frac{82мм + 65мм}{82мм + 65мм} + \frac{2}{2} = 3; \quad K_{ОБД_2} = \frac{0,2кг}{0,2кг} + \frac{63мм + 48мм}{82мм + 65мм} + \frac{2}{2} = 2,75;$$

$$K_{ОБД_3} = \frac{0,03кг}{0,2кг} + \frac{20мм + 30мм}{82мм + 65мм} + \frac{2}{2} = 1,49; \quad K_{ОБД_4} = \frac{0,15кг}{0,2кг} + \frac{41мм + 65мм}{82мм + 65мм} + \frac{2}{2} = 2,41$$

Принимаем деталь поз.1(корпус) за базовую.

В соответствии с вышеизложенным алгоритмом получим окончательную структуру изделия - его граф (рис.10).

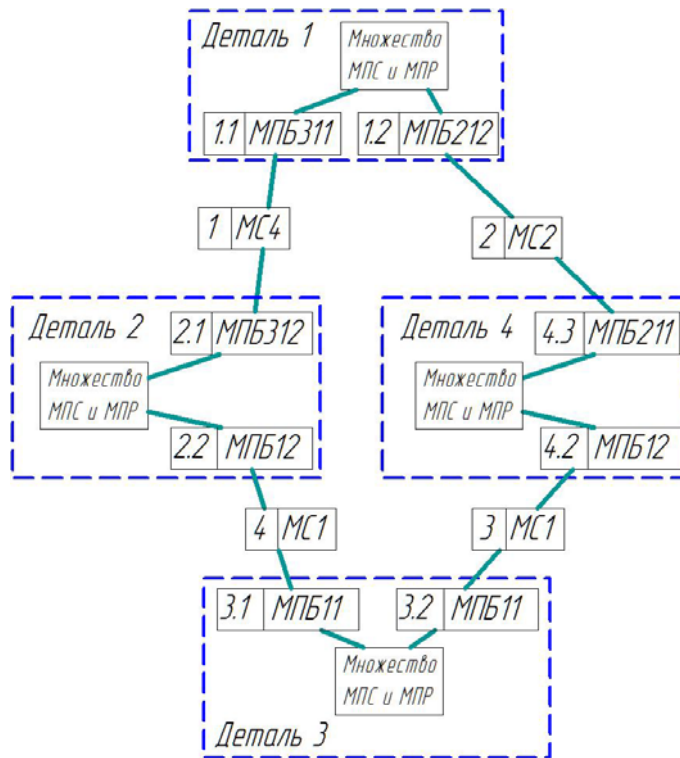


Рис. 10. Граф анализируемого изделия

## А2. Конструкторско-технологический модуль

Необходимо дать возможность конструктору пользоваться данным модулем для предварительной оценки возможности производства проектируемого изделия, его точностного анализа и приблизительной оценки технологичности по индексу DFA – Design For Assembly (рис.11).

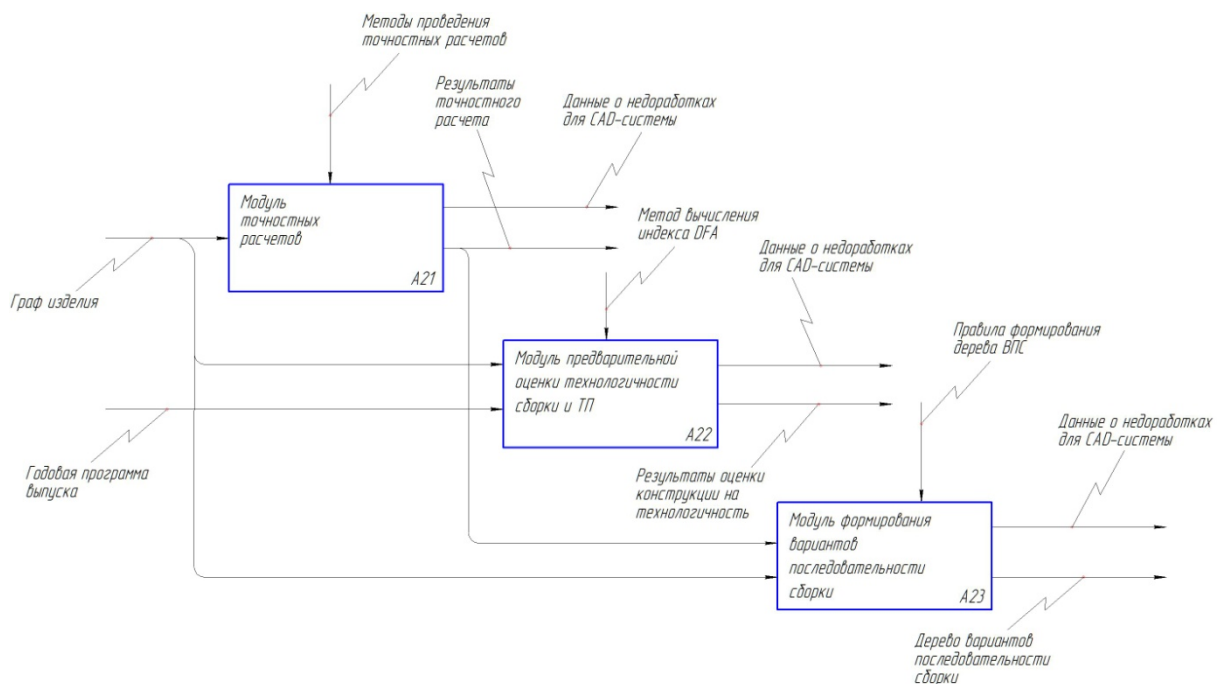


Рис.11. Конструкторско-технологический модуль А2



**A21. Модуль точностных расчетов** можно реализовать на основе работы [2] профессора Базрова (пространственные размерные цепи и метод замещения деталей машин совокупностью координатных систем с деформируемыми связями). Выявление размерных цепей (автоматическое преобразование данных о размерах в ГТМИ в пространственные размерные цепи) и расчеты проводятся на основании полученного ранее графа изделия (подробнее метод описан [6]). В данном модуле производится выявление технических требований (эксплуатационных и точностных), выполняется их анализ и разрабатываются схемы контроля и т.д. Также, при необходимости, реализуется расчет погрешностей сборки в зависимости от деформаций [7, стр.516](погрешности физико-механического характера) методом конечных элементов (используя расчеты, полученные в САЕ-системах), либо используя ранее полученный граф изделия [8], менее точно, по методу, описанному в [2, стр.169]. В целом же, данные расчеты наиболее целесообразны для прецизионных машин и соединений. По результатам расчетов будет приниматься решение о том, отправлять на доработку изделие в конструкторскую САПР с указанием недостатков или же далее формировать ТП.

**A22. В модуле предварительной оценки технологичности сборки и ТП** по графу изделия укрупнено проводится нормирование и выявляется необходимое для сборки оборудование (производится предварительная оценка возможности проведения производственно-технологического цикла сборки изделия в заданных условиях), а так же возможно проводится анализ по методу DFA [9, стр.219], для чего рассчитывается DFA Index:

$$E_{ma} = \frac{N_{\min} \cdot t_a}{t_{ma}} \cdot 100\%, \text{ где } N_{\min} - \text{теоретическое минимальное количество}$$

деталей в изделии,  $t_a$  - среднее основное время по переходам,  $t_{ma}$  - общее время сборки.  $t_a$ ,  $t_{ma}$  рассчитываются укрупнено, например по нормативам. Более подробное описание методики расчета данного показателя приведено в [9].

Пользователю предлагается выбрать целесообразность дальнейшего проектирования ТП для заданных условий производства, а также рекомендации для конструктора по изменению конструкции, направляемые в САД-систему или же в отдельный автоматически формируемый документ.

**A23. В модуле формирования вариантов последовательности сборки** строится совокупность всех возможных вариантов ТП на основании графа изделия – строится т.н. *дерево вариантов последовательности сборки (ВПС)* [5]. На верхнем уровне расположены все детали изделий, на нижнем – готовое изделие. Промежуточные уровни отражают все возможные варианты состояния сборки (ВСС) собираемого изделия. В процессе построения дерева исключаются невозможные ВСС на основании трех следующих критериев:

- входящая в состав ВСС деталь не образует с другими деталями данной ВСС модулей соединения;

- ВСС, состоящая из одной детали, не являющейся базовой;
- невозможности продолжения сборки изделия по причине отсутствия доступа к месту монтажа, детали входящей в следующий ВПС. Данный критерий выявляется на основе расчета столкновения твердотельных моделей, либо используя теорию игр (менее ресурсоемкий метод), как это показано в работе [4].

Построим дерево ВПС для анализируемого обратного клапана (рис.12).

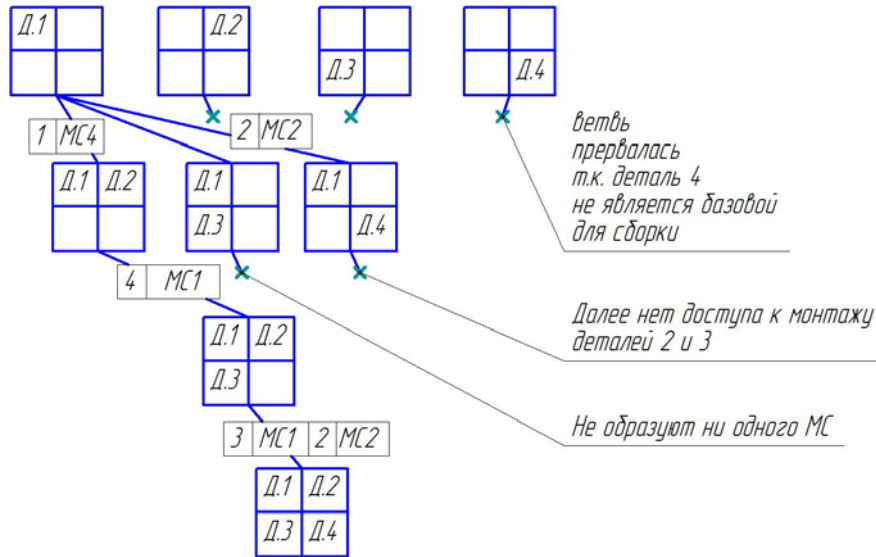


Рис.12. Дерево ВПС для клапана

### А3. Модуль формирования ТП

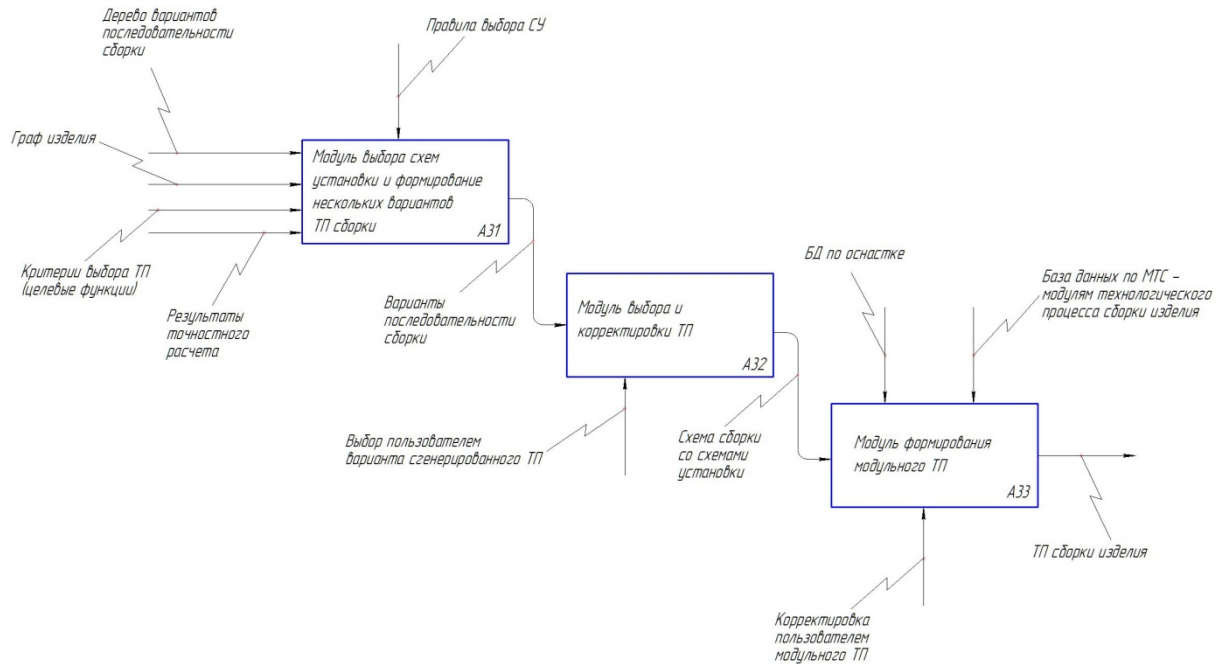


Рис.13. Модуль формирования ТП А3

**А31. Модуль выбора схем установки и формирование нескольких вариантов ТП сборки.** Выбираются схемы установки (СУ) по переходам. Переходы с возможно одинаковыми схемами установки располагают рядом в вариантах последовательности сборки – корректируется дерево сборки (сокращается количество вариантов). В результате работы данного модуля также возникает многовариантность – этот факт требует создания *четких правил выбора баз*. Формирование нескольких вариантов сборки на основании дерева ВПС.

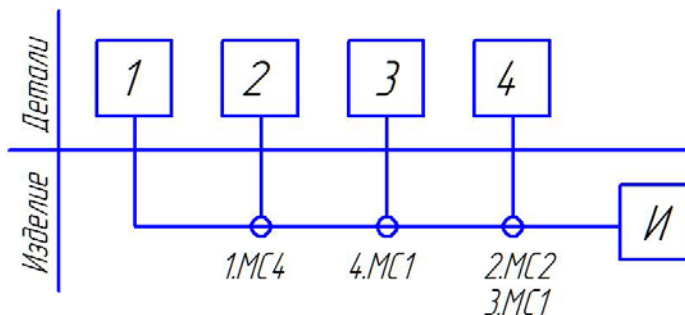


Рис.14. Последовательность сборки клапана

На рис.11 показан вариант последовательности сборки клапана полученный с помощью дерева ВПС. В отличие от традиционной схемы сборки в данной дополнительно указываются МС. Таких вариантов для изделий большей сложности может быть несколько.

**А32. Модуль выбора и корректировки ТП** служит для тесного взаимодействия с пользователем, выбора варианта ТП сборки, корректировки и визуализации выбранного варианта.

**А33. Модуль формирования модульного ТП сборки.** В данном модуле реализуется компоновка ТП сборки из МТС (модулей ТП сборки), которые содержатся в базе данных МТС.

**А4. Модуль формирования ТД (технологической документации)** на выбранный ТП. В соответствии с заданными правилами формируется технологическая документация на выбранный и откорректированный ТП сборки. Проводится окончательная визуализация сборочного процесса (она может послужить полезным дополнением к ТД). Визуализация должна храниться в формате, удобном для просмотра процесса сборки изделия с любой точки зрения в пространстве и предусматривающем хранение дополнительной информации о сборочном процессе.

Цель данной работы – показать принципиальную возможность создания САПР ТП сборки на сегодняшнем этапе развития работ в данной области. Существует методическое обеспечение – модульный подход к описанию конструкций изделий и производства. Выявлены основные направления исследований, обеспечивающих создание системы – разработка формальных правил выделения сборочных единиц, разработка формальных правил выбора баз, разработка методики оценки и выбора вариантов последовательности сборки, создание базы данных МТС (модулей ТП сборки). Предложен алгоритм автоматизированной генерации графа изделия.

Описанная выше система будет ориентирована на многономенклатурное и разносерийное производство, что является следствием использования в основе системы модульной технологии. Система по возможности должна работать в пакетном режиме с интерактивным вводом исходной информации. Прототип системы можно реализовать, в КОМПАС-Мастер, как библиотеку [10] – для ускорения проверки работоспособности концепции в целом, не связываясь с тонкостями программной работы с 3D графикой (используя 3D-ядро КОМПАСа для этой цели), либо в любой другой САПР с открытой архитектурой и 3D-ядром.

### **Литература**

1. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении – М.: Машиностроение, 2001.
2. *Базров Б.М.* Расчет точности машин на ЭВМ – М.: Машиностроение, 1984.
3. *Кондаков А.И.* САПР технологических процессов – М.: Академия, 2008.
4. *Божко А.В.* Игровое моделирование доступа/ Наука и образование, 2009, №12.
5. *Gottipolu R.V.* Representation and selection of assembly sequences in CAAPP / International journal of production research, 1997, №12.
6. *Базров Б.М.* Построение размерных цепей изделия с помощью графа модулей поверхности/ Вестник машиностроения, 2008, №7.
7. *Суслов А.Г., Дальский А.М.* Научные основы технологии машиностроения – М.: Машиностроение, 2001.
8. *Базров Б.М.* Единый подход в построении расчетных моделей изделия как механической системы/ Сборка в машиностроении и приборостроении, 2009, №5.
9. *Boothroyd G.* Assembly Automation and Product Design (Second Edition) – Taylor&Francis, 2005.
10. *Кидрук М.И.* КОМПАС-3D V10 на 100 % – С-Пб.: Питер, 2009г.