

УДК 37:681.3

Д.О. Кузнецов, к.т.н., доц.

А.Р. Леонов, ассист.

Брянский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СБОРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В статье предлагается подход к разработке типовой модели автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений, приводятся основные понятия технологичности, требования к технологичности сборочных единиц, а также обзор современных научных исследований, затрагивающих вопросы обеспечения технологичности сборочных единиц и соединений, описываются структура и компоненты типовой модели автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений, приводятся формализованные описания данных компонентов и обобщенные алгоритмы работы модели в целом.

Одним из основных путей совершенствования процессов сборки является повышение технологичности конструкций сборочных соединений. По установленной терминологии под термином “технологичность конструкции изделий” (ТКИ) понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Требования к технологичности конструкций соединений (согласно ГОСТ 14.203-73) можно свести к следующим правилам:

- конструкция соединения должна обеспечивать сборку деталей простейшими движениями при минимальном числе направлений сборки;
- соединения должны состоять из максимально возможного количества стандартных и унифицированных деталей;
- конструкция деталей соединения и их точность должны обеспечивать сборку с полной взаимозаменяемостью и исключать необходимость выполнения пригоночных работ при сборке (при невозможности или экономической нецелесообразности использования сборки с полной взаимозаменяемостью следует

применять другие методы сборки согласно вышеприведенным рекомендациям);

- соединения должны состоять из минимального числа деталей наиболее простой формы;

- в конструкции соединения должна быть предусмотрена базовая деталь и возможность совмещения конструкторских, технологических и измерительных баз базовой детали;

- для упрощения сборки детали соединения должны иметь ярко выраженные базовые поверхности, фиксирующие элементы, а также соответствующие направляющие элементы для облегчения их автоматической собираемости;

- конструкция соединения должна обеспечивать удобство контроля параметров сборки с применением наиболее простых и эффективных способов и средств автоматического контроля.

Обеспечение вышеуказанных правил в настоящее время достигается путем применения следующих методов:

- методы сравнительной качественной оценки;

- методы количественной оценки;

- методы типизации и унификации конструктивных элементов соединений.

При этом необходимо учитывать тот факт, что наиболее эффективным подходом к организации процесса обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений является решение соответствующих задач непосредственно в процессе проектирования конструкции изделия.

В ряде научных работ (как отечественных, так и зарубежных), например [3], в качестве наиболее прогрессивной указывается методика проектирования изделий с ориентацией на технологию сборки, в том числе и с учетом ее автоматизации. Это обосновывается тем, что сборочные процессы в современном машиностроительном производстве являются наименее механизированными и автоматизированными, а возможность автоматизации процесса сборки конкретного изделия во многом определяется конструктивными особенностями деталей и сборочных единиц, являющихся компонентами данного изделия. Сущность предлагаемой методики состоит в поиске простейших путей осуществления сборочного процесса и придании компонентам изделия в процессе проектирования конструктивных свойств, обеспечивающих сборку изделия по выбранному пути.

В практике отработки на технологичность основной проблемой является оценка ТКИ. Потребность в оценке возникает тогда, когда

необходимо выбрать из нескольких возможных вариантов наилучший, либо убедиться, что намеченное решение является приемлемым, либо при рассмотрении нескольких “конкурирующих” проектов изделий одного назначения.

В соответствии с ГОСТ 14.202-73 существуют два вида оценки ТКИ: качественная и количественная.

Под *качественной оценкой* ТКИ понимается оценка соответствия принимаемых (или принятых) конструктивных решений при проектировании изделия и его составных частей (сборочных единиц, деталей) требованиям оптимальных технологических процессов изготовления, технического обслуживания и ремонта. Данный вид оценки характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя.

К настоящему времени накоплено достаточное количество качественных рекомендаций по отработке на технологичность сборочных соединений. Например в работе [4] произведена попытка обобщения материала по технологичности сборочных единиц и соединений, в том числе и с точки зрения автоматизации их сборки, и создания на этой основе руководящих технических материалов (РТМ). В таких рекомендациях формулируются общие требования к технологичности сборочных соединений. Рекомендации сопровождаются поясняющими иллюстрациями, отображающими технологичные и нетехнологичные примеры конструктивных решений.

Цель *количественной оценки* технологичности разрабатываемой конструкции изделия – обеспечение эффективной отработки изделия на технологичность при снижении затрат времени и средств на ее разработку, ТПП, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Количественная оценка ТКИ основана на инженерно-расчетных методах и проводится по конструктивно-технологическим признакам, которые существенно влияют на выполнение основных требований к ней. ТКИ оценивают количественно с помощью системы показателей.

Следует отметить, что основным недостатком использования существующих методов количественной оценки является сложность их применения на ранних стадиях проектирования изделия вследствие недостатка необходимой для расчета информации, в то время как определение численных значений показателей на стадиях опытного и серийного производства изделия не вызывает особых трудностей, т. к. для расчета есть вся необходимая информация: конструкторская и технологическая документация, ведомости норм расхода материала и т. д.

В настоящее время появились новые возможности комплексного и эффективного решения задач обеспечения технологичности конструкции сборочных соединений. Это связано с появлением систем автоматизации проектирования, используемых в сфере подготовки производства (CAD/CAM/CAE-систем). Учитывая тот факт, что ни в одной из существующих на российском рынке интегрированных САПР нет подсистемы, позволяющей осуществлять процесс обеспечения технологичности конструкций изделий и их компонентов, задача разработки автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений является весьма актуальной.

В связи с вышесказанным, был проведен комплекс исследований, целью которого являлась разработка принципов формализации процедур автоматизации обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений в условиях интегрированных САПР и создание на этой основе типовой модели, информационного обеспечения и алгоритмов функционирования автоматизированной подсистемы, реализующей данные процедуры.

В качестве методической базы для решения указанных задач была разработана *концепция обеспечения технологичности конструкций изделий в условиях применения интегрированных САПР* [1].

Суть предлагаемой концепции можно представить в виде следующих положений.

1. В общем виде комплексный процесс обеспечения технологичности конструктивных форм изделий может быть реализован путем решения совокупности следующих основных задач:

- обеспечение технологичности непосредственно в процессе проектирования изделия (формирование технологичных элементов конструкции);
- отработка на технологичность спроектированных элементов изделия (анализ технологичности элементов конструкции).

2. Проектирование элементов изделия проводится в среде CAD-модуля используемой для подготовки производства интегрированной САПР. Однако помимо данной среды для комплексного решения задач обеспечения технологичности конструктивных форм изделий целесообразно ввести понятие дополнительной среды проектирования – среды проекта обеспечения технологичности. Внутри такой среды элементы конструируемого изделия представляются в виде конструкторско-технологических информационных моделей, содержащих, кроме информации непосредственно о конструкции,

также данные, необходимые для расчета количественных показателей ТКИ.

3. Проектирование изделия осуществляется на основании использования готовых конструкторско-технологических моделей *типовых конструктивных решений различных степеней детализации*.

4. Для учета влияния всех показателей технологичности, используемых в проекте, предлагается использовать многокритериальную количественную оценку технологичности конструктивных решений, основанную на применении *обобщенного приведенного показателя технологичности* [2], определяемого как сумма отношений достигнутых значений частных показателей технологичности к соответствующим базовым значениям для изделия в целом, умноженных на весовые коэффициенты, определяющие степени значимости отдельных показателей.

5. Информационным ядром автоматизированной системы, реализующей данную концепцию, является конструкторско-технологическая база знаний, включающая представленные в формализованном виде готовые конструкторско-технологические решения, используемые в процессе проектирования изделий, а также формализованные правила, позволяющие выявлять наиболее технологичные решения из множества возможных на основании качественной и количественной оценок технологичности.

В качестве объекта исследования была рассмотрена технологичность конструктивных форм типовых сборочных соединений (ТКФСС), наиболее часто используемых в современном машиностроительном производстве. Для детальной проработки взаимодействия и структуры модулей автоматизированной подсистемы исследование проводилось на примере сборочных соединений, предназначенных для передачи крутящего момента.

Основные компоненты типовой модели автоматизированной подсистемы обеспечения ТКФСС показаны на рис. 1.

Конструкторско-технологическая база знаний выполняет следующие функции:

- хранение в формализованном виде конструктивных решений и их атрибутов;
- установление правил выбора наиболее технологичных конструктивных решений по совокупности качественных и количественных критериев оценки.

База знаний, входящая состав автоматизированной подсистемы, включает следующие основные компоненты:

- 1) конструктивные решения (КР);

- 2) конструктивно-технологические элементы (КТЭ) – различные типы поверхностей, канавок, шлицев, пазов и т. д., составляющие каждое КР;
- 3) стандартные детали, необходимые для функционирования сборочного соединения (шпонки, шайбы, штифты, гайки и т. д.);
- 4) технологические методы обработки элементарных КТЭ и сборки КР;
- 5) правила выбора КР.

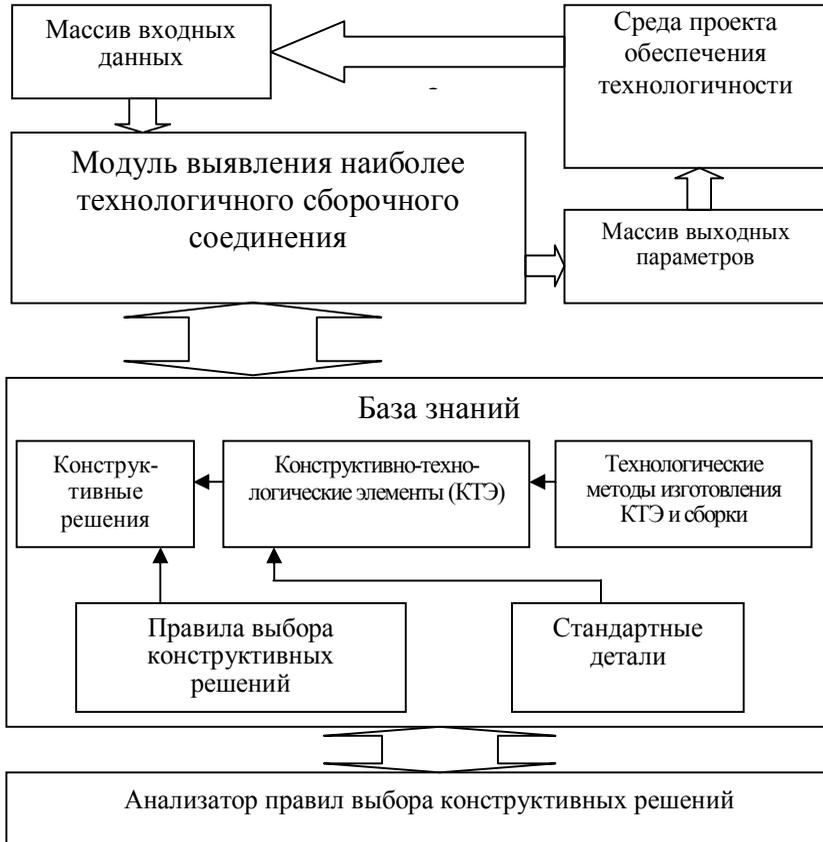


Рис. 1. Типовая модель автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений

Конструктивные решения (КР) в базе знаний представлены в виде параметризованных шаблонов. В формализованном виде любое КР можно представить следующим образом:

$$K_i = \{ \text{type}(K_i), \text{ID}(\text{type}(K_i), \text{Num}), F(K_i), \text{KTE}(K_i), C(K_i), \text{P}(K_i), \text{R}(K_i), \text{J}(K_i), \text{Part}(K_i) \}, \quad (1)$$

где $\text{type}(K_i)$ – тип сборочного соединения, представляемого описываемым конструктивным решением;

$\text{ID}(\text{type}(K_i), \text{Num})$ – уникальный идентификационный номер конструктивного решения;

$F(K_i)$ – функция, выполняемая соединением изделия;

$P(K_i)$ – область применения и производства представляемого сборочного соединения, предлагаемая в виде совокупности элементов области применения и производства.

Элементы множества $KTЭ$ можно представить в виде следующего кортежа:

$$KTE = \{type(KTE), ID(type(KTE), Num), D(type(KTE)), O(type(KTE))\}, \quad (2)$$

где $type(KTE)$ – тип представляемого конструктивно-технологического элемента;

$ID(type(KTE), Num)$ – уникальный идентификационный номер конструктивно-технологического элемента;

$D(type(KTE))$ – множество параметров конструктивно-технологического элемента определенного типа, таких, что для каждого j -го конструктивно-технологического элемента рассматриваемого конструктивного решения не может быть двух одинаковых параметров.

$O(type)$ – множество технологических методов изготовления конструктивно-технологического элемента определенного типа, представляемое в следующем виде:

$$O(type) = \{O_1, \dots, O_m\} \neq \emptyset, \quad (3)$$

где O_1, \dots, O_m – упорядоченная совокупность m технологических операций, в результате выполнения которых достигаются требуемые параметры качества конструктивно-технологического элемента.

Каждый элемент множества O может быть представлен в виде:

$$O_i = \{ID, T\}, \quad (4)$$

где ID – уникальный код технологического метода;

T – набор атрибутов, необходимых для определения значений количественных показателей технологичности для рассматриваемого метода. В рассматриваемой модели автоматизированной подсистемы обеспечения ТКФСС элементами множества T являются формулы для расчета основных показателей технологичности – трудоемкости и технологической себестоимости.

$Part(K_i)$ – множество стандартных деталей, необходимых для технической реализации КР. Представление указанного множества в формализованном виде аналогично формуле (2).

$J(K_i)$ – множество сборочных операций, необходимых для осуществления сборочного соединения. Формализованный вид элементов данного множества аналогичен (4).

$R(K_i)$ – множество результатов экспертного ранжирования КР по критериям качественной оценки технологичности.

Необходимо отметить, что в системе возможна взаимная увязка параметров конструктивно-технологических элементов, составляющих конструктивное решение, друг с другом и с параметрами технологических методов обработки и сборки. Данный механизм реализуется путем использования редактора переменных, содержащегося в модуле редактирования базы знаний. В качестве лингвистического средства реализации увязки параметров выступает разработанный внутренний язык автоматизированной подсистемы. На рис. 2 представлен пример формализации шпоночного соединения с осевой фиксацией шлицевой гайкой.

Кроме указанных основных компонентов, в базе также содержится дополнительная информация, необходимая для определения значений количественных показателей технологичности расчетно-аналитическим методом.

На основе описанной типовой модели были разработаны алгоритмы основных процедур автоматизированного обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений. Рассмотрим подробнее режим выявления наиболее технологичного конструктивного решения, непосредственного в процессе проектирования изделия (формирование технологичного сборочного соединения).

Процесс выявления наиболее технологичного решения начинается с формирования массива входных параметров, элементами которого являются элементы области применения и производства, а также размерные параметры проектируемого соединения. После этого модуль выявления наиболее технологичного конструктивного решения формирует запрос к базе знаний на выборку множества конструктивных вариантов, удовлетворяющего входным данным. Затем следует итерационный процесс анализа правил выбора КР.

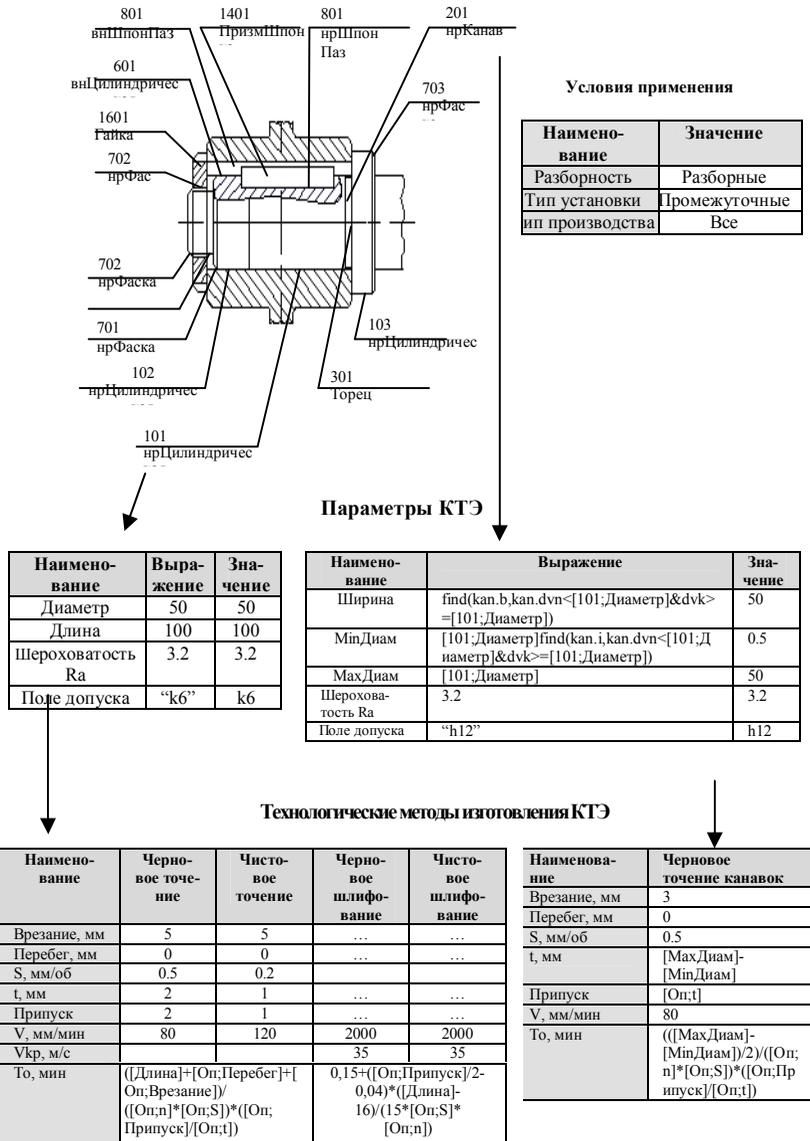


Рис. 2. Пример формализованного представления сборочного соединения на примере шпоночного соединения с осевой затяжкой шлицевой гайкой

База знань реалізує продукційну модель представлення знань і використовує механізм прямого вивода, дія якого ґрунтується на застосуванні правила *modus ponens*, суть якого складається в наступному: якщо існує правило <якщо *A*, то *B*> і твердження *A* істинно, то твердження *B* також є істинним. Правила спрацюють, коли знайдуться факти, задовольняючі їх ліву частину.

На мові алгебри-логіки правила-продукції записуються наступним чином:

$$A_1 \& \dots \& A_n \Rightarrow B, \quad (5)$$

де A_1, \dots, A_n, B – в загальному випадку представляються як булеві комбінації елементарних формул.

Застосовуючи до задачі розробки автоматизованої підсистеми забезпечення ТКФСС значення елементів продукції, представлених в (5), можна описати наступним чином.

Множеству посылок $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ відповідають умови вибору конструктивних рішень, визначаються для кожного рішення в базі і записуються на мові редактора змінних, використовуваного в системі.

Правило спрацює, якщо виконується вся сукупність умов. В цьому випадку система формує масив вихідних параметрів, що відповідають кожному конструктивному рішення. Елементами даного масиву є розраховані значення кількісних показників технологічності і вибираються з бази результати якісного ранжування по використовуваним критеріям.

Після закінчення циклу формування конфліктного множини рішень слід його упорядкування. При цьому існує два варіанти такого ранжування:

1) в випадку вибору користувачем ранжування на основі якісної оцінки технологічності відбувається визначення інтегрального ваги конструктивного рішення по декільком нерівнозначним якісним критеріям;

2) в випадку вибору користувачем ранжування на основі кількісної оцінки технологічності відбувається визначення узагальненого приведенного показника.

Затем з упорядкованого масиву рішень користувач вибирає конкретне рішення, після чого здійснюється генерація елементів вибраного конструктивного рішення в твердотільній моделі проектуваного виробу з занесенням в файл проекту досягнутих значень кількісних показників технологічності.

Алгоритм задачи анализа технологичности спроектированных соединений аналогичен рассмотренному. Разницу составляет способ получения входных данных: в этом случае пользователь выбирает решение, которое необходимо проанализировать, в дереве модели, после чего из файла проекта система получает элементы массива входных данных.

Для проведения качественной оценки ТКФСС построены математические модели и алгоритмы группового ранжирования конструктивных решений на основе экспертных оценок при использовании метода парных сравнений с количественной оценкой предпочтения.

Анализ разработанной типовой модели автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений показал, что данная модель является инвариантной по отношению к используемой САД-среде и может быть эффективно применена для построения пользовательских модулей, решающих задачи повышения технологичности сборочных соединений различных классов, на базе различных интегрированных САПР, существующих на российском рынке.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Аверченков В.И., Кузнецов Д.О. Шкаберин В.А.* Определение приведенного обобщенного показателя при автоматизации обеспечения технологичности конструктивных форм сборочных соединений / Современные методы сборки в машиностроении и приборостроении: Материалы 2-го Международного научно-технического семинара, 26–28 февраля 2002 г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2002. – С. 3–5.
2. *Аверченков В.И., Шкаберин В.А., Кузнецов Д.О.* Разработка принципов построения автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструктивных форм сборочных соединений / Вісник ЖДТУ, 2003. – № 2 (26). – Т. 2 / Технічні науки. – С. 7–14.
3. Гибкие сборочные системы / Под ред. У.Б. Хегинботама. – М.: Машиностроение, 1989.
4. *Романов Г.Д., Сучков В.А.* Опыт разработки РТМ по технологичности конструкций деталей и сборочных единиц для автоматической сборки: В кн.: Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. – М.: Наука, 1979.

КУЗНЕЦОВ Дмитрий Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Брянского государственного технического университета

Научные интересы:

– технология машиностроения.

Тел.: (0832) 55-90-20.

ЛЕОНОВ Александр Рудольфович – ассистент кафедры технологии машиностроения Брянского государственного технического университета.

Научные интересы:

– автоматизация технологического процесса в машиностроении.

Тел.: (0832) 55-90-20.

Подано 06.09.2005