

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 658.512.011.56

Д.П. Кункевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА
СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Предлагается метод, позволяющий синтезировать принципиальную схему приспособления при отсутствии типовых проектных решений, а также комплекс мер, обеспечивающий ее конструктивное воплощение элементами из библиотеки пользователя.

Введение

Основными средствами автоматизации проектно-конструкторских работ на сегодняшний день являются универсальные графические пакеты и специализированные конструкторские САПР. Графические средства предоставляют проектировщику широкие возможности для быстрого воплощения в моделях своих замыслов и решений. Однако их идеологом остается проектировщик. Специализированные САПР способны самостоятельно синтезировать некоторые решения [1 – 3], однако их возможности существенно ограничены. При проектировании сборочно-сварочной оснастки наиболее широкие перспективы в плане преодоления этого недостатка имеются на уровне синтеза структурной схемы.

1. Векторно-силовая схема приспособления

Принципиальную схему сборочно-сварочного приспособления можно рассматривать как множество векторов силовых воздействий [4], каждый из которых обладает соответствующими свойствами: точкой приложения, направлением и величиной. Кроме того, каждому вектору необходимо поставить в соответствие тип воздействия – активный либо реактивный. Активное воздействие оказывают фиксирующие элементы, реактивное – установочные. К такому выводу можно прийти, если конструкцию приспособления рассматривать с точки зрения физического принципа действия (рис. 1).

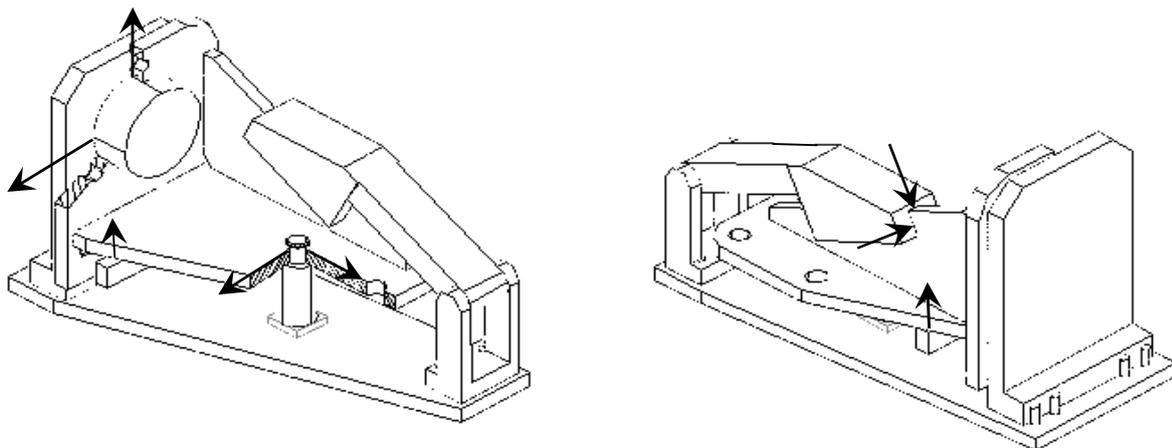


Рис. 1. Векторно-силовая интерпретация приспособления

На первый взгляд кажется, что подобная схема лишена практического смысла. Однако это не так. Модель каждого конструктивного элемента определенным образом упорядочивается

относительно своего силового вектора. Тогда для конструктивного воплощения схемы каждому входящему в нее силовому вектору достаточно подобрать подходящий элемент. Задача определения метрических параметров и параметров расположения при этом практически полностью автоматизируется. Таким образом, векторно-силовая схема вполне позволяет определить структуру будущего приспособления.

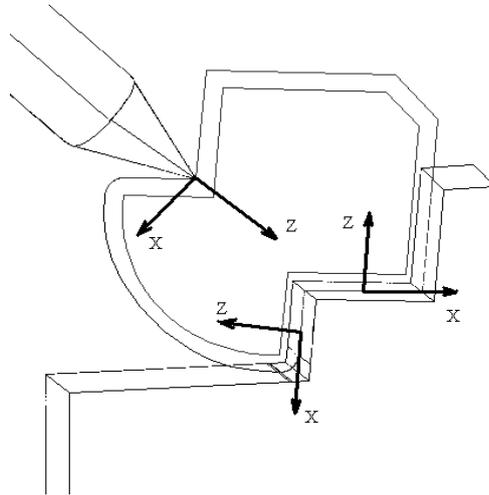


Рис. 2. Унификация моделей конструктивных элементов

Унификация модели конструктивного элемента относительно вектора силового воздействия сводится к тому, что в ней этот вектор должен быть обозначен: указаны точка приложения и направление. Проще всего это делается при помощи системы координат модели элемента (рис. 2): ее начало следует связать с точкой, через которую непосредственно передается силовое воздействие, а одну из осей, например Z , направить вдоль вектора. Некоторые элементы, рассчитанные на оказание двух и более силовых воздействий (рис. 3), требуют применения более сложного алгоритма позиционирования. Принципиальных затруднений при этом не должно возникнуть. Даже наоборот: второй вектор является дополнительным фактором, определяющим положение элемента.

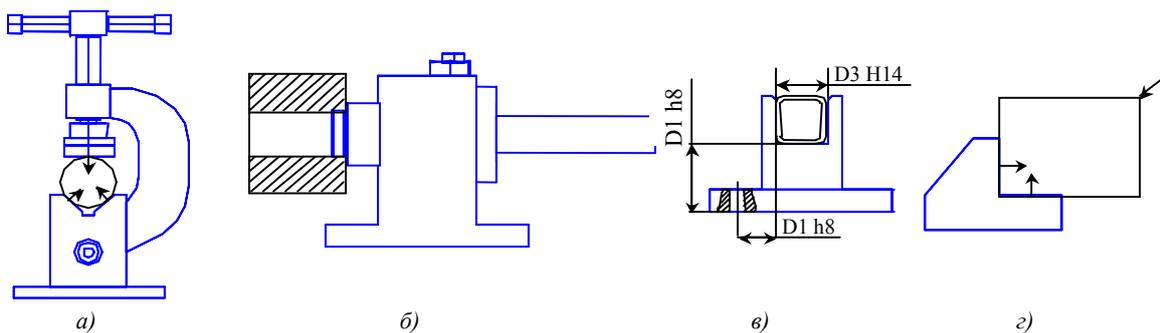


Рис. 3. Примеры комбинированных конструктивных элементов: а) струбцина; б) палец выдвижной; в) вилка установочная; г) упор комбинированный

Для окончательного определения системы координат необходимо регламентировать направление еще одной оси, например X . Ее направление, как правило, связывают с «телом» конструктивного элемента. Целесообразно также использовать основные базы – поверхности, посредством которых деталь или узел устанавливаются в конструкции вышестоящего уровня. Следует отметить, что положение элемента можно уточнить на этапе конструктивного воплощения синтезированной схемы. Для этого надо, постепенно поворачивая элемент вокруг оси Z ,

проверять пересечение его с другими объектами. Современные графические пакеты предоставляют соответствующие возможности.

Еще один принцип типизации основан на предположении о том, что размерные параметры элементов могут быть согласованы с величинами силовых воздействий, которые они должны оказывать. Известно, что значения многих из них бывают связаны между собой функциональными зависимостями. Но можно выделить основные конструктивные параметры, от которых зависят все остальные. В качестве одного из таких параметров целесообразно выбрать величину силового воздействия, которое должен обеспечить конструктивный элемент. В случае если она окажется единственным основным параметром, то такой элемент полностью определяется метрически еще на уровне схемы.

2. Модель процесса синтеза

В технологии машиностроения определены пять типов базовых поверхностей: установочная, которая лишает оснащаемую деталь трех степеней свободы; направляющая – двух; опорная – одной; двойная направляющая – четырех и двойная опорная – двух. Для выполнения этих функций необходимо обеспечить с помощью приспособления соответствующее количество опорных точек на каждой базе. В опорную точку направляется вектор силового воздействия. Таким образом, расстановку силовых воздействий можно представить в виде двухуровневой задачи: на первом уровне определяется тип базы, а на втором производится расстановка опорных точек.

Базовые поверхности можно разделить на две категории. К первой отнесем установочную, направляющую и двойную направляющую. Эти базы характеризуются как наиболее развитые, по крайней мере в одном направлении. Поэтому далее будем называть их развитыми базами. Ко второй категории отнесем опорную и двойную опорную базы, которые, соответственно, будем называть неразвитыми. Введем также понятие «наиболее развитая база». Такой базой будет либо установочная, либо двойная направляющая. Практически в каждой из схем базирования присутствует одна и только одна из этих двух баз и является как бы ее основой. Другими словами, будем считать, что наиболее развитая база – обязательное свойство схемы базирования.

Наиболее проблемными для расстановки опор являются развитые базы. Положения опорных точек на неразвитых базах либо ограничены, либо практически определены. Опорной базе соответствует всего одно силовое воздействие. Если в качестве такой базы используется плоская поверхность, вектор воздействия можно направить на любую характерную точку поверхности, например на геометрический центр. Если же роль опорной базы выполняет отверстие, то вектор силового воздействия можно привязать к любой точке на его оси. Как правило, для этого используется центр одного из торцов. Это касается и двойной опорной базы с той разницей, что в данном случае к выбранной точке привязываются два силовых вектора. Проблема может возникнуть, если в выбранной точке имеется препятствие для размещения установочного элемента, например выступ или впадина. Поэтому надо иметь либо набор альтернативных точек, либо алгоритм, который при помощи пробных шагов найдет подходящее положение.

Таким образом, задача размещения опорных точек будет рассматриваться применительно к развитым базам. Произвольные перемещения опорных точек по базам, даже с учетом предложенных ограничений, приведут к чрезмерным затратам времени. Процесс расстановки силовых векторов должен быть целенаправленным и упорядоченным. С этой целью предлагается ввести ряд ограничений.

Векторы силовых воздействий группируются в плоские системы сил вокруг соответствующих сечений оснащаемой детали – P_1 , P_2 и P_3 (рис. 4). Эти сечения назовем установочными, а плоскости, в которых они лежат, – плоскостями установочных сечений. Каждая такая плоскость обязательно должна пересекать хотя бы одну базу – наиболее развитую. Сегмент контура установочного сечения, соответствующий базовой поверхности, назовем установочным сегментом. В общем случае достаточно три установочных сечения. В них обязательно должны

входить векторы, относящиеся к развитым базам. Векторы неразвитых баз могут располагаться вне этих систем, хотя чем ближе, тем лучше.

Для ориентации плоскостей установочных сечений введем два взаимно перпендикулярных направления D_1 и D_2 (на рис. 4 показаны пунктиром), которые назовем направлениями развития приспособления. Если наиболее развитая база – направляющая, первое направление развития совпадает с осью этой базы. Если наиболее развитой базой объекта оснащения является установочная, то оба направления должны лежать в плоскости этой базы. Более конкретно их положение определяется в ходе решения оптимизационной задачи, которая будет рассмотрена далее. Плоскости первых двух установочных сечений располагаются перпендикулярно первому направлению развития, а третья – второму. Кроме того, их положения ограничены проекциями наиболее развитой базы на эти направления. Так, например, плоскости P_1 и P_2 должны находиться между точками K_1 и K_2 , а плоскость P_3 – между точками K_3 и K_4 . Удалением от одной из этих точек, L_{P_j} , будем определять положение плоскости каждого установочного сечения вдоль соответствующего ей направления развития. Аналогичным образом определяется положение вектора силового воздействия в сечении. Исходя из введенных ранее понятий и определений, вектор каждого силового воздействия прикладывается к одному из установочных сегментов. Каждый такой сегмент имеет крайние точки. Эти точки можно принять в качестве базовых и от них измерять отклонение L_{V_i} , где i – порядковый номер силового вектора. Для цилиндрических баз в качестве базовых можно принять точки перемены знака угла наклона касательной.

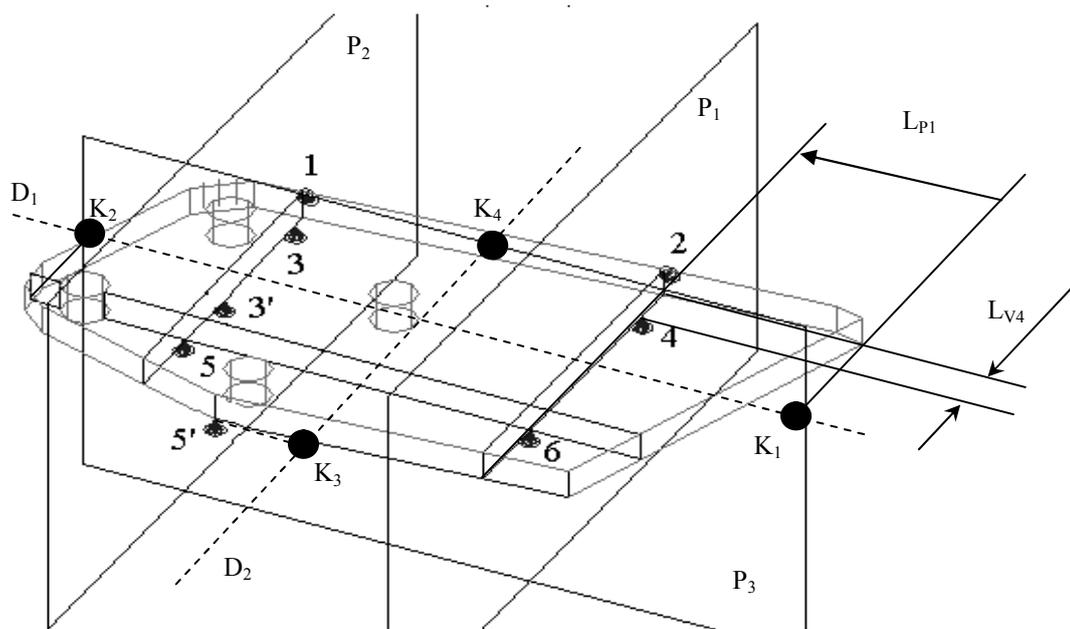


Рис. 4. Схема установки плоскостной детали

Далее задача синтеза структурной схемы решается в рамках каждого установочного сечения отдельно. Во-первых, расставляются векторы активных силовых воздействий, которые соответствуют фиксирующим элементам. В сборочно-сварочных приспособлениях они, как правило, располагаются напротив опор. Поэтому соответствующие векторы следует располагать в установочных сечениях и противопоставлять реактивным. Во-вторых, при необходимости строятся профили установочных элементов. Для этого надо задать длину и ширину профиля. Сам профиль получается из установочного сегмента. И, наконец, может быть решен вопрос о комбинировании элементов, т. е. о возможности реализации силовых воздействий в сечении одним элементом.

3. Оптимизация структурной схемы

Окончательно положения векторов силовых воздействий определяются в процессе решения оптимизационной задачи. Основными варьируемыми параметрами при этом являются отклонения плоскостей установочных сечений и векторов силовых воздействий от их крайних положений. Для автоматического синтеза принципиальной схемы предлагаемого вида необходимы количественные оценочные показатели. Предлагается использовать три таких показателя: габаритные размеры схемы; степень сгруппированности векторов силовых воздействий; моменты инерции оснащаемой детали относительно плоскостей, проходящих через векторы силовых воздействий, направляемых на развитые базы.

Оценить схему предложенного вида качественно не представляется возможным потому, что отсутствует информация о конструктивных элементах. Поэтому синтез должен основываться на генерации нескольких вариантов схемы и выборе лучшего из них. Для этого необходимы количественные критерии. Кроме того, с их помощью можно определенным образом управлять процессом синтеза: имея несколько вариантов схемы и зная их показатели, можно попытаться определить изменения, необходимые для получения лучшего варианта.

Размеры установочных поверхностей являются одним из основных факторов, влияющих на точность установки. Определять размеры каждой из них в отдельности нецелесообразно. Более эффективным представляется оценивать размеры всей схемы. Для этого все векторы силовых воздействий надо спроецировать на три взаимно перпендикулярные плоскости. В каждой плоскости выделяются все пары проекций сил, которые как бы создают в ней крутящий момент, т. е. такие, которые не вырождаются в точки и параллельны между собой либо почти параллельны. Таким образом, комплексной размерной характеристикой схемы будут три плеча, каждое из которых является максимальным в своей плоскости. В примере, показанном на рис. 5, это будут размеры $D1$, $D2$ и $D3$.

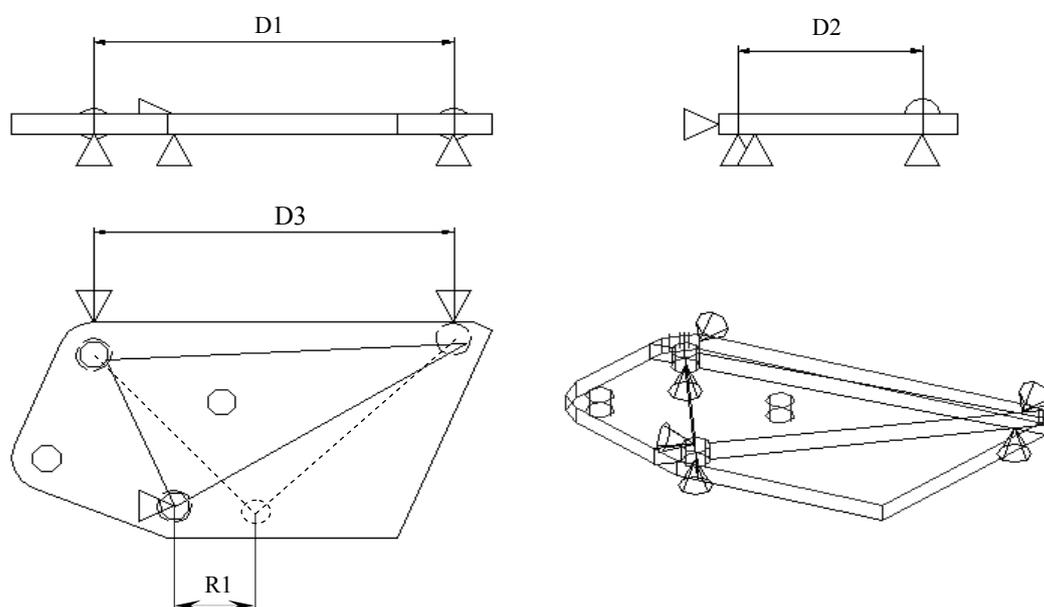


Рис. 5. Критерии оценки схемы установки

При расстановке опорных точек по установочной базе, кроме габаритов, необходимо обеспечить устойчивость установки. В качестве соответствующего показателя можно использовать моменты инерции детали относительно осей, проходящих через опорные точки. Хорошей будет расстановка, при которой моменты максимальны. На горизонтальной проекции (рис. 5) показаны отрезки этих линий. Сплошной контур соответствует принятой расстановке. Пунктирными линиями обозначен более хороший вариант. Однако такая расстановка хуже согласно третьему критерию, который рассматривается далее.

Совмещение в одном конструктивном элементе нескольких силовых функций повышает технологичность как изготовления приспособления, так и его использования (см. рис. 3). Создать определенные предпосылки для использования таких элементов в будущем приспособлении можно еще на схемном уровне. Для этого векторы силовых воздействий на смежных базах следует по возможности располагать так, чтобы они образовывали пары, прилагаемые к одной точке на границе этих баз либо к одному плоскому сечению. Другими словами, если плоскость установочного сечения оказывается достаточно близко к какой-либо неразвитой базе, имеет смысл провести ее непосредственно через эту базу. Для учета подобных совмещений надо ввести показатель степени сгруппированности силовых воздействий.

Для решения сформулированных выше задач наиболее целесообразным представляется применение генетического алгоритма – адаптивного метода поиска, используемого для решения оптимизационных задач. Генетические алгоритмы, как правило, оперируют не с действительными числами, являющимися натуральными параметрами оптимизационной задачи, а с бинарными строками, кодирующими эти параметры в алфавите, содержащем только два символа: 0 и 1. Использование генетического алгоритма предполагает кодирование управляющих параметров с помощью некоторого конечного алфавита. Наиболее распространено представление параметров в двоичном формате. В задачах, связанных с размещением элементов, в таком виде представляются координаты элементов. Однако абсолютные размеры объектов оснащения, как правило, велики и для кодирования перемещений потребуются строки очень большой длины. Кроме того, эти размеры могут отличаться на порядок. Следовательно, понадобятся строки различной длины. В нашем случае более эффективным представляется использование отношения параметров к диапазонам их возможных значений. Допустим, что первые две плоскости установочных сечений могут отклоняться от своих точек отсчета не больше чем на половину расстояния между ними. Фактически допустимы значительно меньшие отклонения, но для примера примем такой диапазон. При расстановке опорных точек будет задаваться процент от этого диапазона, а не единицы длины. Поскольку точки отсчета соответствуют крайним положениям перемещаемых объектов, направление смещения однозначно. Точность смещения, указываемого таким образом, можно ограничить тремя – четырьмя знаками после запятой. Это обеспечит достаточную плавность перемещения и приемлемую длину генотипов.

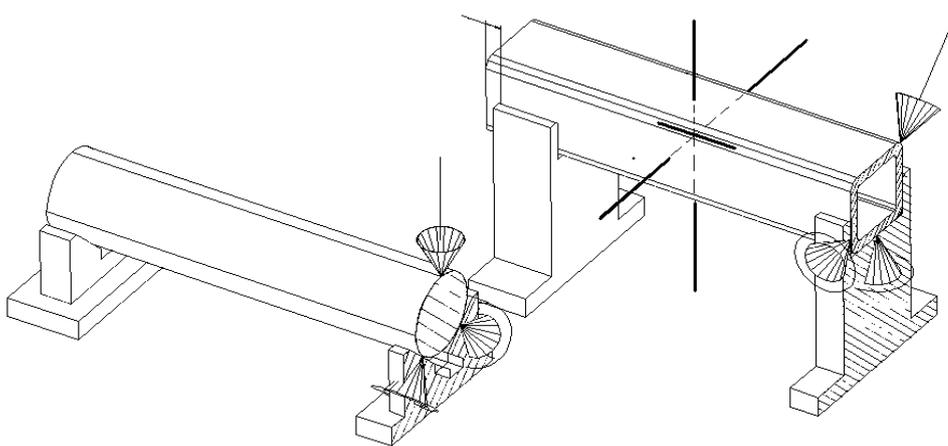


Рис. 6. Примеры стержневых деталей и схем их установки

Существует класс деталей, которые назовем стержневыми и определим следующим образом: детали, полученные протягиванием вдоль некоторой траектории профиля, размеры которого гораздо меньше длины траектории, а также детали, наиболее развитой базой которых является двойная направляющая. Другими словами, это детали, вытянутые вдоль некоторого направления или траектории (рис. 6). Как объект оснащения стержневая деталь характерна тем, что схему ее установки можно представить в виде двух групп силовых воздействий. Каждая из

них либо непосредственно представляет собой плоскую систему сил, либо может быть аппроксимирована подобным образом.

Такая схема установки наиболее целесообразна согласно предложенным ранее критериям. При ее синтезе можно ограничиться двумя установочными сечениями. Задача сводится к нахождению оптимального расстояния между плоскостями двух сечений. При этом можно исходить, например, из жесткости установки, тогда расстояние между сечениями должно быть $L/2$, а от сечений до торцов – $L/2$, где L – длина детали. К этому правилу необходимо добавить некоторые поправки. Например, необходимо выдержать определенное расстояние от торца, особенно если он «обваривается». Кроме того, в выбранном месте могут оказаться препятствия для размещения элементов. Тогда необходим пошаговый алгоритм выбора положения сечения.

В рамках каждого сечения решается задача расстановки векторов силовых воздействий. На каждом из установочных сегментов ставится один вектор. В качестве точки привязки можно принять середину сегмента. Если форма сечения простая (рис. 6), установочный элемент для этих векторов может быть выбран из библиотеки. Для сложного сечения (см. рис. 2) профиль элемента должен быть синтезирован.

Заключение

Существующие системы автоматизированного проектирования приспособлений основаны на типовых проектных решениях. Такой подход требует значительных затрат на разработку системы и значительно снижает ее гибкость. С другой стороны, универсальные графические пакеты позволяют конструкторам самостоятельно создавать модели конструктивных элементов и в интерактивном режиме проектировать приспособления. Трудоемкость такого проектирования, по сравнению с автоматизированным, возрастает, но зато решаются практически любые задачи. Методы, предложенные в данной статье, позволяют абстрагироваться от пользовательских наработок, получать схемное решение и конструктивно воплощать его с помощью любой библиотеки конструктивных элементов.

Список литературы

1. Ракович А.Г. Автоматизация проектирования приспособлений для металлорежущих станков. – М.: Наука и техника, 1980.
2. Ракович А.Г. Информационные процессы и технологии в проектировании технологического оснащения // Моделирование и автоматизация информационных процессов. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1995. – С.18-41.
3. Ракович А.Г. Принципы и задачи синтеза и реализация схемных решений в нерегулярных конструкциях // Моделирование и информационные технологии проектирования. Вып. 2. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 14-25.
4. Кункевич Д.П., Миненок В.В. Автоматизация структурного синтеза сборочно-сварочных приспособлений // Сварка и родственные технологии. Республ. межведомственный сб. науч. тр. Вып. 4. – Мн.: БГ НПК ПМ, 2001. – С. 106-108.

Поступила 17.09.04

*Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail:kunk@newman.bas-net.by*

D.P. Kunkevich

ATOMIZATION OF STRUCTURE SYNTHESIS OF ASSEMBLY-WELDING FIXTURES

This approach allows to synthesize the principle scheme of the fixture in the absence of typical design solutions. The actions to provide the constructive entailment of the scheme with elements from user library is also offered.