

УДК 004.946; 621.9.06

Б.М. Розин, В.Е. Зданович

К СИНТЕЗУ КОМПОНОВОК АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ

Рассматриваются задачи выбора оптимальных типоразмеров основных узлов и сборочных единиц агрегатных станков для групповой обработки деталей. Предлагаются алгоритмы решения некоторых таких задач за счет оптимизации взаимного размещения элементов узлов, а также алгоритм построения 3D-моделей элементов компоновок агрегатных станков в графической системе T-Flex. Приводятся структура и методика использования программной подсистемы формирования и оценки компоновок агрегатных станков для групповой обработки.

Введение

Применяемые в настоящее время в машиностроении металлорежущие агрегатные станки (АС) являются более производительными и экономичными по сравнению с универсальным оборудованием. Они используются в производственных системах для крупносерийного изготовления конкретных деталей [1–9]. АС komponуются в основном из кинематически не связанных унифицированных (нормализованных, стандартизованных) узлов определенного функционального назначения – агрегатов. Благодаря широкому применению унифицированных узлов и деталей объем конструкторских работ при проектировании агрегатного станка по сравнению с проектированием специального станка такой же сложности сокращается примерно в пять-шесть раз. Основными унифицированными сборочными единицами, из которых komponуются АС, являются:

базовые корпусные узлы – станины, стойки, кронштейны;
узлы главного движения и подачи – силовые головки, силовые столы, фрезерные, расточные, сверлильные бабки, шпиндельные коробки и др.;

устройства для перемещения обрабатываемых заготовок – поворотные и прямолинейные делительные столы, манипуляторы.

АС используются для изготовления деталей разных габаритных размеров, требующих большого количества технологических переходов. На таких станках осуществляются в основном следующие операции обработки резанием: сверление, зенкерование, развертывание и растачивание отверстий, нарезание резьбы, обтачивание и фрезерование наружных поверхностей, протачивание канавок, подрезание торцов, а также раскатывание цилиндрических и конических отверстий.

В зависимости от способа закрепления и перемещения обрабатываемой заготовки станки бывают: со стационарным (неподвижным) приспособлением; с многопозиционным приспособлением на поворотном делительном столе с вертикальной осью вращения; с многопозиционным приспособлением на поворотном делительном барабане с горизонтальной осью вращения; с многопозиционным приспособлением на многопозиционном передвижном столе. Станки с поворотными делительными столами (рис. 1, а) или барабанами наиболее эффективны при изготовлении деталей средних и малых размеров. Станки с многопозиционными передвижными столами (рис. 1, б) и со стационарными приспособлениями (рис. 1, в) применяются в основном для выполнения тяжелых операций или многоинструментальной обработки крупногабаритных массивных заготовок.

Одной из основных задач при проектировании АС для групповой обработки наряду с синтезом технологического процесса (ТП) является формирование его компоновки. Под компоновкой АС понимается совокупность его узлов и их взаимное расположение.

Структура и параметры ТП, в том числе количество рабочих позиций, количество и состав выполняемых блочных технологических переходов на каждой позиции, перечень координатных движений, их величина, взаимное расположение инструментов и заготовки и др., во многом определяют компоновочную схему станка. С другой стороны, при выборе ТП, как пра-

вило, учитываются возможности потенциально реализуемых компоновочных схем АС. Для заданных ТП и структурной схемы АС, используя унифицированные узлы, можно создавать несколько компоновок АС разных размеров.

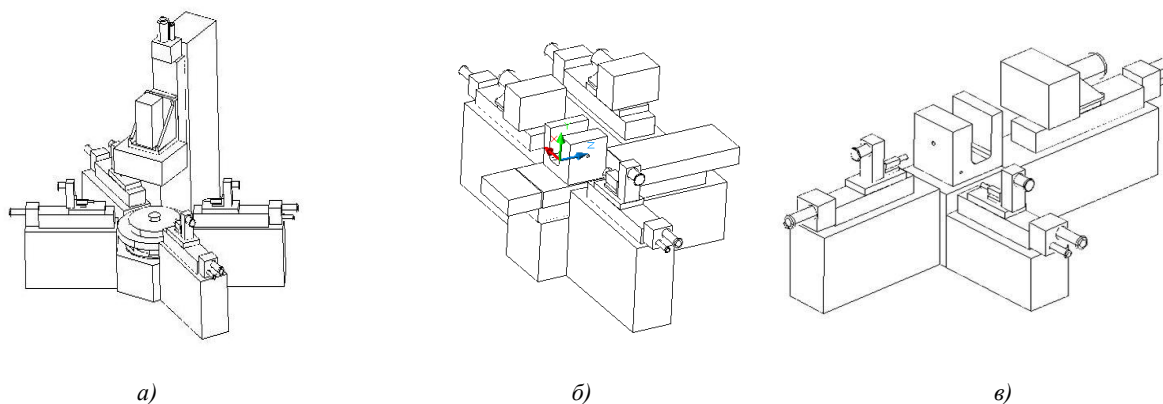


Рис. 1. Типовые компоновки АС: а) с поворотным делительным столом; б) с передвижным столом; в) со стационарным приспособлением

В ряде исследований автоматизированное формирование компоновки АС разбивается, как правило, на этапы синтеза структурной схемы компоновки и параметрического синтеза АС для заданной его структурной схемы [4, 10–14]. В некоторых работах выбор основных характеристик структурной схемы совмещается с выбором схемы технологического процесса [15–17].

Для построения множества возможных вариантов структурных схем компоновок используются их систематизация и кодирование в зависимости от видов обработки и направления подач [4], состава и способов сопряжения узлов [12–14], а также синтез координатного, блочного и элементного кодов компоновки станка [10]. Поскольку для большей части АС важное значение имеет вид транспортирования заготовки, в сокращенное обозначение введены также траектория движения заготовок и характер ее изменения во времени [4].

Для оценки и отсеивания неперспективных вариантов структурных схем АС, как правило, используется иерархически упорядоченная система критериев качества компоновки. К основным критериям обычно относятся производительность, точность и др. Для вариантов АС, обеспечивающих требуемые производительность и точность, дальнейший отбор производится по таким критериям, как стоимость станка, себестоимость обработки на нем, металлоемкость, габариты и др. При выборе схемы компоновки также принимают во внимание такие дополнительные характеристики, как удобство смены инструментов и заготовок, отвода стружки, снижение влияния веса узлов на точность обработки и др. [10]. Ранжирование критериев позволяет выполнять отбор вариантов структурной схемы в несколько подэтапов, последовательно сужая множество просматриваемых вариантов.

В работе [17] описан подход к выбору принципиальной компоновочной схемы АС с поворотным столом на этапе формирования структуры группового технологического процесса, когда определяются количество рабочих позиций, количество и состав групп технологических переходов для каждой позиции, предварительные режимы обработки для этих переходов. В качестве целевой функции при выборе предпочтительного варианта группового технологического процесса используется линейная свертка чисел позиций обработки, состава и типа блочных технологических переходов, выполняемых узлами АС, и состава каждого блочного перехода.

Параметрический синтез для заданного варианта компоновочной схемы включает определение типоразмеров основных (унифицированных либо оригинальных) силовых и корпусных узлов, параметров их взаимного расположения, удовлетворяющих ряду конструктивно-технологических и эргономических ограничений. Под типоразмером понимается совокупность нескольких основных параметров узла, указанных однозначно или в виде допустимых интерва-

лов значений. Для унифицированных узлов значения основных параметров выбираются из дискретного ряда, для оригинальных узлов эти параметры могут изменяться непрерывно.

В качестве примера в таблице приведен ряд типоразмеров унифицированных поворотных многошпиндельных коробок УЕ3515 для исполнений 01-14 (рис. 2). В качестве основных параметров, определяющих типоразмер коробки, используются ее диаметр D и высота H прямоугольной части, предназначенной для размещения шпинделей.

Типоразмеры поворотной шпиндельной коробки УЕ3515

| Обозначение типоразмера шпиндельной коробки | Размеры шпиндельной коробки, мм | |
|---|---------------------------------|-----|
| | D | H |
| УЕ3515 (01-02) | 400 | 305 |
| УЕ3515 (03-04) | 500 | 425 |
| УЕ3515 (05-06) | 560 | 490 |
| УЕ3515 (07-10) | 630 | 560 |
| УЕ3515 (11-12) | 710 | 630 |
| УЕ3515 (13-14) | 800 | 710 |

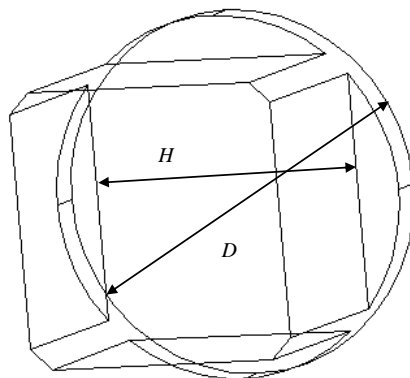


Рис. 2. Упрощенная 3D-модель поворотной коробки УЕ3515

При выборе типоразмеров унифицированных узлов либо определении размеров оригинальных узлов АС при фиксированной структуре технологического процесса и структурной схеме компоновки возникают задачи оптимизации, которые по составу управляемых параметров можно условно разделить на два типа: задачи определения оптимального типоразмера узла за счет выбора взаимного расположения элементов узла и задачи определения оптимального типоразмера узла и АС в целом за счет выбора размещения обрабатываемых заготовок на приспособлении.

К формированию компоновки АС относятся также определение и размещение компонентов дополнительного оборудования.

При оценке построенного варианта компоновки АС проектантом существенное значение имеют не только состав его узлов и значения характеристик, но и визуальное отображение его 3D-модели. Ряд работ посвящен средствам двумерного графического отображения компоновок станка и их программной реализации. В частности, в работе [14] после синтеза варианта компоновки на экране отображается эскиз станка во фронтальной проекции и выводятся его технико-экономические характеристики. Базовые узлы, которые могут входить в состав компоновки, описаны в подпрограммах и содержат кроме массива координат точек, определяющих геометрию каждого узла, обращения к подпрограммам геометрических преобразований, изменяющим исходное изображение узлов в соответствии со значениями параметров. Программные средства, реализующие предложенный подход, базируются на языке ФОРТРАН с использованием графического пакета «Графор».

В работах [18–20] для визуального восприятия полученных координатных кодов вариантов компоновок предложен другой способ их графического синтеза. Основные элементы узлов компоновки представлены параллелепипедами (имеющими возможность вырождаться в призмы) и цилиндрами. После передачи системе графического 3D-синтеза информации о структуре и узлах, входящих в состав компоновки, формируется ее графическая модель. В каждой из описываемых в работах систем имеется возможность масштабирования объектов компоновки, изменения угла зрения (вращения модели относительно осей координат), редактирования любых объектов и их компонентов, участвующих в процессе графического моделирования компоновки станка. Графические модули систем используют графический стандарт OpenGL.

В системах графического синтеза, описанных в работах [14, 18–20], модели компоновок отображались либо двухмерным эскизом, либо с помощью матриц преобразования координат создавалась иллюзия трехмерного пространства, но процесс создания такого рода программных средств достаточно трудоемкий, а полученное графическое изображение не дает полного представления о компоновке станка.

В настоящее время все большее применение в конструкторских организациях находят системы геометрического моделирования (СГМ), такие как AutoCAD, КОМПАС-3D, T-Flex. Они позволяют оперативно создавать твердотельные параметрические 3D-модели любого уровня сложности. Применение подобного рода систем позволяет не только облегчить визуальную оценку разработанной модели АС, но и провести ее прочностные расчеты при достаточной степени детализации.

Для автоматизации процесса построения компоновок АС в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси разработана подсистема «Компоновка» системы «Агрегат» [15, 16], которая позволяет получить 3D-модель компоновки станка в системе Mechanical Desktop [21].

Настоящая работа посвящена созданию на базе подсистемы «Компоновка» средств автоматизации выбора оптимальных типоразмеров унифицированных узлов, а также определения размеров оригинальных узлов АС для заданной компоновочной схемы и построения 3D-моделей АС для визуального анализа формируемых вариантов его компоновок. Основное внимание при этом уделяется групповым ТП для АС, предназначенных для серийной обработки деталей различных наименований.

1. Задачи выбора оптимальных типоразмеров узлов компоновок АС для групповой обработки деталей

Рассматриваемые далее задачи выбора типоразмеров узлов характерны для автоматизированного проектирования компоновок АС, когда за счет использования высокопроизводительной вычислительной техники имеется возможность оперативно формировать, оценивать и сравнивать большое количество вариантов компоновок. При выборе типоразмеров узлов АС обычно требуется оптимизировать такие технико-экономические характеристики АС, как материалоемкость, габариты, стоимость, являющиеся, как правило, возрастающими функциями типоразмеров его узлов. При этом предполагается, что изменение типоразмера узла в известном диапазоне несущественно влияет на точность его обработки и надежность.

Вклад типоразмеров отдельных узлов и сборочных единиц в обобщенную оптимизируемую характеристику АС учитывается посредством соответствующих весовых коэффициентов.

Типоразмеры ряда унифицированных узлов АС при заданных структуре и параметрах технологического процесса выбираются как наименьшие, удовлетворяющие условию обеспечения выполнения операций ТП независимо от расположения обрабатываемых деталей на приспособлении. К таким узлам относятся, в частности, силовые бабки, вспомогательное оборудование (инструментальные шкафы, стружкосборники, гидростанции). Типоразмеры других унифицированных узлов и сборочных единиц, таких, например, как шпиндельные коробки, силовые и крестовые столы, на которых размещаются шпиндельные коробки и силовые бабки, либо размеры оригинальных узлов, таких как центральные и боковые станины, стойки и подставки, могут существенно зависеть от размещения на приспособлении обрабатываемых деталей.

Рассмотрим некоторые задачи оптимизации типоразмеров отдельных узлов АС при фиксированной структуре и параметрах ТП, структурной схеме его компоновки и параметрах размещения деталей на позициях.

Задача 1.1. Оптимизация размеров оригинальной прямоугольной центральной тумбы стационарного приспособления для обработки одной детали.

Исходные данные: координаты центров обрабатываемых конструктивно-технологических элементов (КТЭ) в системе координат детали, параметры процесса обработки КТЭ, режимы резания.

Управляемые переменные: положение детали в системе координат станка, размеры поверхности тумбы.

Критерии: площадь поверхности тумбы.

Ограничения: обеспечение размещения станин боковых приставок в пределах граней тумбы.

Задача 1.2. Оптимизация типоразмера литья унифицированной поворотной шпиндельной коробки.

Исходные данные: координаты центров обрабатываемых КТЭ в системе координат станка, параметры процесса обработки КТЭ, режимы резания.

Управляемые переменные: координаты оси вращения вала (центра) поворотной коробки в системе координат станка.

Критерии: габаритный диаметр шпиндельной коробки.

Ограничения: обеспечение минимально допустимых расстояний между центрами шпинделей и центром поворотной коробки и между центрами каждой пары шпинделей.

Задача 1.3. Оптимизация типоразмера унифицированного крестового стола для групповой обработки деталей набором шпиндельных бабок (фрезерных, расточных, сверлильных и т. п.).

Исходные данные: число бабок; габаритные размеры каждой бабки; величины базы и длины съема инструмента для каждой бабки; координаты центров КТЭ всех деталей, обрабатываемых каждой бабкой, в системе координат станка; параметры процесса обработки КТЭ; режимы резания.

Управляемые переменные: координаты осей вращения шпиндельных бабок, центра платформы и центра каретки крестового стола в системе координат станка.

Критерии: ширина, длина и ход платформы, а также ход каретки крестового стола.

Ограничения: достаточность размеров платформы для размещения всех бабок, достаточность хода платформы для обеспечения совмещения шпинделя каждой бабки с центром соответствующего обрабатываемого КТЭ, обеспечение размещения станины боковой приставки в пределах грани центральной станины приспособления.

Среди задач выбора оптимальных типоразмеров узлов и АС в целом за счет выбора положения деталей на приспособлении можно выделить следующие:

Задача 2.1. Выбор оптимального типоразмера литья унифицированной вертикальной шпиндельной коробки для обработки одновременно на нескольких позициях АС с поворотным столом деталей однородной партии за счет выбора положения заготовки в секторе загрузочной позиции.

Исходные данные: координаты центров обрабатываемых КТЭ в системе координат детали, параметры технологического процесса обработки, режимы резания.

Управляемые переменные: положение детали в системе координат станка.

Критерии: габаритные размеры шпиндельной коробки.

Ограничения: размещение детали (зажимного приспособления) в пределах сектора загрузочной позиции, обеспечение минимально допустимых расстояний между центрами каждой пары шпинделей, обеспечение размещения передней грани подставки под вертикальную стойку боковой приставки в пределах грани центральной станины приспособления.

Задача 2.2. Выбор оптимального типоразмера литья унифицированной поворотной шпиндельной коробки за счет выбора размещения заготовок деталей группы на загрузочной позиции.

Исходные данные: параметры технологического процесса обработки КТЭ всех деталей, режимы резания для КТЭ этих деталей.

Управляемые переменные: положение деталей в системе координат станка на загрузочной позиции.

Критерии: габаритный диаметр шпиндельной коробки.

Ограничения: размещение деталей (зажимных приспособлений) в пределах сектора загрузочной позиции, обеспечение минимально допустимых расстояний между центрами шпинделей и центром поворотной коробки и между центрами каждой пары шпинделей, обеспечение размещения станины боковой приставки в пределах грани центральной станины приспособления.

Задача 2.3. Выбор оптимального типоразмера унифицированного крестового стола для групповой обработки деталей набором шпиндельных бабок (сверлильных, фрезерных, расточных и т. п.) за счет выбора размещения заготовок деталей на загрузочной позиции.

Исходные данные: число бабок; габаритные размеры каждой бабки; величины базы и длины съема инструмента для каждой бабки; координаты центров КТЭ всех деталей, обрабатываемых каждой бабкой, в системе координат станка; параметры процесса обработки КТЭ; режимы резания.

Управляемые переменные: положение деталей в системе координат станка на загрузочной позиции.

Критерии: ширина, длина и ход платформы, а также ход каретки крестового стола.

Ограничения: достаточность размеров платформы для размещения всех бабок, достаточность хода платформы для подвода каждой бабки для обработки соответствующих КТЭ, обеспечение размещения станины боковой приставки в пределах грани центральной станины приспособления.

Следует отметить, что задачи второго типа, как правило, являются существенно более сложными в отношении как свойств множества допустимых планов, так и характера зависимостей оптимизируемых характеристик от управляемых переменных. Анализ свойств задачи 2.1 показал, что множество допустимых планов задачи в общем случае является невыпуклым и даже многосвязным, а сама задача – многоэкстремальной. Поэтому для решения задач оптимизации типоразмеров узлов АС второго типа представляется целесообразным применять методы, основанные на комбинации приемов декомпозиции экстремальных задач и метаэвристиках. Перспективными могут быть также диалоговые процедуры, позволяющие проектанту оперативно перемещать модели деталей на виртуальном приспособлении и строить модифицированную 3D-модель АС для каждого нового их расположения. При этом проектант для поиска наилучшего размещения деталей на виртуальном приспособлении может использовать опыт проектирования, учесть ряд дополнительных условий размещения приспособления на позиции загрузки, которые не всегда могут быть формализованы. Кроме того, при сложной форме детали визуальная проверка пользователем расположения приспособления на позиции с учетом ограничений невыхода за границы сектора окружности может оказаться проще, чем ее проверка в автоматическом режиме.

2. Формирование компоновок АС для групповой обработки в подсистеме «Компоновка» программного комплекса «Агрегат»

Комплекс алгоритмов и программных средств формирования компоновки металлорежущих АС, реализованный в виде подсистемы «Компоновка» системы «Агрегат», предназначенной для проектирования на этапе аванпроектирования АС, был разработан в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси [15, 16]. Подсистема разработана при поддержке и участии специалистов Барановичского завода автомобильных линий и Минского завода автоматических линий им. П.М. Машерова и базируется на накопленном на этих предприятиях опыте проектирования агрегатного оборудования. Подсистема «Компоновка» ориентирована на проектирование трех наиболее распространенных типов металлорежущих АС: с приспособлением на многопозиционном поворотном столе, на двухпозиционном передвижном столе, а также стационарных АС.

В отличие от описанной в [15, 16] версии подсистемы, предназначенной для обработки последовательности деталей одного наименования, функции описываемой здесь новой версии подсистемы «Компоновка» распространены на групповые процессы обработки партий деталей нескольких наименований.

Подсистема предусматривает формирование варианта компоновочной схемы АС, обеспечивающего выполнение требований технического задания по обработке заданной группы дета-

лей с учетом требуемой производительности, точности и т. п., и расчет характеристик АС (стоимости, массы, габаритов, занимаемой площади). При этом используется информация о структуре и параметрах технологического процесса обработки, о составе и ориентации силовых столов, а также вводимые пользователем в диалоге данные об основных параметрах приспособления и инструментальной наладки. Результатом работы подсистемы является сформированный состав оборудования, его основные характеристики и упрощенная твердотельная 3D-модель, пригодная для получения чертежей любых проекций построенного АС в графической системе Mechanical Desktop [21].

Формирование варианта компоновки АС для групповой обработки в подсистеме включает следующие этапы:

- размещение заготовок деталей группы на загрузочной позиции АС и их позиционирование (отображение положения деталей на все рабочие позиции);
- выбор состава и типоразмеров основных узлов АС;
- определение параметров расположения этих узлов;
- выбор состава, типоразмеров и расположения дополнительного оборудования;
- построение (при необходимости) 3D-модели АС;
- оценку технико-экономических характеристик станка (стоимости, массы, габаритов).

Предусмотрена возможность корректировки проектантом получаемых решений.

После размещения и позиционирования деталей проектировщику предлагается ввести в режиме диалога начальные значения некоторых основных параметров планируемого приспособления. Кроме того, выбирается наименьший диаметр планшайбы поворотного стола (для станка с поворотным столом), либо габариты передвижного стола, либо габариты тумбы стационарного приспособления, достаточные для закрепления деталей и для требуемого количества боковых приставок, соответствующего числу и типу определенных технологическим процессом силовых столов.

Далее подсистема осуществляет выбор из базы данных системы типоразмеров основных унифицированных силовых и корпусных узлов (либо определение размеров оригинальных узлов) боковых приставок и задает их взаимное пространственное расположение. Для выбора размеров некоторых основных узлов (тумбы центральной станины стационарного приспособления, поворотной коробки, крестового стола) применяются алгоритмы, описанные в разд. 3.

Типоразмеры узлов боковой приставки выбираются, начиная с силового узла (шпиндельной коробки или силовой бабки), непосредственно выполняющего операцию, в последовательности их базирования: в качестве каждого следующего узла выбирается узел, на котором базируется предыдущий узел вплоть до боковой станины (или подставки), которая крепится к фундаменту. При этом типоразмер силового узла выбирается наименьшим, обеспечивающим выполнение операций, предусмотренных технологическим процессом. Типоразмер же очередного узла в последовательности должен быть не меньшим, чем типоразмер предыдущего узла. Более того, как правило, типоразмеры всех узлов в цепочке совпадают, поскольку увеличение типоразмера любого узла цепочки по отношению к предыдущему узлу приводит к увеличению массы, стоимости и габаритов АС в целом. Тем не менее увеличение типоразмера некоторого узла цепочки (как и всех последующих узлов цепочки) может быть продиктовано другими технико-технологическими требованиями. В качестве примера цепочки узлов боковой приставки, содержащей вертикальный силовой стол, можно привести сверлильную (сверлильно-резьбонарезную либо иную) шпиндельную коробку, силовой угольник, вертикальный силовой стол, боковую стойку, подставку. При определении параметров размещения основных узлов учитываются также условия взаимного пространственного расположения узлов соседних приставок (отсутствие пересечения, достаточное расстояние для обеспечения обслуживания наладки и др.).

Когда вариант компоновки основных узлов сформирован, выполняется диалоговая процедура подбора и размещения в проекции «в плане» АС компонент дополнительного оборудования. Затем вычисляются основные характеристики полученного АС, пространственная модель которого отображается в графической среде системы Mechanical Desktop для визуального анализа и вывода на печать различных ее проекций.

В подсистеме реализован также режим («Эскиз») формирования компоновки под управлением проектанта (без размещения деталей на приспособлении), когда проектант самостоя-

тельно выбирает тип станка, его параметры, типоразмеры, состав боковых приставок и взаимное расположение их узлов. После завершения выбора в этом режиме узлов и задания их расположения проектанту предоставляется возможность построить 3D-модель сформированной компоновки АС, рассчитать его массу, габариты и стоимость.

2.1. Установка и позиционирование деталей

При выполнении установки каждой детали в положение обработки предусмотрено раздельное определение ее координаты по вертикальной оси и координат на горизонтальной плоскости приспособления (проекция «в плане»). На рис. 3 показаны упрощенные 3D-модели деталей, составляющих группу для обработки на АС с поворотным столом, на рис. 4 – некоторое выбранное размещение этих двух деталей в секторе загрузочной позиции на плоскости поворотного стола в проекции «в плане». Изображенные на рис. 4 концентрические окружности соответствуют различным возможным диаметрам планшайбы унифицированных поворотных столов.

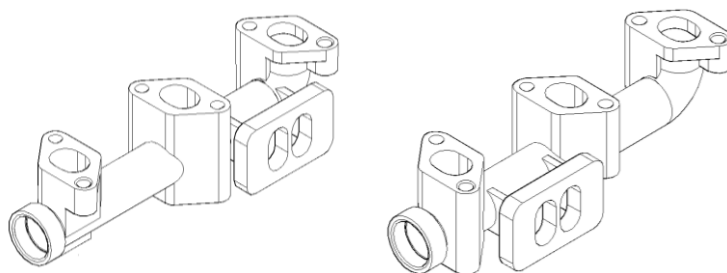


Рис. 3. Упрощенные 3D-модели деталей

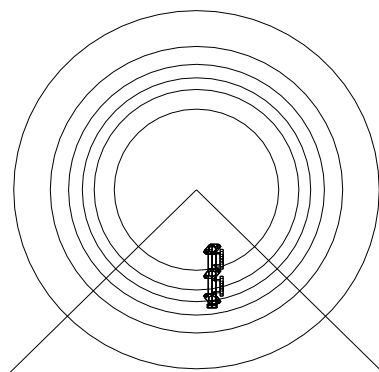


Рис. 4. Установка деталей в положение обработки на планшайбе поворотного стола

При позиционировании деталей определяется их положение в каждой из предусмотренных технологическим процессом позиций обработки (рис. 5).

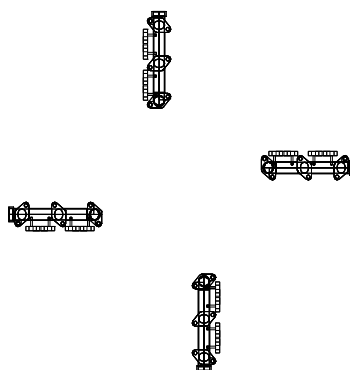


Рис. 5. Результат позиционирования обрабатываемых деталей на АС с поворотным столом с четырьмя возможными позициями, включая загрузочную

2.2. Выбор типоразмеров узлов компоновки АС

Типоразмер унифицированного поворотного стола и соответствующей ему центральной станины АС выбирается по принципу минимального диаметра планшайбы, позволяющего разместить 3D-модель детали (деталей) и соответствующего приспособления в секторе позиции поворотного стола. Аналогично определяются типоразмер унифицированного передвижного стола либо размеры оригинальной тумбы стационарного станка.

Типоразмеры шпиндельных коробок и бабок выбираются из базы данных с учетом параметров технологического процесса обработки на соответствующей позиции.

Типоразмеры силовых угольников, силовых и крестовых столов выбираются с учетом рассчитываемых суммарных характеристик усилий, мощности, скоростей минутной подачи, крутящего момента, величин рабочего хода, базы и длин съема инструментов и др., а также типоразмеров устанавливаемых на них шпиндельных коробок и бабок.

Типоразмеры унифицированных боковых станин, стоек и подставок выбираются из базы данных, либо эти узлы формируются как оригинальные с учетом типоразмеров размещаемых на них силовых либо крестовых столов и их характеристик.

Расположение узлов выбранных типоразмеров определяется с учетом правил взаимного базирования узлов боковой приставки, ряда условий и ограничений. Среди таких правил следует отметить следующие: шпиндельная коробка крепится к силовому угольнику, который, в свою очередь, устанавливается на платформе силового стола, при этом ширина привалочной плоскости угольника должна быть не меньше ширины платформы стола; угольник не должен свисать с этой платформы. Базирование боковой станины (подставки) на центральной станине (тумбе) приспособления для закрепления деталей должно обеспечивать размещение передней грани боковой станины в пределах соответствующей грани центральной станины, достаточное расстояние между соседними боковыми приставками и др.

Пример компоновки АС с двумя боковыми приставками, снабженными горизонтальными силовыми столами, показан на рис. 6. В частности, боковая приставка, расположенная на первой рабочей грани приспособления, состоит из поворотной шпиндельной коробки, револьверной бабки, электромеханического силового стола и боковой станины.

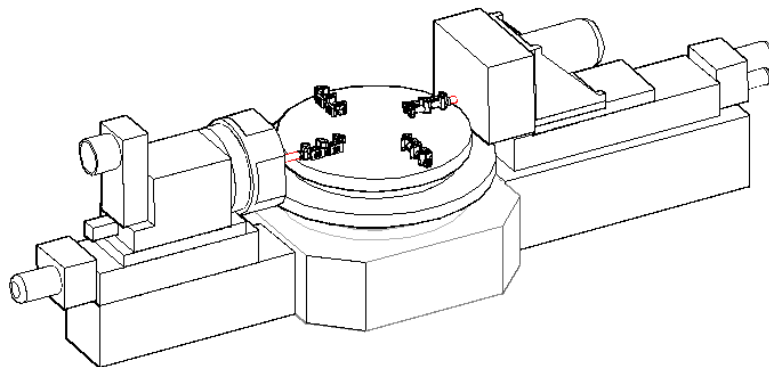


Рис. 6. Упрощенная 3D-модель АС с поворотным столом

Для некоторых узлов реализованы алгоритмы оптимизации их типоразмеров, описание которых дается в разд. 3.

3. Алгоритмы выбора оптимальных типоразмеров узлов компоновок АС

В подсистеме «Компоновка» реализован ряд алгоритмов выбора оптимальных типоразмеров некоторых узлов АС для групповой обработки деталей за счет оптимизации взаимного расположения компонентов узла при фиксированном расположении деталей группы на загрузочной позиции АС.

Ниже описаны алгоритмы решения задач 1.1 (оптимизации размеров оригинальной центральной тумбы стационарного приспособления), 1.2 (выбора оптимального типоразмера литья

унифицированной поворотной шпиндельной коробки), 1.3 (выбора оптимального типоразмера унифицированного крестового стола с набором шпиндельных бабок).

Минимизация размеров (длины L_T и ширины B_T) прямоугольника поверхности центральной тумбы прямоугольного стационарного приспособления (задача 1.1) проводится посредством выбора расположения и размеров прямоугольника тумбы относительно обрабатываемой заготовки в плоскости приспособления так, чтобы края боковых станин и подставок боковых приставок, на которых размещаются силовые столы, обрабатывающие элементы заготовки, не выходили за границы тумбы (рис. 7). Предполагается, что обрабатываемая деталь аппроксимируется прямоугольником, включающим элементы зажимных устройств для ее фиксации на приспособлении.

Алгоритм оптимизации размеров прямоугольника поверхности оригинальной центральной тумбы стационарного приспособления:

Шаг 1. Задаются исходные размеры прямоугольника поверхности тумбы $B_T = K_1 B_{дет}$, $L_T = K_2 L_{дет}$, где $K_1, K_2 > 1$ – коэффициенты для расчета ширины и длины тумбы, достаточных для размещения детали с учетом зажимных приспособлений на поверхности тумбы. Начало системы координат АС устанавливается в центре прямоугольника поверхности тумбы. Связанная с деталью система координат совмещается с системой координат АС. Формируются боковые приставки, включающие шпиндельные коробки (либо бабки), горизонтальные силовые столы и соответствующие боковые станины.

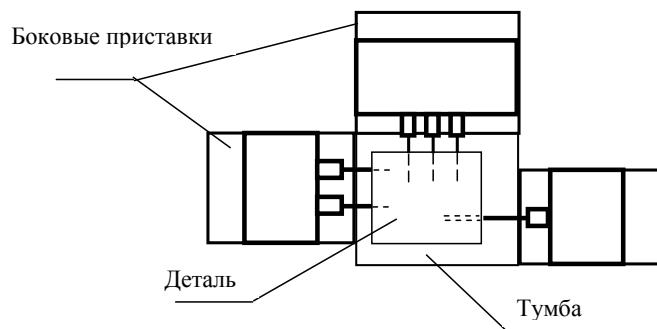


Рис. 7. Оптимальные размеры тумбы стационарного АС для заданных боковых приставок

Шаг 2. Если каждая из приставленных боковых станин располагается в границах соответствующей грани тумбы, то переход к шагу 4.

Шаг 3. Если какая-либо боковая станина выходит за границы грани тумбы, соответствующий размер тумбы увеличивается на величину, при которой границы станины и тумбы совпадают. С учетом смещения системы координат АС, располагающейся в центре увеличенного прямоугольника поверхности тумбы, корректируются привязка детали и как следствие значения координат всех ее КТЭ. Корректируются также параметры привязки систем координат боковых приставок.

Шаг повторяется, пока все боковые станины не будут расположены в пределах своих граней.

Шаг 4. Если какая-либо из граней тумбы не совпадает ни с одной из границ боковых станин, размер этой грани уменьшается на максимальную величину, для которой данное условие еще выполняется. Процедура повторяется, пока каждая граница каждой грани не совпадет с границей по крайней мере одной из боковых станин.

Оптимизация типоразмеров (габаритного диаметра D и высоты H прямоугольной части литья) унифицированной поворотной коробки (задача 1.2) осуществляется посредством выбора расположения оси вращения коробки, угла поворота коробки в плоскости вращения в исходной позиции и радиуса коробки (рис. 8). Положение оси коробки выбирается с учетом координат множества центров шпинделей всех блоков коробки, которые соответствуют обрабатываемым отверстиям деталей, размещенных на загрузочной позиции, и с учетом располо-

жения боковой приставки этой коробки относительно грани станины приспособления. Предполагается, что окружность поворотной коробки делится на равные сектора для каждого из ее блоков шпинделей.

Предварительно для каждого шпинделя коробки на основе данных режимов обработки (усилия и частоты вращения шпинделя) определяется диаметр отверстия под шпиндель. Целью выбора расположения центра вращения коробки является минимизация радиуса коробки.

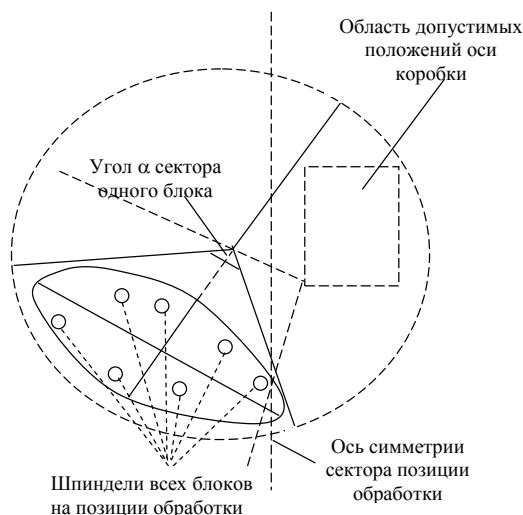


Рис. 8. Определение центра и радиуса поворотной шпиндельной коробки

Алгоритм оптимизации типоразмера литья поворотной шпиндельной коробки:

Шаг 1. Проверяются ограничения на минимальные расстояния между центрами шпинделей для каждой пары шпинделей каждого блока с использованием таблиц минимальных расстояний, учитывающих диаметры отверстий шпинделей. Если хотя бы для одной пары шпинделей одного блока нарушается такое ограничение, коробка является нереализуемой для заданной структуры технологического процесса. Конец.

Шаг 2. Иначе отыскивается эллипс с минимальной малой полуосью, включающий множество точек центров шпинделей всех блоков на позиции обработки в плоскости, перпендикулярной направлению обработки. Эллипс вписывается в сектор круга, расположение центра которого определяется минимальным расстоянием от центра до оси симметрии позиции обработки. Угол α сектора равен $360^\circ/n$, где n – число блоков шпинделей поворотной коробки. Малая полуось эллипса совпадает с осью симметрии сектора (см. рис. 8). Радиус этого круга определяет минимально возможный габаритный диаметр коробки.

Шаг 3. Для каждого шпинделя проверяется ограничение (с использованием соответствующей таблицы для различных диаметров отверстий под шпиндели) на минимальное расстояние между центром шпинделя и центром коробки. При нарушении этого ограничения для какого-либо шпинделя вычисляется необходимое увеличение радиуса круга для ликвидации невязки ограничения.

Шаг 4. Последовательно для каждой пары соседних блоков проверяются ограничения на минимальные расстояния между центрами каждой пары шпинделей из разных блоков. При любом нарушении ограничения вычисляется необходимое увеличение радиуса круга для ликвидации невязки ограничения. Ограничение проверяется однократно для каждой пары блоков и каждой пары шпинделей. После того как проверены все ограничения этого типа, предварительные значения координат центра и радиуса коробки найдены.

Шаг 5. Определяется угол поворота коробки вокруг ее оси, который позволяет минимизировать высоту прямоугольной части литья коробки, предназначенной для размещения центров шпинделей. Расчетный радиус коробки определяется как максимум среди шпинделей всех

блоков расстояния от центра коробки до границы литья ее прямоугольной части с учетом табличных значений расстояния между центрами шпинделей и краем литья коробки.

Шаг 6. Из таблицы типоразмеров поворотных коробок выбирается минимальный габаритный диаметр коробки, превышающий расчетный диаметр. Если расчетный диаметр превышает максимально допустимый габаритный диаметр, то коробка нереализуема. Конец.

Иначе переход к шагу 7.

Шаг 7. Проверяется реализуемость компоновочной схемы боковой приставки с выбранным типоразмером поворотной коробки. Подбирается револьверная бабка соответствующего типоразмера, силовой стол и боковая станина. Если боковая станина не выходит за границы грани центральной станины, то поворотная коробка построена. Конец.

Шаг 8. Иначе определяется прямоугольная область (см. рис. 8) допустимых для выбранного типоразмера коробки положений ее оси. Если область пуста, то коробка нереализуема для данного ТП. Конец.

Шаг 9. Иначе в области выбирается вершина сектора с углом α и наименьшим радиусом, включающим центры всех шпинделей. Переход к шагу 3.

Алгоритм является сходящимся, поскольку на каждой его итерации расчетный диаметр коробки возрастает.

Оптимизация типоразмеров (задача 1.3) унифицированного крестового стола (длины $L_{пл}$, ширины $B_{пл}$ и хода $l_{пл} = l_{л} + l_{п}$ платформы, длины $L_{кар}$, ширины $B_{кар}$ и хода $l_{кар}$ каретки) сводится к минимизации размера платформы стола, величин хода платформы и каретки стола при компактном размещении на ней заданного набора шпиндельных бабок заданных типоразмеров и заданных координат обрабатываемых отверстий и режимов их обработки инструментами (рис. 9). При этом должны выполняться ограничения на взаимное расположение крестового стола и центральной станины с учетом величин баз каждой бабки, размера грани центральной станины для крепления соответствующей боковой приставки, а также кожуха приспособления.

Алгоритм оптимизации типоразмера крестового стола:

Шаг 1. Бабки упорядочиваются по ширине платформы крестового стола слева направо в порядке возрастания величин разности между координатой арифметического среднего множества центров КТЭ по оси Ox на загрузочной позиции, обрабатываемых бабкой, и половиной ширины ее привалочной плоскости.

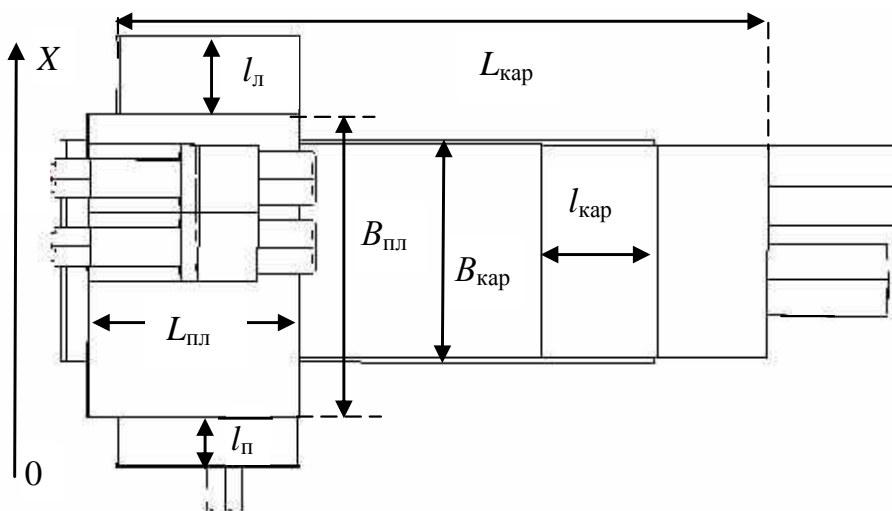


Рис. 9. Упрощенная 3D-модель крестового стола

Определяется расчетная ширина платформы стола как сумма величин ширины привалочных плоскостей бабок, размещенных на платформе.

Шаг 2. Определяются значения необходимых перемещений платформы вправо и влево. Расчетная величина хода платформы определяется как сумма этих значений.

Шаг 3. Определяется расчетная длина платформы как расстояние между максимальной координатой по оси ординат передних граней бабок и минимальной координатой среди задних граней бабок.

Шаг 4. Определяется расчетная длина хода каретки крестового стола как максимум величин длины съема инструментов всех бабок.

Шаг 5. С учетом максимальных усилий, величин мощности, крутящих моментов, диапазонов минутных подач бабок, а также расчетных значений ширины, длины и хода платформы, хода каретки выбирается наименьший типоразмер исполнения унифицированного крестового стола, удовлетворяющего этим условиям.

Шаг 6. Определяются координаты связанных с каждой бабкой начал систем координат в системе координат станка. Определяются координаты платформы, каретки и салазок крестового стола.

Шаг 7. Определяются координаты системы координат боковой станины крестового стола из условия совпадения ее координаты абсцисс с координатой абсцисс крестового стола.

Шаг 8. Проверяется условие расположения боковой станины крестового стола в пределах грани центральной станины. При нарушении этого условия проверяется возможность компенсации нарушения за счет разницы между номинальной величиной хода платформы и расчетной величиной ее хода. Если такая разница позволяет, координаты абсцисс платформы, каретки и стола изменяются на требуемую величину для удовлетворения условия. Конец.

В противном случае компоновка крестового стола нереализуема при заданных исходных данных.

Замечание. В подсистеме «Компоновка» причины нереализуемости компоновочного решения анализируются и выдаются рекомендации по исправлению ситуации. В частности, в числе таких рекомендаций могут быть изменение расположения деталей на загрузочной позиции и увеличение габарита центральной станины.

4. Алгоритм построения 3D-моделей компоновок АС в графической системе T-Flex

Как упоминалось ранее, в подсистеме «Компоновка» комплекса «Агрегат» формируются компоновки АС, а построение их 3D-моделей осуществляется на базе СГМ Mechanical Desktop. В процессе развития и дополнения функций программного комплекса выявилось, что данная система ограничивает эти возможности. Поэтому было принято решение заменить ее современной СГМ с более широкими функциональными возможностями, позволяющей при этом решать задачи построения 3D-моделей компоновок АС с наименьшими временными затратами.

Компоновка агрегатного станка в терминологии СГМ является сборочной моделью, или сборкой. Под сборочной 3D-моделью понимается модель, состоящая из других 3D-моделей, хранящихся в отдельных файлах. Новая СГМ должна отвечать следующим требованиям:

- обладать широкими возможностями параметризации;
- хранить геометрию всех моделей узлов станка в файле сборки;
- иметь возможность создания приложений для этой системы.

Не все существующие в настоящее время на рынке СГМ с трехмерной графикой отвечают перечисленным выше требованиям. Анализ возможностей ряда СГМ [22] позволил выбрать систему T-Flex [23], обладающую следующими преимуществами:

– вся информация по проекту (3D-модель, чертеж, база данных, спецификация, интерфейс для управления параметрами модели) хранится в одном файле, что обеспечивает ассоциативность и целостность данных;

– имеются возможности параметризации любых численных или текстовых значений, цветов, слоев, видимости, материалов, состава сборок и т. д., причем между самими параметрами можно задавать разнообразные связи;

– из сборочной модели можно получить геометрические характеристики составляющих ее 3D-моделей, в то время как другие СГМ зачастую хранят только ссылки на содержащие их файлы; также эта особенность дает возможность вставлять в сборочную модель одинаковые 3D-модели, хранящиеся в одном файле, с разными значениями параметров.

Для построения 3D-модели компоновки АС в СГМ T-Flex необходимо сформировать базу параметрических 3D-моделей всех узлов, которые могут входить в состав АС. С одной стороны, эти модели должны быть достаточно детализированы, чтобы отражать основные компоновочные характеристики, а с другой стороны, не должны требовать значительных затрат вычислительных ресурсов на их построение. С учетом данных требований были построены упрощенные 3D-модели узлов (рис. 10). Все размеры в этих моделях являются параметризованными, что позволяет при вставке в сборочную модель изменить их в соответствии с входными данными.

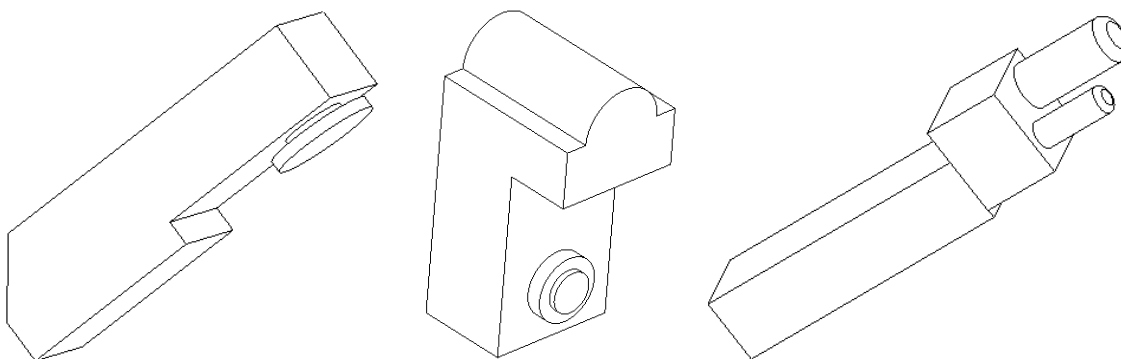


Рис. 10. Примеры упрощенных 3D-моделей узлов станка

После создания базы 3D-моделей узлов АС был разработан алгоритм построения 3D-модели компоновки агрегатного станка с учетом особенностей системы T-Flex. Входными данными для данного алгоритма являются состав оборудования и его основные характеристики:

- наименования узлов АС;
- их геометрические параметры;
- координаты позиционирования начал локальных систем координат (ЛСК) этих узлов относительно глобальной системы координат (ГСК) станка;
- углы поворота ЛСК узлов относительно ГСК станка.

Эти данные формируются в подсистеме «Компоновка» и записываются в файл, который можно использовать отдельно от системы.

Алгоритм

Шаг 1. В среде T-Flex создается новый документ для построения модели компоновки АС.

Шаг 2. Считывается файл с входными данными, полученный из подсистемы «Компоновка».

Шаг 3. Для каждого узла из этого файла выполняется следующая последовательность действий:

Шаг 3.1. В документе создается локальная система координат (ЛСК), начало координат и направления осей которой соответствуют данным, полученным из файла.

Шаг 3.2. В документ вставляется модель узла, и ее ЛСК совмещается с ранее созданной ЛСК.

Шаг 3.3. Задаются параметры вставленной модели узла в соответствии с данными, полученными из входного файла.

После завершения работы алгоритма на экран выводится 3D-модель агрегатного станка, состоящая из его основных узлов, список которых отображается в дереве построения модели в левой части экрана (рис. 11).

Приведенный алгоритм реализован на языке программирования C# и скомпонован в динамическую библиотеку DLL, которую можно подключить к T-Flex. При этом у проектировщика остается возможность использовать функции самой системы.

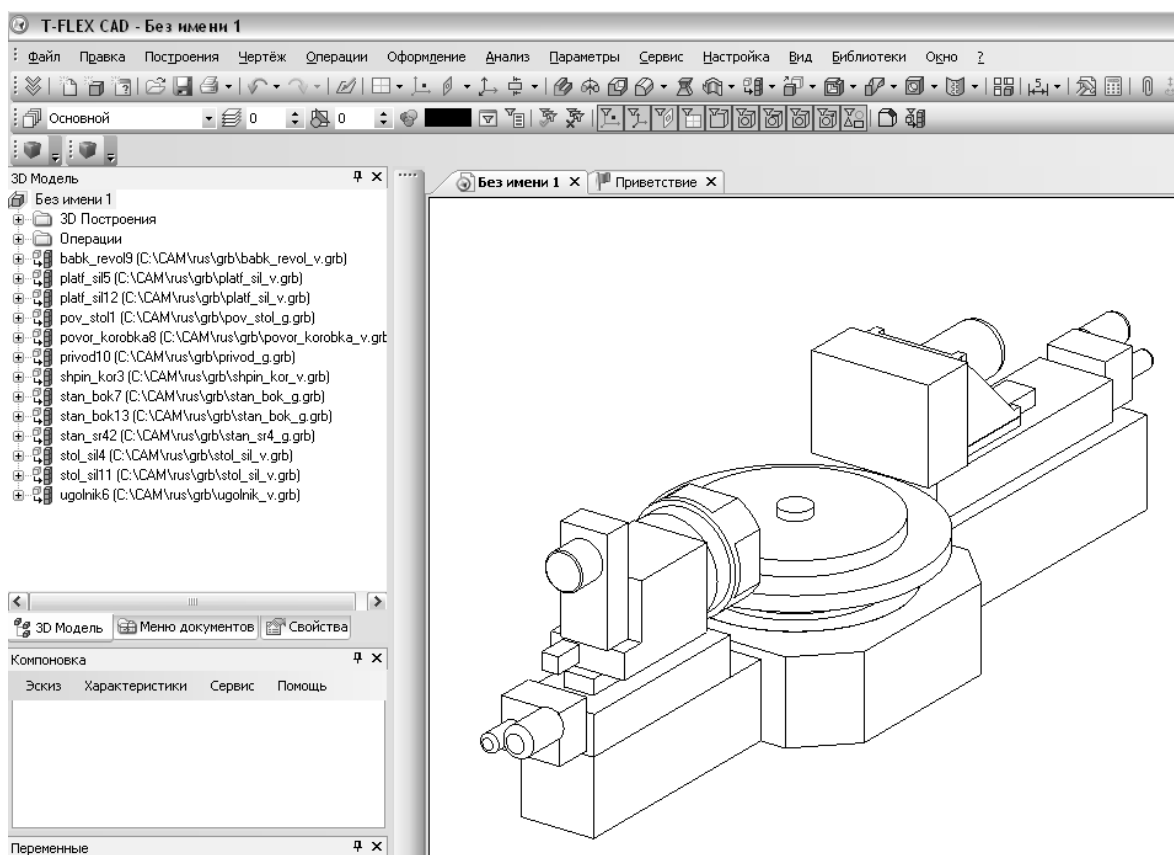


Рис. 11. 3D-модель компоновки АС в среде T-Flex

Заключение

В работе сформулированы некоторые задачи выбора оптимальных типоразмеров узлов и агрегатного станка в целом для групповой обработки деталей при заданных структуре и параметрах группового технологического процесса, а также заданной структурной схеме его компоновки. Задачи условно разделены на два типа:

- выбора оптимальных типоразмеров узлов за счет более компактного взаимного размещения компонентов узла;

- оптимизации типоразмеров путем выбора размещения деталей на приспособлении.

Описаны реализованные в рамках подсистемы «Компоновка» методика формирования компоновок агрегатных металлорежущих станков для групповой обработки деталей и алгоритмы решения некоторых задач первого типа оптимизации типоразмеров узлов. Приведен также алгоритм формирования 3D-моделей агрегатных станков в среде T-Flex.

Задачи выбора оптимальных типоразмеров узлов и АС в целом путем оптимизации размещения деталей на приспособлении являются сложными в вычислительном отношении. В дальнейшем планируется разработать комплекс методов и программных средств их решения с использованием декомпозиционных подходов, точных методов, эвристических приемов и диалоговых процедур. Такие средства позволят существенно облегчить проектировщику формирование компоновок агрегатных станков для групповой обработки.

Работа была выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф12ФП-001).

Список литературы

1. Меламед, Г.И. Агрегатные станки / Г.И. Меламед, В.Д. Цветков, Д.С. Айзман. – М. : Машгиз, 1964. – 423 с.

2. Бойцов, В.В. Агрегатные станки и автоматические линии из нормализованных элементов / В.В. Бойцов, В.В. Кузьмин, Ч.Г. Найдов. – М., 1962. – 141 с.
3. Дашенко, А.Н. Проектирование, расчет и исследование основных узлов автоматических линий и агрегатных станков / А.Н. Дашенко, Е.Г. Нахапетян. – М. : Наука, 1964. – 237 с.
4. Гебель, Х. Компоновка агрегатных станков и автоматических линий / Х. Гебель. – М. : Машгиз, 1959. – 189 с.
5. Гусарев, В.С. Новые схемы агрегатных станков для серийного производства / В.С. Гусарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 1962. – № 3. – С. 10–18.
6. Горанский, Г.К. Алгоритмизация проектирования типовых компоновок агрегатных станков / Г.К. Горанский, Г.М. Левин, Г.И. Цфасман // Вычислительная техника в машиностроении. – 1967. – Июль. – С. 109 – 121.
7. Горанский, Г.К. Алгоритмизация проектирования компоновочной схемы агрегатного станка с возвратно-поступательным перемещением обрабатываемой детали / Г.К. Горанский, Г.М. Левин, Г.И. Цфасман // Вычислительная техника в машиностроении. – 1967. – Октябрь. – С. 35–41.
8. Феофанов, А.Н. Гибкие автоматические линии в машиностроении / А.Н. Феофанов. – М. : Янус-К, 2002. – 192 с.
9. Технологія автоматизованого машинобудування : підручник / О.В. Якимов [та ін.]. – Одесса : ОНПУ, 2005. – 410 с.
10. Хомяков, В.С. Автоматизированное проектирование компоновок металлообрабатывающих станков / В.С. Хомяков, И.И. Давыдов // Станки и инструмент. – 1990. – № 5. – С. 4–7.
11. Клепиков, С.И. Автоматизация проектирования компоновок металлорежущих станков / С.И. Клепиков, А.Г. Ивахненко, Д.В. Картелев // Станки и инструмент. – 2002. – № 7. – С. 3–4.
12. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: основы компонетики / Ю.Д. Врагов. – М. : Машиностроение, 1978. – 208 с.
13. Аверьянов, О.И. Автоматизированное проектирование компоновок многооперационных станков / О.И. Аверьянов, А.Л. Воронов, Я.М. Гельштейн // Станки и инструмент. – 1982. – № 8. – С. 6–7.
14. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.
15. Комплекс алгоритмов и программных средств формирования компоновок агрегатных металлорежущих станков / Г.М. Левин [и др.]. – Минск, 2005. – 50 с. – (Препринт / ОИПИ НАН Беларуси; № 4).
16. Автоматизация проектирования агрегатных металлорежущих станков : учеб. пособие / Г.М. Левин [и др.]. – Витебск : ВГТУ, 2008. – 122 с.
17. MIP Approach to Design of Rotary Transfer Machines with Turrets / O. Battaia [et al.]. – Saint Etienne, 2013. – 35 p.
18. Халдей, М.Б. Автоматизация синтеза и оценки компоновок станков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / М.Б. Халдей ; Моск. гос. технол. ун-т. – М., 1996. – 21 с.
19. Хомяков, В.С. Информационная система синтеза компоновок станков / В.С. Хомяков, М.Б. Халдей // Конструкторско-технологическая информатика (КТИ-96) : тр. Междунар. конгресса. – М., 1996 – С. 150–151.
20. Ещенко, Р.А. Повышение эффективности концептуального проектирования металлорежущих станков на основе графического синтеза формообразующих систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Р.А. Ещенко ; Хабар. гос. техн. ун-т. – Комсомольск-на-Амуре, 2001. – 19 с.
21. Mechanical Desktop 6: краткий визуальный курс / К. Стичкомб [и др.] ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 266 с.
22. Большаков, В.П. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex : учебный курс / В.П. Большаков, А.Л. Бочков, А.А. Сергеев. – СПб. : Питер, 2011. – 328 с.

23. Бунаков, П.Ю. Сквозное проектирование в T-Flex : учебное пособие для высших учебных заведений / П. Ю. Бунаков. – М. : ДМК Пресс, 2009. – 394 с.

Поступила 03.10.2014

*Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: rozin@newman.bas-net.by
victoria.zdanovich@gmail.com*

B.M. Rozin, V.E. Zdanovich

**TO THE SYNTHESIS OF A LAYOUT OF MACHINE TOOL
FOR BATCH PROCESSING**

The problems of choosing the optimal standard size of the basic units and assembly components of machine tools for batch processing of parts are considered. The algorithms for solving some of these problems by optimizing of mutual disposition of unit elements are proposed. The algorithm for constructing 3D-models of machine tool layout elements in the graphics system T-Flex is proposed. The structure and method for implementation of the software for construction and estimation of the machine tool layouts for batch processing are given.