

Эффективное проектирование средств технологического оснащения при автоматизированной подготовке машиностроительного производства

Спирин Д.В., Аркатова Н.А.
МГТУ «Станкин», МГТУ «МАМИ»

При сложившейся на рынке конкуренции в борьбе за потребителя современному машиностроительному предприятию часто приходится менять номенклатуру выпускаемой продукции и повышать эффективность производственных процессов. Это, в свою очередь, требует постоянного контроля изделия на всех стадиях его жизненного цикла, начиная со стадии формирования требований к продукции и заканчивая утилизацией. Для стабильного экономического роста производителю необходимо постоянно решать две задачи, требующие совмещения усилий маркетинговых, конструкторских, производственных, научно-исследовательских отделов:

- 1) непрерывное улучшение качества выпускаемой продукции;
- 2) снижения затрат на изготовление и послепродажное сопровождение этой продукции.

Эти две проблемы тесно связаны между собой. Если помимо качества учитывать еще и показатели надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности), то становится ясно, что с увеличением надежности затраты на создание и изготовление изделия возрастают, а затраты на послепродажное сопровождение (эксплуатация, техническое обслуживание, ремонты) убывают. Проблема, следовательно, состоит в том, чтобы экономия превосходила рост затрат. Это и будет способствовать как повышению качества, так и сокращению стоимости объекта производства.

В настоящее время широко развивается идеология информационной поддержки жизненного цикла изделия (ЖЦИ) на основе CALS-концепции. Информационные технологии CALS призваны способствовать решению (с большей эффективностью и с меньшими издержками) ряда конкретных задач, порождаемых указанными выше проблемами. К числу таких задач, в первую очередь, относятся:

1. Накопление, хранение и систематическое обновление данных об изделии, включающих:
 - информацию о составе и структуре изделия, т.е. о его компонентах и их входимости (иерархической соподчиненности);
 - о характеристиках изделия и его компонентов (например, габариты, масса, показатели надежности и т.д.);
 - ссылки на техническую документацию, описывающую изделие (в частности - в виде электронных чертежей, 3D-моделей и т.д.) и хранящуюся в электронном архиве.
2. Согласование, утверждение и систематическое отслеживание выполнения требований к изделию и его компонентам на всех стадиях ЖЦ (разработка, изготовление, эксплуатация, модернизация).
3. Параллельная разработка конструкции изделия и системы его эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР), в том числе:
 - обеспечение надежности (безотказности, долговечности) изделия как конструктивными, так и эксплуатационными средствами;
 - обеспечение ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности посредством анализа как вновь создаваемого изделия, так и его прототипов;
 - формирование регламентов и технологических операций технического обслуживания, обеспечивающих существенное сокращение длительности этих процедур;
 - определение рациональной периодичности планово-профилактических работ (в единицах календарного времени или наработки), оценка продолжительности и стоимости выполнения соответствующих технологических процессов; анализ и реализация возможностей сокращения продолжительности и стоимости техпроцессов;

- определение рациональной номенклатуры и количества запасных частей, расходных материалов и принадлежностей (ЗИП), которые следует поставлять вместе с изделием, приобретать и хранить на складах.
4. Мониторинг хода эксплуатации, позволяющий накапливать и анализировать фактические данные о надежности, расходовании ресурсов всех видов (трудовых, материальных, финансовых и др.), эффективности применения и т.д., с целью последующего использования этих данных при модернизации существующих и проектировании новых образцов.
 5. Электронная технология создания эксплуатационной и ремонтной документации на изделие, обеспечивающая:
 - создание базы готовых фрагментов (модулей) документации, предназначенных для многократного использования при создании модификаций и исполнений базового изделия, что обеспечивает значительное сокращение затрат;
 - возможность с минимальными затратами поддерживать актуальное состояние документации при изменениях конструкции изделия в ходе его модернизации в течение ЖЦ;
 - многократное сокращение физических объемов документации при ее издании в электронном виде;
 - резкое (на порядки) сокращение затрат времени на поиск нужной информации в процессе ТОиР, а также при возникновении нестандартных ситуаций, при издании документации в электронном виде.
 6. Стандартизация процессов и технологий управления и информационного взаимодействия всех участников ЖЦ на всех его стадиях, обеспечивающая единообразие действий и понимания данных всеми участниками ЖЦ, а также возможность многократного использования однажды созданных данных, что существенно снижает затраты на информационную поддержку процессов ЖЦ.

Повышению конкурентоспособности изделий машиностроения на основе моделирования их жизненного цикла посвящено большое количество работ Ю.М. Соломенцова, В.Г. Митрофанова, В.В. Павлова, А.С. Шептунова, Г.Д. Волковой, А.В. Рыбакова, А.Ф. Колчина, Н.М. Султан Заде, Л.М. Червякова, А.А. Кутина и других авторов. Существующие работы, связанные с исследованием ЖЦИ, можно разделить на три направления. В первом направлении развиваются общие закономерности и методология проектирования ЖЦИ. В рамках данного направления реализация CALS технологий предполагает организацию единого информационного пространства (Интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия. В единый процесс может вовлекаться множество проектных организаций и машиностроительных предприятий с удаленным доступом к информации, прямой передачей информации от компьютера к машиностроительному оборудованию и т.д.

Во втором направлении рассматриваются в основном работы, связанные с информационной поддержкой на основе стандартов, информационных платформ и программного обеспечения. Здесь решаются вопросы об эффективной работе с совокупностью распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла изделия. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Работы третьего направления посвящены конкретной реализации методологии ЖЦИ и ее информационного обеспечения.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автомати-

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

зированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС.

Выпуск нового изделия означает, что предприятию придется выполнить ряд проектных работ как самого изделия, так и технологического процесса, связанного с выпуском новой единицы продукции. Подготовка к производству нового изделия может занимать довольно продолжительный срок, в течение которого предприятие ничего не зарабатывает, а только тратит. Это ведет к увеличению себестоимости конечной продукции и очень часто вынуждает предприятие отказаться от выпуска такого изделия по причине существования на рынке предложения с более низкой ценой.

Еще М.А. Ансеровым [3] было замечено, что одним из важнейших показателей себестоимости продукции является время, затраченное на проектирование изделия, технологического процесса и необходимой технологической оснастки. Процесс проектирования нового изделия начинается с предпроектных исследований, при которых определяются цели проекта, задачи и условия выполнения проекта. Содержание этого этапа изложено в документе, который называется техническим заданием (ТЗ). Далее уточняются и прорабатываются начальные технические условия, в результате которых разрабатывается техническое предложение (ТПр). Далее разрабатывается эскизный (ЭП), технический (ТП) и рабочий (РП) проекты, с разработкой всей технической и конструкторско-технологической документации.

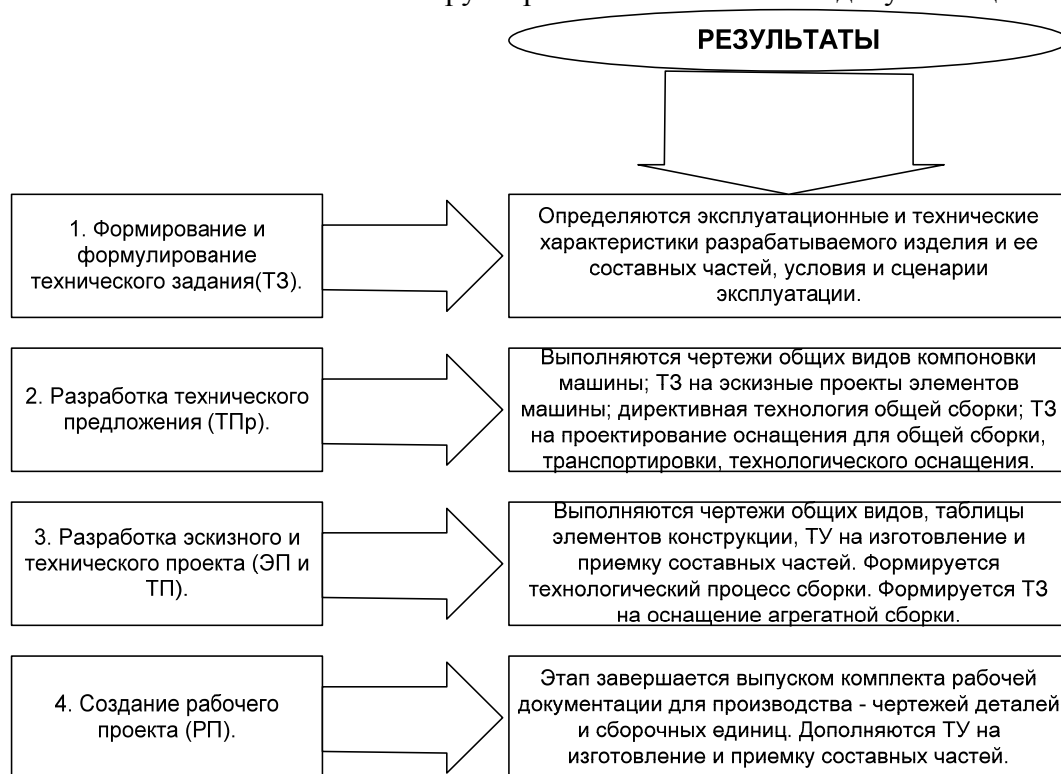


Рис. 1. Этапы проектирования и технологической подготовки производства и их результаты

Каждый из этапов состоит из подопераций, которым можно задать временной предел их выполнения (норму времени). Исключением в этой цепочке будет время, необходимое для создания новой технологической оснастки. Причиной появления такого исключения является тот факт, что проектирование нового изделия – это творческий вид деятельности, в результате которого инженеру необходимо учесть большое количество требований и условий и создать оптимальную конструкцию. Если же необходимо спроектировать не одно, а несколько новых приспособлений, то в этом случае время может многократно возрасти, что

неизбежно вызовет увеличение себестоимости конечной продукции.

$$T_{\text{проект.}} = T_{TЗ} + T_{ТПр} + T_{ЭПуТП} + T_{РП};$$

$$T_{TЗ} = t_1^{TЗ} + t_2^{TЗ} + \dots + t_n^{TЗ};$$

$$T_{ТПр} = t_1^{ТПр} + t_2^{ТПр} + \dots + t_m^{ТПр};$$

$$T_{ЭПуТП} = t_1^{ЭПуТП} + t_2^{ЭПуТП} + \dots + t_m^{ЭПуТП} + t_{\text{пр.тех.осн.}};$$

$$T_{РП} = t_1^{РП} + t_2^{РП} + \dots + t_m^{РП}.$$

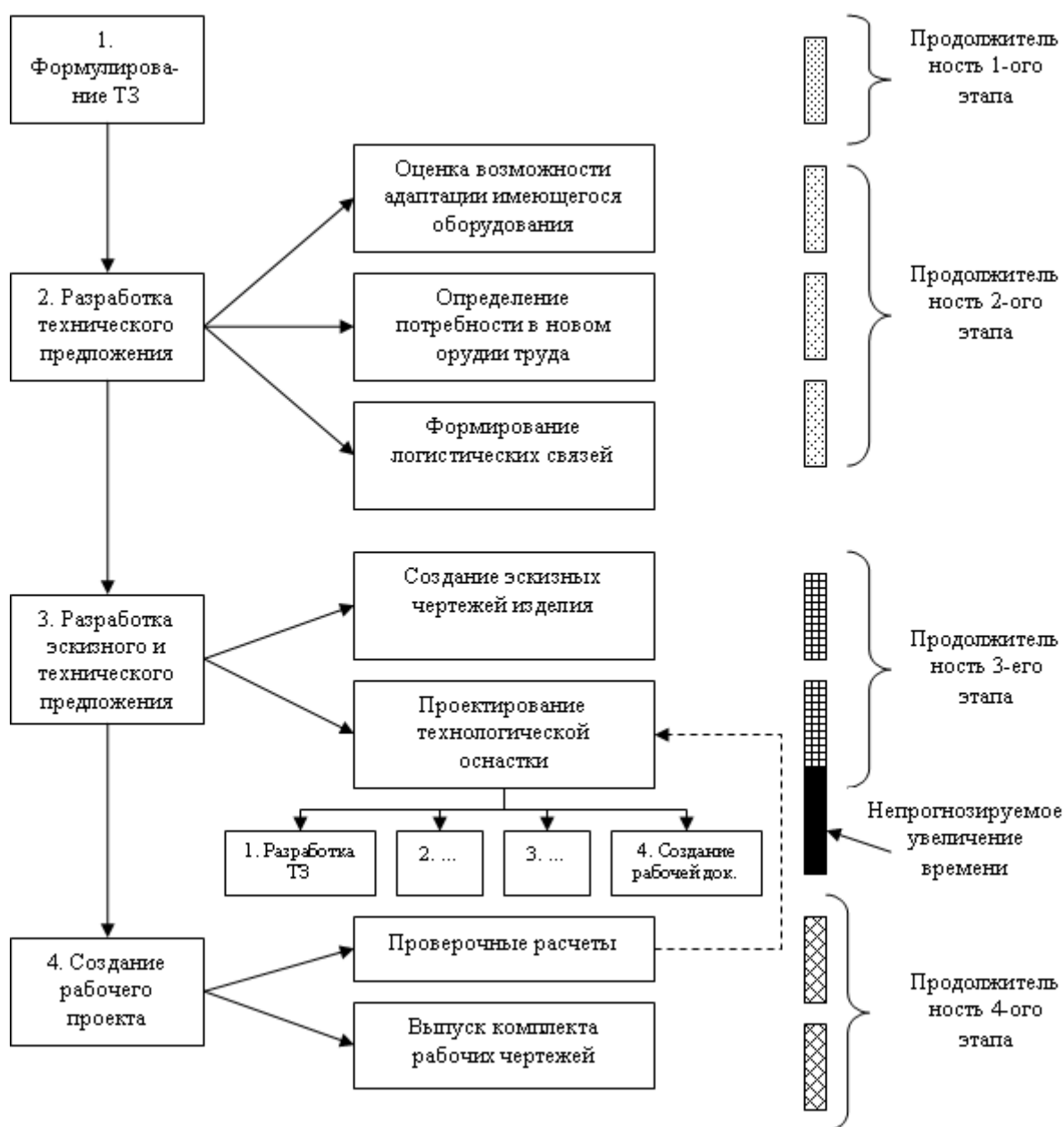


Рис. 2. Проектирование технологического процесса по выпуску новой единицы продукции

Проектирования нового приспособления зависит от многих факторов, в том числе и от

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

средств и методов, позволяющих автоматизировать этот процесс. В случае отсутствия САПР или неоптимального ее использования после проведения проверочных расчетов может потребоваться перепроектирование приспособления, что вызовет большие временные задержки. Отсюда вытекает следующая дилемма: с одной стороны предприятие жестко ограничено во времени проектирования технологического процесса, а с другой стороны процесс проектирование необходимой техоснастки может занять достаточно продолжительный период.

Таким образом, сокращать издержки на производство нового изделия при сохранении высокого качества можно за счет: а) сокращения времени, затрачиваемого на проектирование; б) удешевления технологического процесса. Первая цель достигается путем внедрения и использования новых методов проектирования. Достижение второй цели ставит перед инженерами две задачи: 1) проектирование технологического процесса и техоснастки на основе имеющегося оборудования; 2) закупка новых орудий труда специально для выпуска именно этой единицы продукции. Покупка нового оборудования не является лучшим выходом, поскольку вынуждает предприятие резко поднимать стоимость конечной продукции. В этом случае в стоимость закладывается и срок окупаемости новых машин, и амортизационные расходы, и стоимость обслуживания, и ряд других экономических критериев. Поэтому инженеры должны стремиться к адаптации нового технологического процесса к уже имеющимся станкам и машинам, что представляется более эффективным. Адаптация приводит к тому, что на одном станке выполняется большое количество технологических операций, которые могут быть не свойственны данному оборудованию (например, операции фрезерования для токарных станков). Такой подход к универсализации использования уже имеющихся машин обязывает инженеров проектировать новую технологическую оснастку - специальные приспособления, расширяющие технологические возможности станков.

Основными задачами, стоящими перед специальными приспособлениями, являются обеспечение жесткости, виброустойчивости, износостойкости, прочности, высокой точности, хорошей зажимной способности, возможности переналадки. Сегодня проектирование таких приспособлений сводится к тому, что в конструкцию типовых приспособлений вносятся изменения, необходимые и достаточные для адаптации к новому изделию. Получившаяся оснастка позволяет частично решить указанные задачи. Однако их конструкция не будет оптимальной, поскольку до сих пор не сформулирована и не описана методика проектирования специальных приспособлений. Вследствие чего инженеру-проектировщику проще взять за основу стандартизованную конструкцию и доработать ее для решения своей задачи, поступившись многими параметрами, указанными ранее. Такие приспособления могут обладать хорошей точностью и жесткостью, но имеют большую массу и полную невозможность переналадки на другие размеры детали. Также недостатки такой «грубой» адаптации проявляются при проектировании технологической оснастки с большим числом требований. Отсутствие методики проектирования не позволяет инженеру создать конструкцию приспособления, которая учитывала бы десятки параметров и условий, предъявляемых к ней.

Поэтому предлагается декомпозированную структуру приспособления представить в виде множества поверхностей, взаимодействующих друг с другом - базирующие, рабочие и связывающие. Таким образом, в зависимости от уровня декомпозиции приспособление можно представить в виде множества узлов, подуровней, деталей:

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, n \in Z,$$

где n – количество узлов, подуровней, деталей.

Узлы (детали) связаны друг с другом в последовательности определенной проектировщиком образуют множество пар: $P = \{d_1d_4, d_1d_7, d_2d_6, \dots, d_nd_n\}, n \in Z$

Данные два множества однозначно определяют неориентированный граф: $G_{\text{приспос.}} = (D, P)$.

В свою очередь каждый элемент из D можно представить в виде совокупности трех

множеств – множество базирующих (B), рабочих (R) и связывающих (S) поверхностей:

$$d_n = \{B, R, S\}$$

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_l\}, l \in Z, \text{ где } l - \text{ количество базирующих поверхностей};$$

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}, k \in Z, \text{ где } k - \text{ количество рабочих поверхностей};$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_t\}, t \in Z, \text{ где } t - \text{ количество связывающих поверхностей};$$

Принимая во внимание изложенное выше, представим множество всех узлов (деталей) приспособления в следующем виде:

$$\begin{aligned} D &= \{d_1, d_2, \dots, d_n\} = \{\{B_1, R_1, S_1\}, \{B_2, R_2, S_2\}, \dots, \{B_n, R_n, S_n\}\} = \\ &= \{b_1 \cup b_2 \cup \dots \cup b_l, r_1 \cup r_2 \cup \dots \cup r_k, s_1 \cup s_2 \cup \dots \cup s_t\}. \end{aligned}$$

Объединив поверхности различных типов, образуется "модуль поверхностей" - комплект или сочетание поверхностей, объединенных совместным выполнением законченных функций объекта.

Изделие машиностроения может представлять собой достаточно сложную техническую систему. Для достоверного ее описания и моделирования недостаточно только количественных характеристик, важны свойства объектов, их состояния, типы связей между ними. Для содержательного моделирования таких систем необходимы средства формализованного представления свойств системы и ее элементов. Такими средствами обладает математический аппарат теории полихроматических множеств. При представлении структуры технической системы полихроматическими множествами и полихроматическими графами оказывается возможным формализованное описание состояния и поведения моделируемой системы через описание состава и изменений свойств элементов самой системы в процессе ее функционирования под воздействием внешней среды.

В отличие от обычного множества, в полихроматическом множестве представляются не только составы абстрактных элементов, но и составы свойств множества и его элементов. В теории полихроматических множеств любое свойство самого множества в целом и любое свойство каждого элемента этого множества называется цветом. При этом различным свойствам соответствуют различные цвета.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, n \in Z,$$

$$F(d_1) = \{F_1, F_2, \dots, F_i\}, i \in Z.$$

Элемент множества D обладает свойствами (цветами) F_1, F_2, \dots, F_i , а само множество D включает в себя множество цветов:

$$F(D) = \{F_1, F_2, \dots, F_j\}, j \in Z.$$

Предполагается, что существует полихроматический универсум, включающий в себя все элементы, которые могут быть окрашены в разные цвета, причем один и тот же элемент может иметь одновременно несколько различных цветов. Это позволяет любые объекты, обладающие разнообразными свойствами, представлять элементами универсума. На практике универсум реализуется в виде базы данных, включающей описание всех возможных элементов рассматриваемой системы, и всех свойств этих элементов.

Объединение модульного подхода и теории полихроматических множеств позволяет получить наиболее полное представление о технической системе, что позволяет:

- анализировать поверхности с позиции удобства их обработки и сведения к минимуму их разнообразия;

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

- оценивать общую технологичность изделия;
- решать оптимизационные задачи еще на стадии проектирования;
- моделировать с высокой степенью достоверности структурные взаимодействия между элементами системы.

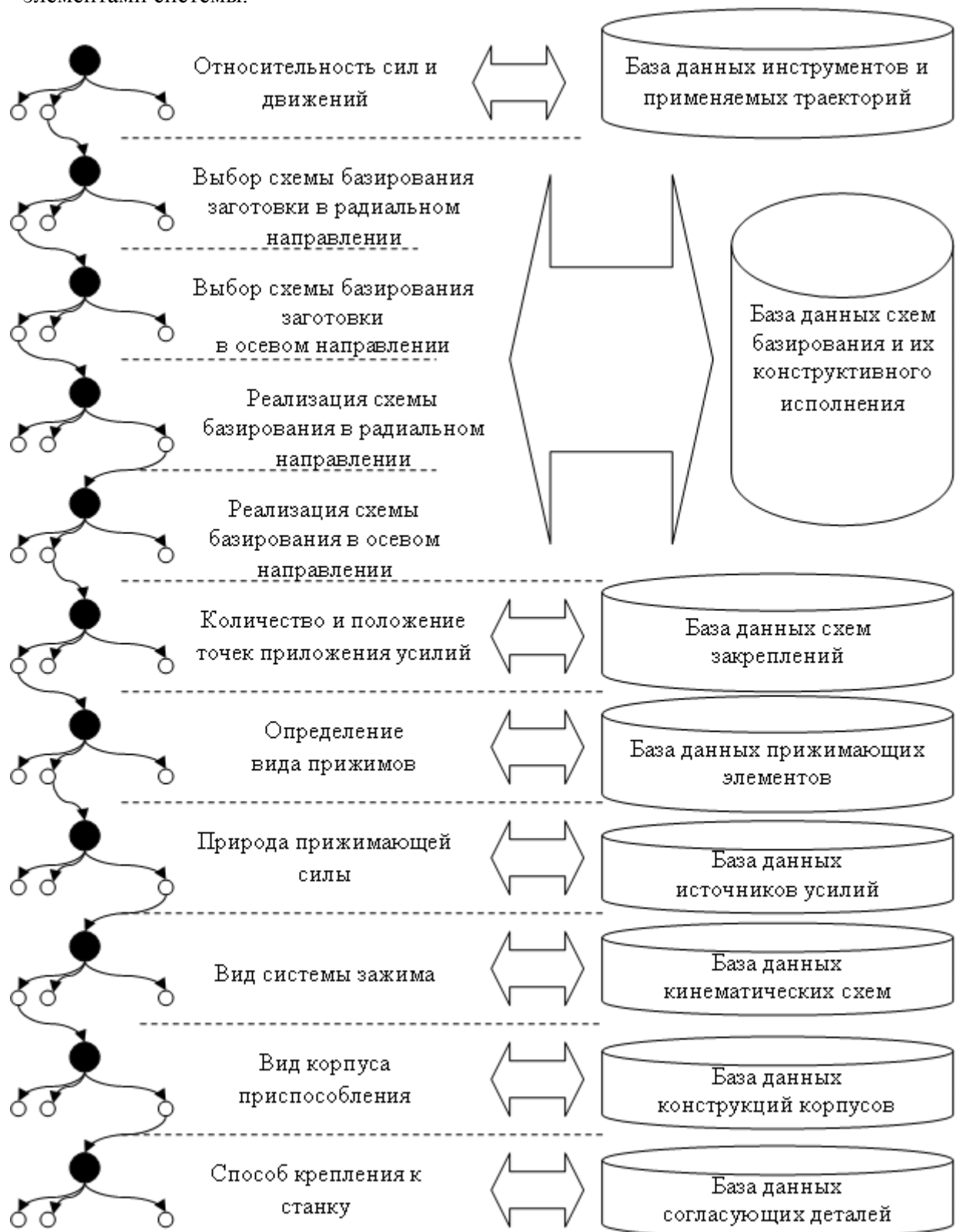


Рис. 3. Массивы данных на разных этапах проектирования

Описанный математический аппарат хорошо интегрируется с методологией интерактивного проектирования, согласно которому конструкция приспособления декомпозируется на функциональные блоки:

1. относительность сил и движений;
2. правильная установка заготовки в радиальном и осевом направлениях;
3. правильное расположение инструмента по отношению к заготовке;
4. силы зажима;
5. зажимные системы приспособления;
6. способ закрепления приспособления на шпинделе станка;
7. способ закрепления заготовки в приспособлении;
8. форма корпуса.

Каждому функциональному блоку соответствует свой объем данных, обладающий соответствующей степенью детализации. Конкретизация вышестоящего блока и, как результат, выбранный вариант реализации служит основой для последующего блока. Алгоритм реализации такого подхода показан на рисунке ниже.

Данный алгоритм достаточно просто реализуется в САПР (например, в T-Flex) в виде взаимодействия библиотечных элементов (деталей). Применение данного подхода позволяет совместить противоречивые временные требования.

Литература

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
2. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. - М.: Анахарсис, 2002.
3. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1975.
4. Базров Б. М. Совершенствование производства деталей на основе модульной технологии. - М.:Информприбор, 1989.
5. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Павлов В.В., Рыбаков А.В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии. - М.: Наука, 2003.

Новый способ объемной центробежно-планетарной обработки деталей

д.т.н. проф. Зверовщиков В.З., Зотов Е.В.

Пензенский государственный университет

Для повышения качественных характеристик поверхности, удаления заусенцев и скругления острых кромок эффективной является обработка в контейнерах с планетарным вращением [1], в которых рабочая загрузка совершает сложное пространственное движение.

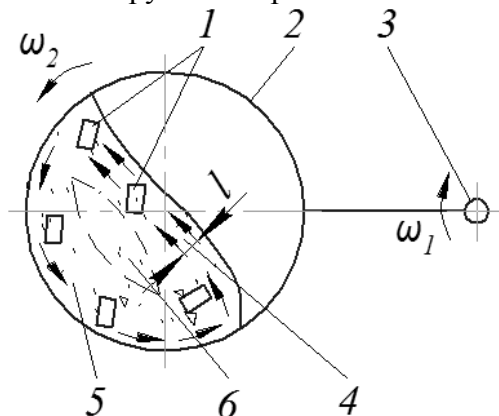


Рис. 1. Схема центробежной обработки деталей в контейнерах с планетарным вращением

При центробежной обработке в контейнерах с планетарным вращением (рис. 1) обраба-