

УДК 658.512:621.9

Д.Н. Свирский¹, А.Л. Климентьев²

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПАКТНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассматриваются общие принципы формализации выбора технологического метода в компактном производстве машиностроительной продукции. Приводятся методология и структура программно-алгоритмического обеспечения решения этой задачи. Описывается программная реализация выбора технологического метода на базе оригинального программного продукта.

Введение

Эффективность широкопрофильного ресурсосберегающего (т. е. компактного [1]) производства на машиностроительном предприятии во многом предопределяется комплексностью автоматизации всех его стадий [2]. Типичным решением для сквозной автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства является использование различных систем автоматизации проектирования и подготовки производства. Наиболее рациональным представляется сочетание системы автоматизированного проектирования изделий и системы автоматизированного проектирования технологических процессов их изготовления, объединенных общей системой управления данными об изделии в рамках единого информационного пространства предприятия.

1. Постановка задачи

Независимо от степени детализации описания технологического процесса при его проектировании неизбежно принимаются решения по применяемым технологическим методам на каждой из стадий изготовления изделия. Выбор того либо иного метода зачастую по-прежнему осуществляется непосредственно проектантом на основании личного опыта, технологических возможностей имеющегося на предприятии оборудования и некоторых субъективных предпочтений. Вместе с этим развитие контрактного производства, когда часть процесса изготовления изделия осуществляется предприятиями-партнерами, а также необходимость повышения эффективности этого производства предопределяют необходимость формализации (и эффективной автоматизации) выбора технологических методов при технологической подготовке производства (ТПП) изделий.

При совершенствовании, модернизации и частичной реконструкции производственной системы действующего предприятия традиционно применяется проектирование технологических процессов «по аналогу» с использованием конструкторско-технологической преемственности и с учетом производственных возможностей, а также устоявшихся производственных связей. Для создания нового производства перспективной машиностроительной продукции, организованного в соответствии с компактным подходом, целесообразно использовать весь потенциал современных методов формообразования. Это возможно при отсутствии «диктата» производственных условий конкретного предприятия.

Таким образом, автоматизация выбора технологического метода (ТМ) в компактном машиностроительном производстве требует решения следующих задач:

- 1) создания формальной методики ранжирования ТМ по эффективности;
- 2) разработки необходимой справочно-информационной базы, обеспечивающей реализацию автоматизированного выбора ТМ;
- 3) разработки прототипа системы, реализующей автоматизированный выбор ТМ при технологической подготовке машиностроительного производства.

2. Принятая методология

Выбор ТМ и принципиальной схемы технологического процесса (ТП) изготовления конкретной детали основан на требовании обеспечения ее заданного качества, которое характеризуется установленными показателями и обуславливается определенной совокупностью свойств.

Оценка свойств деталей проводится путем определения конкретных значений показателей, характеризующих эти свойства. При этом ряд параметров имеет количественную оценку, а некоторые показатели – только качественную. Заданная совокупность свойств детали, определяемая ее функциональным назначением, обеспечивается рядом факторов, таких, как применяемый материал, геометрическая форма и пр. Указанные факторы в сопоставлении с технологическими возможностями различных ТМ являются основным средством формализации выбора ТМ.

Таким образом, формализация выбора ТМ опирается на следующую схему: изделие/деталь → его/ее функции → свойства, обеспечивающие выполнение функций, → показатели, характеризующие свойства изделия/детали, → факторы выбора методов → технологические возможности методов → технологический метод. Полная реализация этой схемы характерна для сквозного (интегрированного) процесса автоматизированного конструирования изделия и автоматизированной системы ТПП (АСТПП). При решении задач только ТПП может использоваться сокращенный вариант указанной схемы: изделие/деталь → показатели → факторы выбора методов → технологические возможности методов → технологический метод.

В качестве факторов выбора методов выступают определенные показатели, которые могут быть разделены на три группы (рис. 1):

- определяющие принципиальную применимость метода;
- ограничивающие применимость метода по достижимым значениям показателей качества и некоторым другим признакам;
- дополняющие и характеризующие эффективность применения метода.

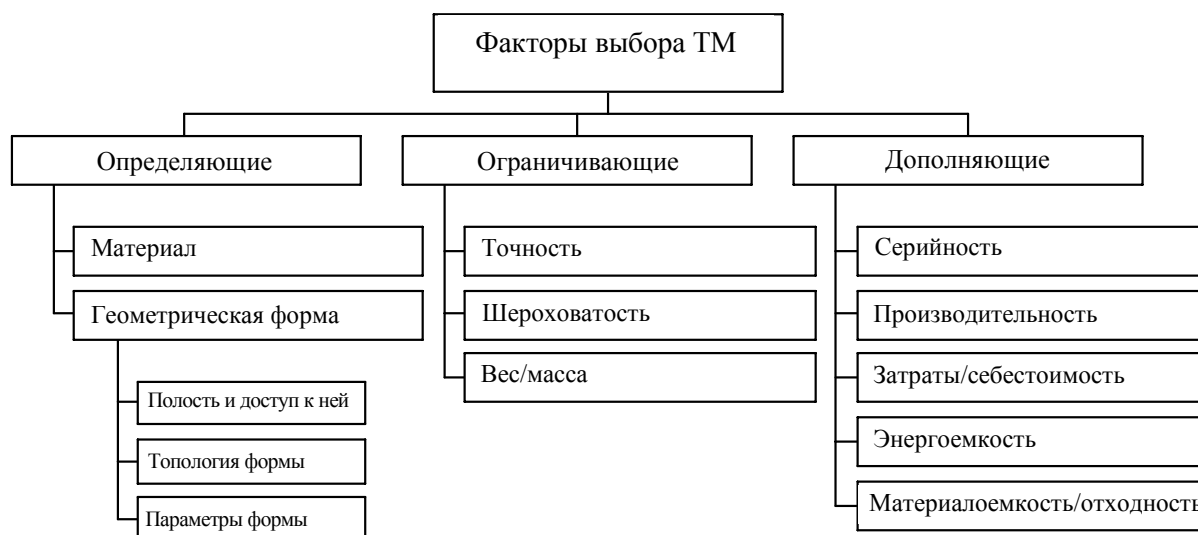


Рис. 1. Факторы выбора ТМ

В процессе определения факторов выбора ТМ ряд показателей может быть использован в своем естественном виде, а другие должны быть подвергнуты предварительной квантификации, позволяющей сформировать квалификационные группы с близкими технологическими характеристиками. Взаимосвязь указанных факторов выбора и ТМ формализуется с помощью матриц соответствия, связывающих конкретные квалификационные группы по каждому из факторов выбора с конкретными ТМ, позволяющими получить требуемые значения показателей данной квалификационной группы. Выбор конкретного ТМ (или набора ТМ) осуществляется путем определения метода, имеющего наибольший итоговый показатель применимости для данной группы по всем факторам выбора, т. е. получившего наибольшее число соответствий по всем факторам выбора.

В основе модели для определения итогового показателя применимости ТМ лежит модифицированная мультипликативно-аддитивная модель. Для того чтобы учесть различную значимость определяющих и ограничивающих факторов, показатели применимости по этим факторам должны входить в модель со знаками дизъюнкции и конъюнкции соответственно. Показатели, являющиеся дополняющими факторами выбора, служат для сравнительного анализа нескольких альтернативных вариантов, имеют количественную оценку и в указанную модель не включаются.

Таким образом, модель определения итогового показателя применимости технологических методов имеет вид

$$P = \prod_{i=1} p_{\text{опр}i} \cdot \sum_{k=1} p_{\text{огр}k},$$

где $p_{\text{опр}i}$ – показатель применимости ТМ по i -му определяющему фактору выбора; $p_{\text{огр}k}$ – показатель применимости ТМ по k -му ограничивающему фактору выбора.

Показатели применимости ТМ представляют собой безразмерные коэффициенты, имеющие значения в диапазоне $0 \dots 1$, и в простейшем случае могут принимать значения 0 или 1 (0 – метод для данной квалификационной группы деталей неприменим, 1 – метод применим). Указанные весовые коэффициенты сводятся в матрицу соответствия, сопоставляющую i -й ТМ (M_i) k -й квалификационной группе G_k .

Для ряда факторов выбора матрицы соответствия будут двухмерными, связывающими один фактор с конкретным ТМ, а для других факторов – трехмерными, связывающими два зависимых фактора с конкретным ТМ. Зависимыми факторами являются те показатели, значения которых связаны со значениями других факторов. Так, ограничивающие факторы зависят от материала, из которого изготавливается деталь. Следовательно, матрицы соответствия по этим факторам будут содержать только один из ограничивающих факторов выбора (как зависимый фактор) и материал (как основной фактор).

Таким образом, основными элементами информационного обеспечения выбора ТМ являются массив их описаний, представленный во фреймовой форме, и массив упомянутых матриц соответствия. Еще одним из видов компонентов информационного обеспечения являются квалификационные таблицы, позволяющие определить в процессе выбора ТМ принадлежность детали к конкретной квалификационной группе.

Квалификационные группы по каждому из факторов выбора являются результатом группирования деталей по определенным признакам либо результатом квантификации непрерывных показателей. При этом группирование деталей в квалификационные группы в полной мере опирается на общеизвестные методики и классификации [3–5]. Количество квалификационных групп по каждому фактору выбора определяется из условий достаточности и однозначности выбора и с учетом его автоматизации может быть достаточно большим (например, составлять число до нескольких десятков).

В ряде случаев помимо квалификационных таблиц для показателей, которые описываются параметрами, имеющими численную характеристику, необходимы «верификационные» (проверочные) таблицы, которые обеспечивают адекватность конкретного численного значения параметра одной размерности другой или определяют взаимосвязь значений параметров различных размерностей. Верификационные таблицы могут быть заменены соответствующей формулой.

Процедура выбора ТМ на стадиях ТП может быть представлена как поиск ТМ в процессе рекурсивного формирования плана изготовления детали на основе заданных значений параметров ее окончательного состояния. Следовательно, план изготовления детали представляет собой смену состояний предмета производства (заготовки), характеризуемых некоторым набором входных (до обработки) и выходных (после обработки) параметров. План составляется поэтапно на основе известных значений выходных параметров. При этом необходимо найти такой ТМ, который максимально удовлетворяет выходным параметрам состояния детали на каждом из этапов обработки. Используемая при этом формальная модель ТМ имеет вид

$$M_i = \langle C_{i-1}, C_i, Y_i \rangle,$$

где C_{i-1} , C_i – векторы свойств, представляющие состояние до и после применения i -го ТМ соответственно; Y_i – вектор условий применения i -го ТМ.

Для представления плана изготовления детали используется технологическая схема, которая является одной из форм отображения ТП и представляет собой графическую схему, отражающую состав и последовательность выполнения этапов ТП, которые, в свою очередь, со-

стоят из отдельных операций. Узлами в технологической схеме являются названия этапов без детального описания способа их реализации. Особо следует подчеркнуть, что технологическая схема отражает последовательность этапов ТП и указывает все из возможных вариантов реализации этой последовательности на определенном уровне общности. В основу разработки технологической схемы может быть положена принципиальная схема ТП.

В качестве критериев предпочтения при условии обеспечения сопоставимого качества изделия для сравнения и выбора конкретных технологических схем его изготовления могут быть предложены различные критерии эффективности, которые наиболее полно соответствуют поставленной задаче и конкретным условиям производства. Чаще всего это показатели, характеризующие экономическую эффективность, например технологическая себестоимость или приведенные затраты. Известны методики расчета приведенных затрат для ТМ получения и обработки заготовок [6]. Они могут быть использованы при автоматизации выбора ТМ. При этом основной проблемой является необходимость оперативной актуализации стоимостных данных. Данное обстоятельство с учетом вариативности применения методов и их сочетаний может быть реализовано только в рамках единого информационного пространства предприятия.

3. Структура программно-алгоритмического обеспечения

Алгоритм выбора ТМ (рис. 2) состоит из следующих шагов:

1. *Ввод общих данных об изделии (детали).* Общие данные об изделии включают в себя сведения об обозначении, наименовании, материале изделия и пр.

2. *Оценка принадлежности изделия к конкретной квалификационной группе* по ряду показателей, служащих в качестве факторов выбора. Для этой оценки используется набор квалификационных таблиц, выступающих в качестве справочников по квалификационным группировкам по каждому из факторов выбора. Оценка может осуществляться как автоматизированно, так и вручную проектировщиком в процессе ввода данных об изделии.

3. *Определение итогового показателя применимости ТМ* по каждому из факторов выбора. Определение коэффициента применимости осуществляется путем вычисления его по разработанной мультипликативно-аддитивной модели. В качестве информационного обеспечения этого этапа используется массив матриц соответствия, хранящих значения коэффициентов применимости ТМ по конкретному фактору выбора. Массив матриц соответствия должен постоянно находиться в актуальном состоянии и отражать современные возможности ТМ.

4. *Отбор и ранжирование решений.* На данном этапе составляется перечень тех ТМ, которые могут быть использованы для заданного изделия. Следует отметить особенность применяемой конъюнктивно-дизъюнктивной модели, которая заключается в том, что неподходящие по определяющим факторам методы получают нулевое значение итогового коэффициента применимости. Остальные методы будут иметь коэффициент применимости в диапазоне значений от 0 до 1. Таким образом, возможно ранжирование ТМ по убыванию значения итогового коэффициента применимости.

5. *Оценка экономической эффективности применения отобранных ТМ.* Оценка экономической эффективности может осуществляться путем расчета по существующим методикам нормативных показателей, например приведенных затрат или себестоимости, либо определяться как наилучшее предложение при выполнении по кооперации.

Окончательный выбор ТМ осуществляется проектантом – лицом, принимающим решения. Основу эффективного функционирования подсистемы поиска ТМ составляет информационная база (БД) их единообразного описания. Информационные модели ТМ включают поля различных типов (числовые, текстовые и пр.). Табличная структура описания ТМ построена в соответствии с фреймовой моделью представления предметной области и имеет установленный перечень слотов, отражающих основные свойства последней.

Программная реализация описанного алгоритма процедуры выбора ТМ может быть выполнена двумя основными путями:

- 1) стандартными средствами одной из существующих АСТПП;
- 2) оригинальным программным продуктом, реализующим полностью или частично описанный алгоритм.

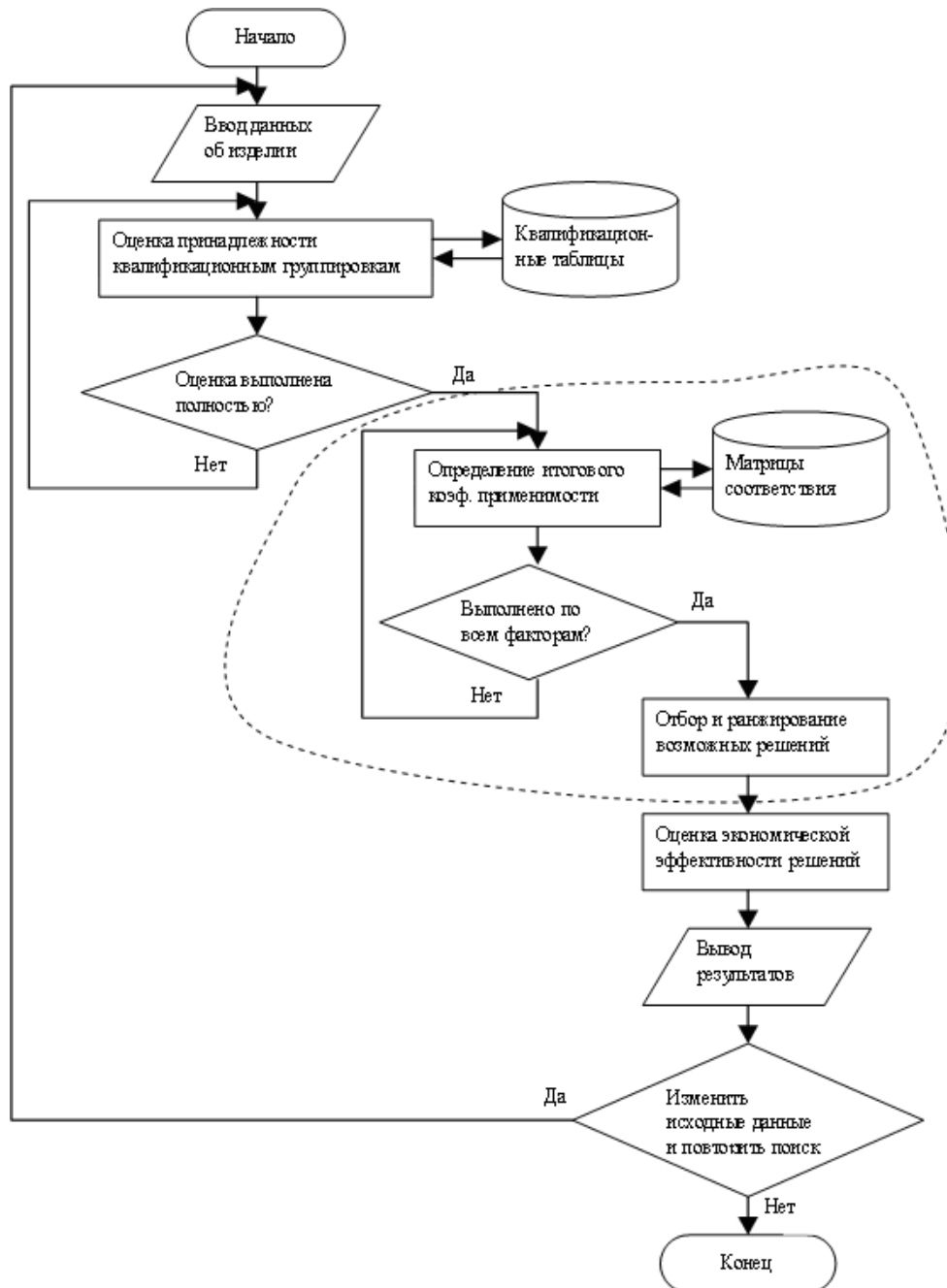


Рис. 2. Укрупненный алгоритм автоматизации выбора ТМ

Первый путь представления наиболее удобен с производственной точки зрения, поскольку позволяет интегрировать процедуру выбора ТМ в применяемую на предприятии АСТПП и уменьшить объем вводимой информации об изделии за счет ее импорта из PDM- или CAD-системы, но он не лишен и недостатков, поскольку существенно зависит от платформы программно-технической реализации.

Второй путь позволяет получить более универсальное решение, но при этом возрастает объем вводимой информации и появляется разрыв в общей информационной среде предприятия. Для обработки элементов автоматизации выбора ТМ и создания информационного банка описаний ТМ разработан оригинальный программный продукт, реализующий часть укрупненного алгоритма (на рис. 2 обозначена штриховой линией).

Разработанный для автоматизации поиска ТМ формообразования программный продукт предназначен также для хранения и редактирования информации о различных ТМ

(в реферативном виде) и осуществления поиска ТМ по заданным значениям показателей. Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять в диалоговом режиме:

- поиск технологических методов по заданным значениям установленных критериев;
- работу с реферативными описаниями ТМ (рис. 3);
- работу с приложениями – справочными материалами (рис. 4).

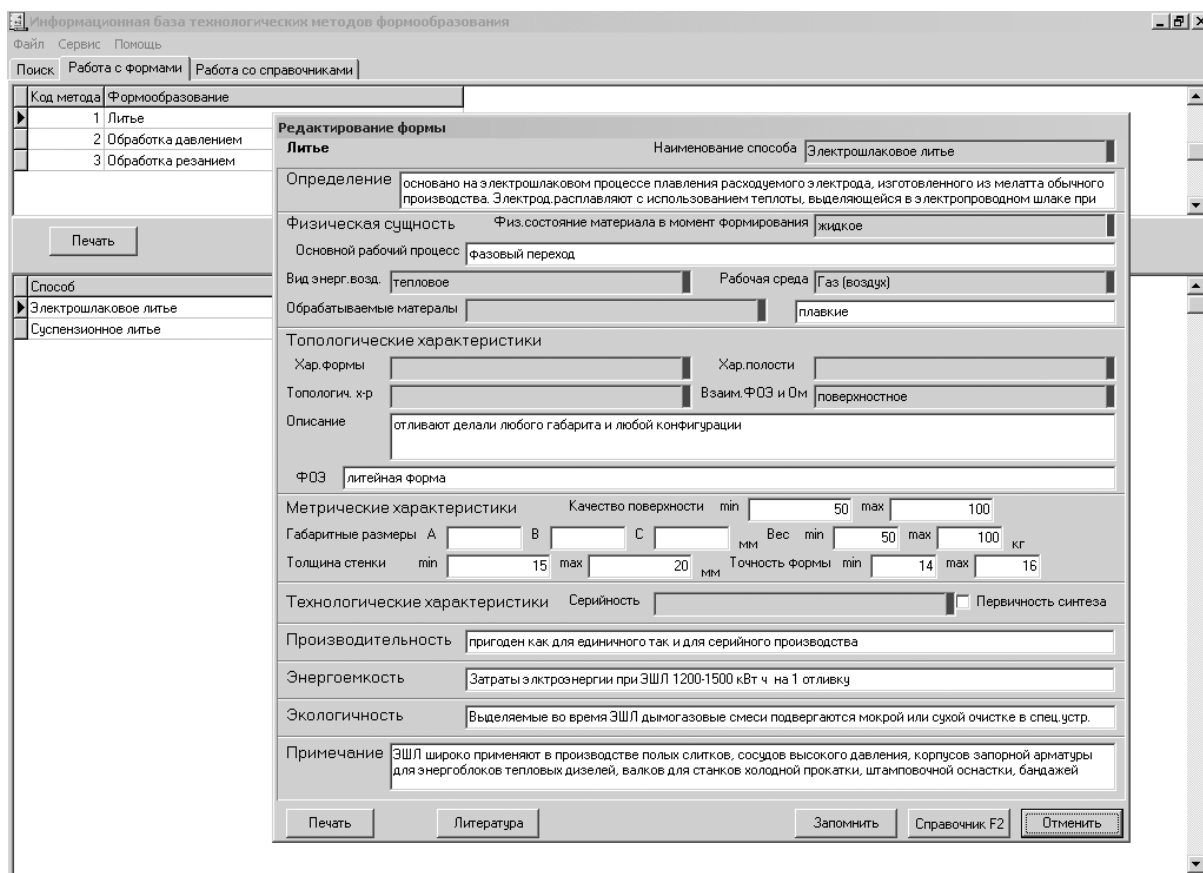


Рис. 3. Основное окно работы с реферативными описаниями ТМ

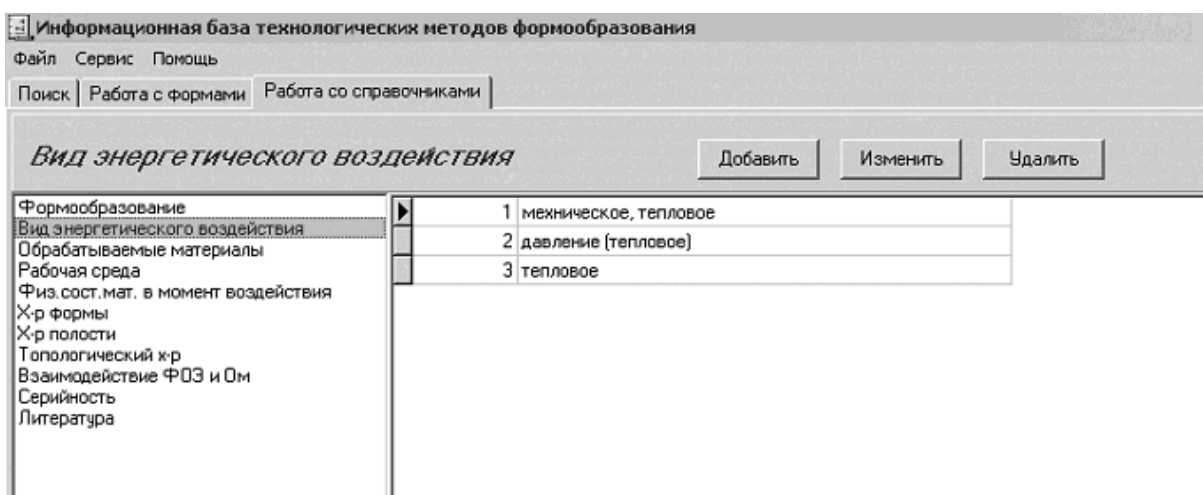


Рис. 4. Фрагмент окна работы со справочниками

Основными объектами приложения являются:

таблицы – хранимые данные;

запросы – данные, получаемые из хранимых путем применения правил вывода;

формы – объекты, посредством которых осуществляется взаимодействие с пользователем;

отчеты – средство представления выходной информации;

модули – фрагменты, реализующие программную логику приложения.

Следует подчеркнуть двойное назначение программного продукта. С одной стороны, он представляет собой значительный информационный банк описаний различных ТМ, применяемых в машиностроении, с другой – реализует процедуру поиска ТМ по заданным значениям показателей, служащих факторами выбора. Таким образом, данный программный продукт может использоваться как в производственных целях, так и в ознакомительных и учебных.

Программный продукт представляет собой специальное приложение, обеспечивающее создание, работу и обработку запросов к реляционной БД, хранящей справочные таблицы и описания различных ТМ (рис. 5 и 6). В рассматриваемом программном приложении наряду с компонентом набора данных TTable используется также компонент набора данных TQuery, в котором формируется SQL-запрос к БД. Поэтому набор данных, возвращаемый TQuery (даже если источником этого набора служит лишь одна таблица БД), предполагает обращение к подмножеству записей и столбцов (полей). TTable ориентирован на работу со всеми записями и полями, и, для того чтобы работать в нем с подмножеством строк и полей, необходимо предпринять дополнительные действия (фильтрацию записей, ограничение состава полей в редакторе полей).

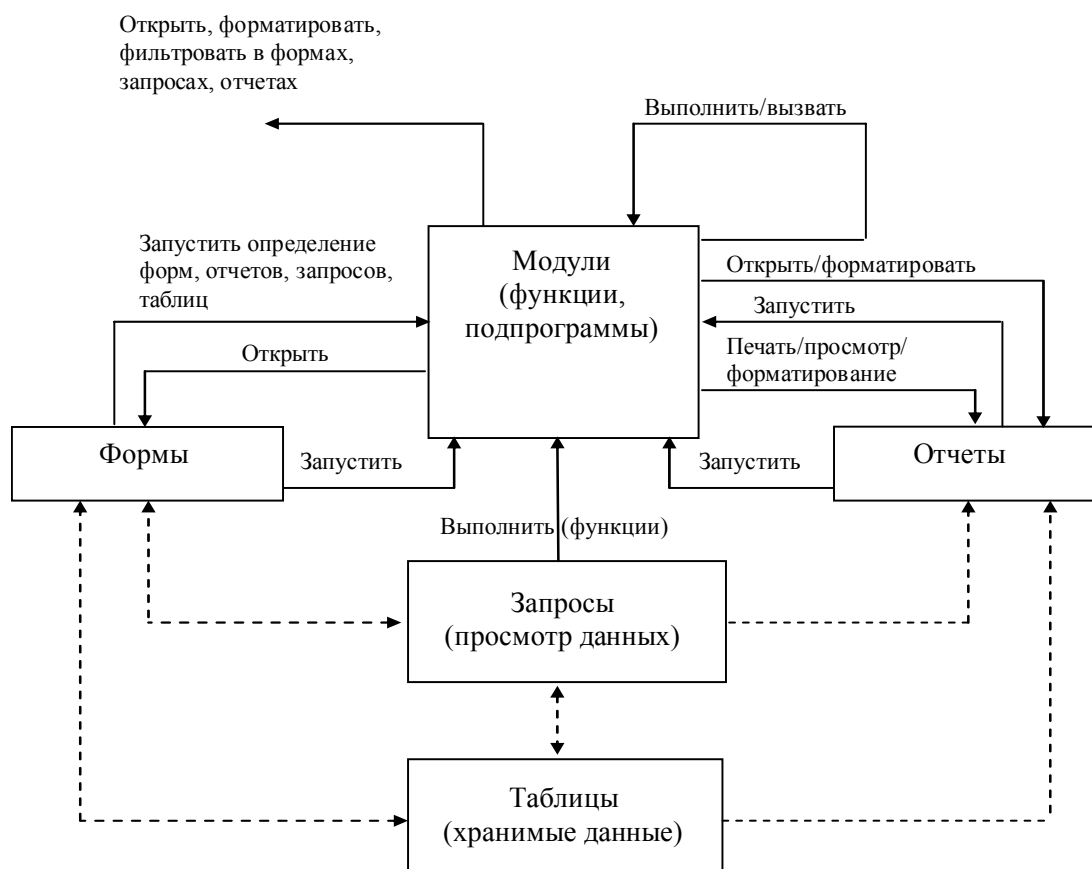


Рис. 5. Взаимосвязи основных объектов приложения:

\rightarrow – действие, $- \rightarrow$ – поток данных

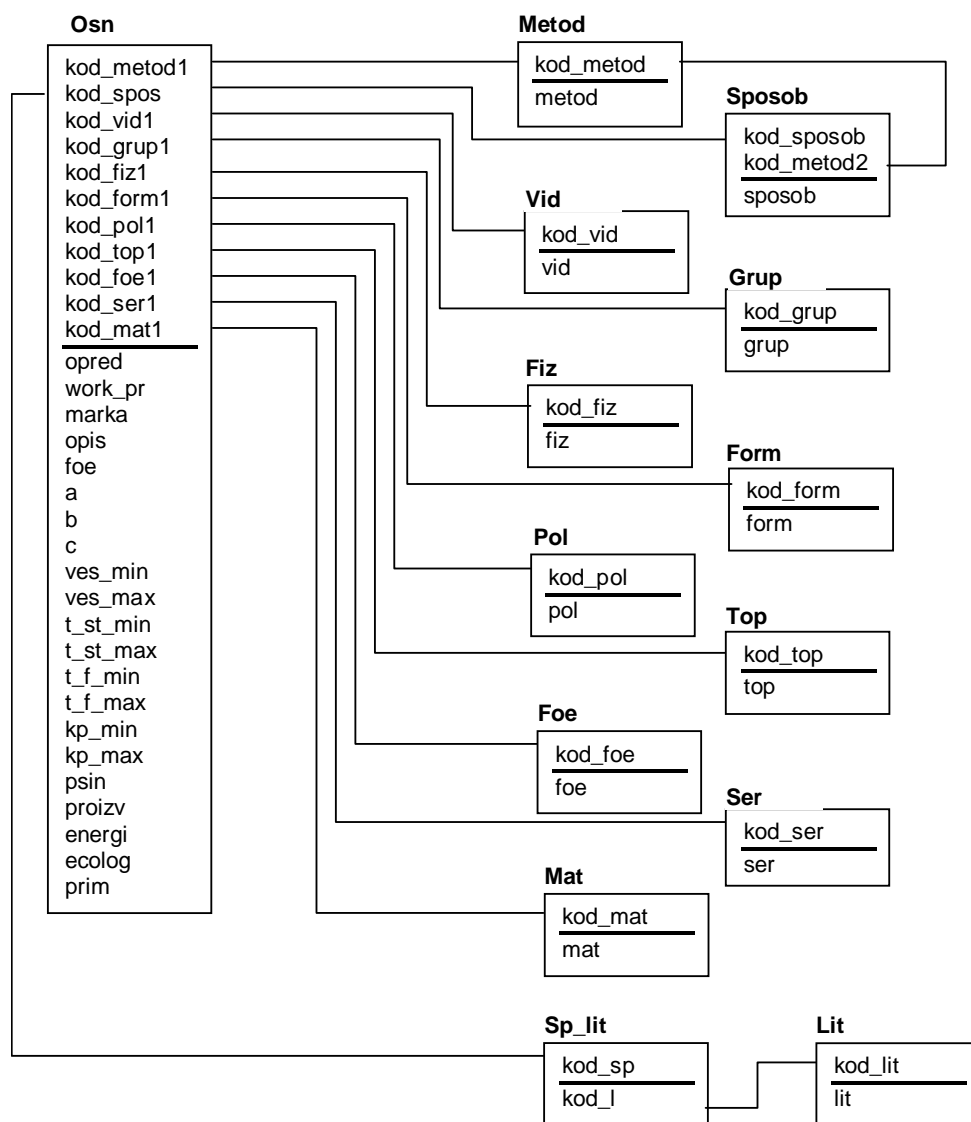


Рис. 6. Физическая модель данных на атрибутивном уровне

Заключение

Предложенное решение компьютерной поддержки выбора ТМ для реализации компактного производства машиностроительной продукции позволяет осуществлять обоснованный поиск эффективных ТМ изготовления и их адаптацию к специфическим условиям конкретного предприятия путем редактирования формализованных описаний.

Помимо прямого подбора эффективного ТМ могут также решаться задачи выбора материала изделия с учетом его служебного назначения и требований технологичности, а также определения области рационального использования конкретного ТМ и конструкционного материала в производстве конкурентоспособной машиностроительной продукции.

Следует отметить, что в рамках концепции единого информационного пространства предприятия целесообразна реализация автоматизированного выбора ТМ в рамках применяемой на предприятии АСПП. Это позволяет использовать единое информационное обеспечение и избежать необходимости специальной организации миграции или повторного ввода данных. Именно интеграция применяемой АСПП в систему управления производством на конкретном предприятии имеет наибольшую практическую значимость, поскольку позволяет осуществлять не только совместный доступ к данным, но и гарантировать их валидность.

Апробация основных изложенных положений данного подхода была проведена в реальных производственных условиях ОАО «Вистан» (Витебск), ОАО «Завод СТР» (Витебск). Внедрение предложенного алгоритма было выполнено с помощью средств 1С:PDM на ЗАО «Пожтехника» (Витебск). Кроме того, описанная реализация в виде самостоятельного решения используется в учебных целях при подготовке специалистов соответствующих направлений в Витебском государственном технологическом университете. В следующей статье авторы планируют подробно рассмотреть результаты апробации заявленных здесь утверждений на примере изготовления конкретных изделий в реальных условиях действующего предприятия.

Список литературы

1. Mosier, C.T. «Compact» flexible manufacturing systems / C.T. Moiser, L.R. Taube, D.G. Petrie // Omega. – 1990. – Vol. 18, № 1. – P. 7–22.
2. Свирский, Д.Н. Организация и технология компактного производства. Теория и практика / Д.Н. Свирский, Б.Н. Сухиненко. – Витебск : ВГТУ, 2008. – 200 с.
3. Цветков, В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В.Д. Цветков. – Минск : Наука и техника, 1979. – 260 с.
4. Митрофанов, С.П. Научная организация машиностроительного производства / С.П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1975. – 350 с.
5. Product family modelling in conceptual design based on parallel configuration grammars / E.-R. Deciu [et al.] // Journal of Mechanical Engineering. – 2008. – № 6. – P. 398–412.
6. Барташев, Л.В. Справочник конструктора и технолога по технико-экономическим расчетам / Л.В. Барташев. – М. : Машиностроение, 1979. – 221с.

Поступила 08.08.11

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: svirsky@newman.bas-net.by

²Витебский государственный технологический университет,
Витебск, Московский пр-т, 72
e-mail: a_klimentyev@tut.by

D.N. Svirsky, A.L. Klimentyev

AUTOMATION OF SELECTION OF THE TECHNOLOGICAL METHOD IN COMPACT MANUFACTURE OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

The general principles of formalization of selection of a technological method in compact manufacture of machine-building production are considered in the paper. The methodology and software structure as well as algorithmic maintenance of solving the problem is suggested. The software implementation of selection of a technological method on the basis of original software solution is described.