

# **Использование автоматизированной системы поддержки принятия решений при создании композитных изделий**

## **Актуальность и проблемы композитной области**

Огромный потенциал к формированию новых свойств и качеств изделий несет применение новых материалов, построенных на основе композиции различных составляющих, управления структурой материалов на макро и микроуровне, введении в состав особых частиц. Оказывается возможным добиваться новых, недоступных ранее свойств у уже широко применяемых изделий и серийно выпускаемой продукции без существенных изменений в их конструкции и принципах функционирования.

В российском сегменте сети Интернет можно найти множество статей, предложений о производстве, описаний технологий, форумов, посвященных данному вопросу. Однако реальное продвижение композитов и технологий их изготовления у отечественных производителей идет медленно. Этому есть ряд объективных причин. В первую очередь – серьезное отставание наших предприятий от их зарубежных конкурентов по всем параметрам: технологии, оборудование, научный потенциал, экспериментальная база. Ведущие мировые производители уже давно освоили композиты и внедрили их в свои производственные процессы. Нам же приходится проходить этот путь с нуля, т.к. самая сложная часть – технологии и методики работы – являются закрытой и охраняемой информацией.

Следующим, но не менее важным фактором является отсутствие актуализированных стандартов в данной области. Например, одна и та же технология имеет в профессиональной литературе такие варианты названия: VARTM, Vacuum Infusion, вакуумная инфузия, формование заготовок армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ) в открытых формах, инфузионная пропитка под вакуумом. Конечно, речь не идет о полном отсутствии информации, на самом деле ее очень много. Сложность заключается в том, что данные различаются в разных источниках, трудно оценить их полноту и достоверность.

## **Неэффективный подход к проектированию – субъективизм**

Принцип композиции материалов дает новые возможности, но при этом процесс проектирования и анализа изделий сложен и нуждается в применении уникальных знаний и опыта. Наиболее распространенный подход, используемый предприятиями – это привлечение компетентных специалистов, ведущих конструкторов, которые берут на себя решение задач оценки вариантов исполнений композиционного изделия, поиска

оптимального решения и экспертного сопровождения проекта.

Ключевым моментом оказывается то, что наиболее сложная часть процесса проектирования, связанная с принятием решений, реализуется как субъективный вывод одного эксперта или небольшой группы специалистов. Логика, знания, правила не скрыты от общественности, но и не являются явно выраженными, оставаясь прерогативой отдельных экспертов/руководителей. С точки зрения развития предприятий и распространения новых технологий это представляет собой большую проблему.

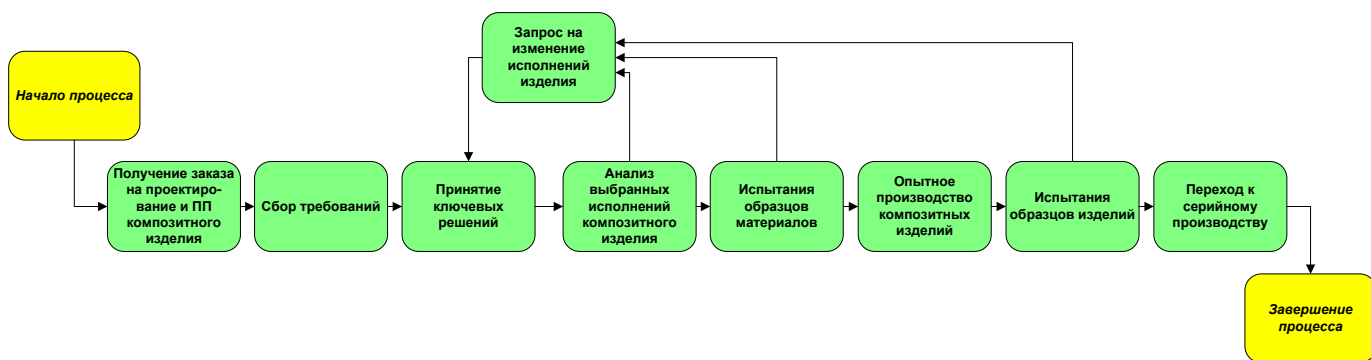
## Процесс и его описание

Если формализовать проектирование и подготовку производства изделий из композитов в виде бизнес-процесса, то укрупненно он будет выглядеть так, как показано на рис. 1. При этом классический подход не исключает использование в проекте компьютерных средств моделирования и анализа: CAD, CAE и систем имитационного моделирования производственных процессов.

Принятие всех ключевых решений осуществляется экспертом/руководителем единолично. В связи с тем, что на первоначальном этапе работ необходимо выполнить многокритериальный/системный поиск и анализ возможных вариантов конструкторско-технологического исполнения изделия, то эксперты в большинстве случаев упрощают эту задачу за счет использования личного опыта. Причиной этому может быть то, что данный этап требует серьезных затрат времени на исследовательскую работу (от обзора мирового опыта до исследования физико-химических свойств и структуры материалов). При этом подходе есть высокая вероятность принятия некорректного решения, что может привести к кардинальному пересмотру исполнения композиционного изделия и соответственно к возврату к самому началу проекта. В некоторых случаях это приводит к много итерационной проработке предложений от руководителя. Тем самым процесс проектирования в каждой итерации практически начинается заново.

Можно сформулировать и выделить следующие особенности/недостатки общепринятого подхода к проектированию ПКМ:

- зависимость от решений одного человека, которые принимаются на субъективном уровне, как следствие принятие неоптимальных решений, т.к. эксперт склонен опираться на свой опыт, а не искать новые пути решения;
- имеется высокий риск возникновения ошибок на ранней стадии проектирования (т.к. решается очень сложная междисциплинарная задача, при этом специалист должен иметь соответствующий опыт, а в идеале быть и физиком и химиком и материаловедом, а к этому еще конструктором-технологом);
- увеличиваются сроки и стоимость проектирования за счет анализа большего, чем необходимо, числа вариантов (т.к. эксперт не всегда может сразу сформировать правильное решение по конструкторско-технологическому исполнению композитного изделия и в процессе проектирования постоянно добавляет новые варианты и новые задания для предметных специалистов);
- замедляется развитие и распространение новых методов и технологий;
- знания медленно накапливаются и практически не становятся достоянием научно-технического сообщества.



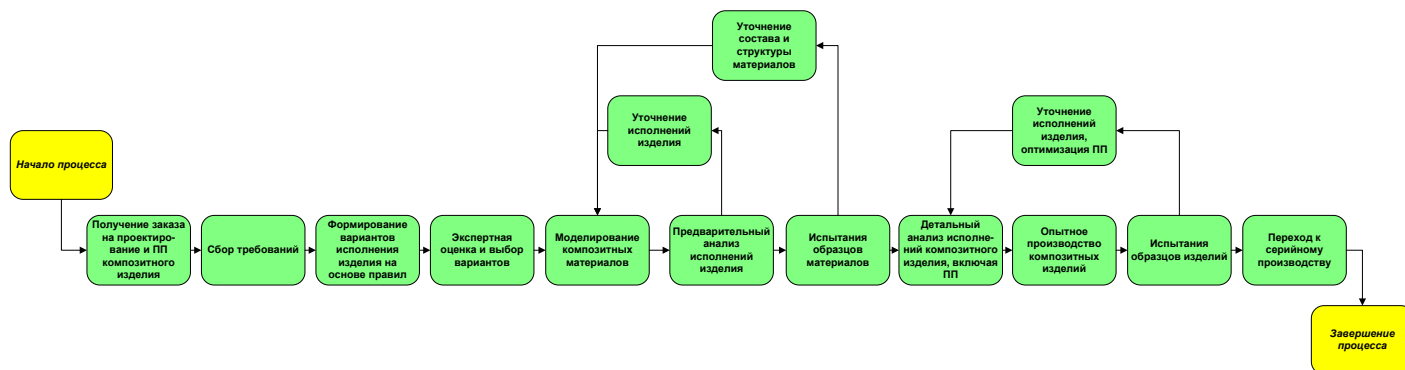
**Рисунок 1 – Распространенная схема проектирования и подготовки производства (ПП) композитного изделия, используемая отечественными предприятиями**

Четко прослеживается заинтересованность предприятий в обеспечении качественно нового уровня организации работ. Требуется создание или привлечение новых инструментов проектирования и управления, использование интеллектуальных средств поиска, экспертных систем, подсистем управления бизнес-логикой. Имеется потребность в использовании гибкого механизма управления требованиями, который позволял бы отслеживать процесс от постановки задачи до получения соответствующих результатов.

По сути, данный перечень запросов – это предпосылки к созданию новых технологий и сервисов в сфере композитов.

### Новый процесс и его описание

Предлагается в основу нового подхода к проектированию изделий из композиционных материалов положить процесс, принципиально отличный от того, что был рассмотрен ранее. Его схема приведена на рис. 2.



**Рисунок 2 – Укрупненная схема проектирования и подготовки производства композитного изделия, предлагаемая авторами статьи**

Данный процесс имеет ряд достоинств:

- реализована автоматизация поддержки принятия решений по выбору ПКМ и конструкторско-технологического исполнения изделий из ПКМ, теперь эта задача осуществляется в самом начале проекта на основе правил, заложенных в системе;
- на каждом этапе проекта проводится анализ полученных результатов на соответствие поставленным задачам, на основе которого принимается решение о

переходе/не переходе на следующий этап проекта.

- итерационность проектирования реализована иначе, чем на схеме с рис. 1, нет возвратов к самому началу проекта, это дает возможность сократить сроки реализации проекта;
- изменена методика работы, теперь предполагается использование специализированной системы компьютерного проектирования композиционных материалов, в связи с этим откорректирована последовательность задач: испытания образцов ПКМ теперь необходимо производить на более раннем этапе проекта;
- процесс стал более прозрачен и понятен, что упрощает управление сроками работ (удобно как для участников проекта, так и для вышестоящего руководства);
- процесс ориентирован на полную (комплексную) автоматизацию проектирования и подготовки производства изделий из ПКМ;
- процесс дает возможность параллельно выполнять проработку нескольких исполнений изделия за счет большей полноты данных, предоставленных экспертной системой;
- снижение риска получения неоптимального результата, достигаемое за счет использования экспертной системы.

## **Какой подход предлагается**

Серьезного улучшения качества проектирования и организации работ по подготовке производства изделий из композиционных материалов можно добиться за счет использования компьютерной автоматизированной системы.

В рамках данной системы предлагается объединить решение следующих задач:

- создание базы данных ПКМ, которая бы учитывала ключевые параметры ПКМ, по которым может осуществляться поиск, а также данные, получаемые по результатам проектирования и испытаний, новых ПКМ и изделий из ПКМ (компьютерные модели материалов, диаграммы, массивы параметров);
- создание интеллектуального поиска ПКМ, основанного на понимании связи между требованиями к изделию и параметрами материалов;
- создание специализированной базы знаний (правил бизнес логики), объединяющей выявленные закономерности, правила, зависимости и условия, относящиеся к композитной тематике;
- управление требованиями к изделию и применяемым материалам;
- автоматизированное создание программы и планов-графиков работ по проектам;
- управление проектированием изделий из ПКМ посредством автоматизированного создания бизнес-процесса проекта (технология Work Flow), основанного на понимании связи между требованиями к изделию и стандартными схемами процессов;
- сохранение комплекса проектных данных, включая промежуточные результаты и решения;
- создание специализированного пользовательского интерфейса, который позволял бы управлять бизнес-логикой (правилами), пополнять базу знаний новыми данными, обеспечивая обучение системы и расширение возможностей базы знаний (развитие вширь и вглубь);
- автоматизация отдельных операций, например, фильтрация доступных для выбора технологий производства в зависимости от указанных материалов.

Половина из перечисленных задач решается посредством использования технологии

PLM, как то: управление данными, процессами, документами, поиск по атрибутам, настроенные фильтры данных и другое. Вторая половина представляет собой новые технологии и подходы, для их реализации требуется создание нового программного продукта (системы). Поэтому была разработана система поддержки принятия решений по выбору ПКМ и конструкторско-технологического исполнения изделий из ПКМ, получившая название DSS CM (Decision Support System for Composite Materials).

Очевидно, что эти две части должны быть интегрированы между собой и создавать единое информационное пространство. В виду достаточно широкого спектра и специфичности поставленных задач было принято решение о создании DSS CM внутри системы PLM (т.е. глубокой модернизации PLM комплекса, реализации нового функционала внутри имеющейся структуры), что обеспечивает полную интеграцию, единую поддержку данных, исключает дублирование информации и упрощает работу пользователей с системой. Для решения экспертных задач в области выбора композиционных материалов в рамках DSS CM реализован отдельный модуль – экспертная система.

Функциональная схема DSS CM представлена на рис. 3.

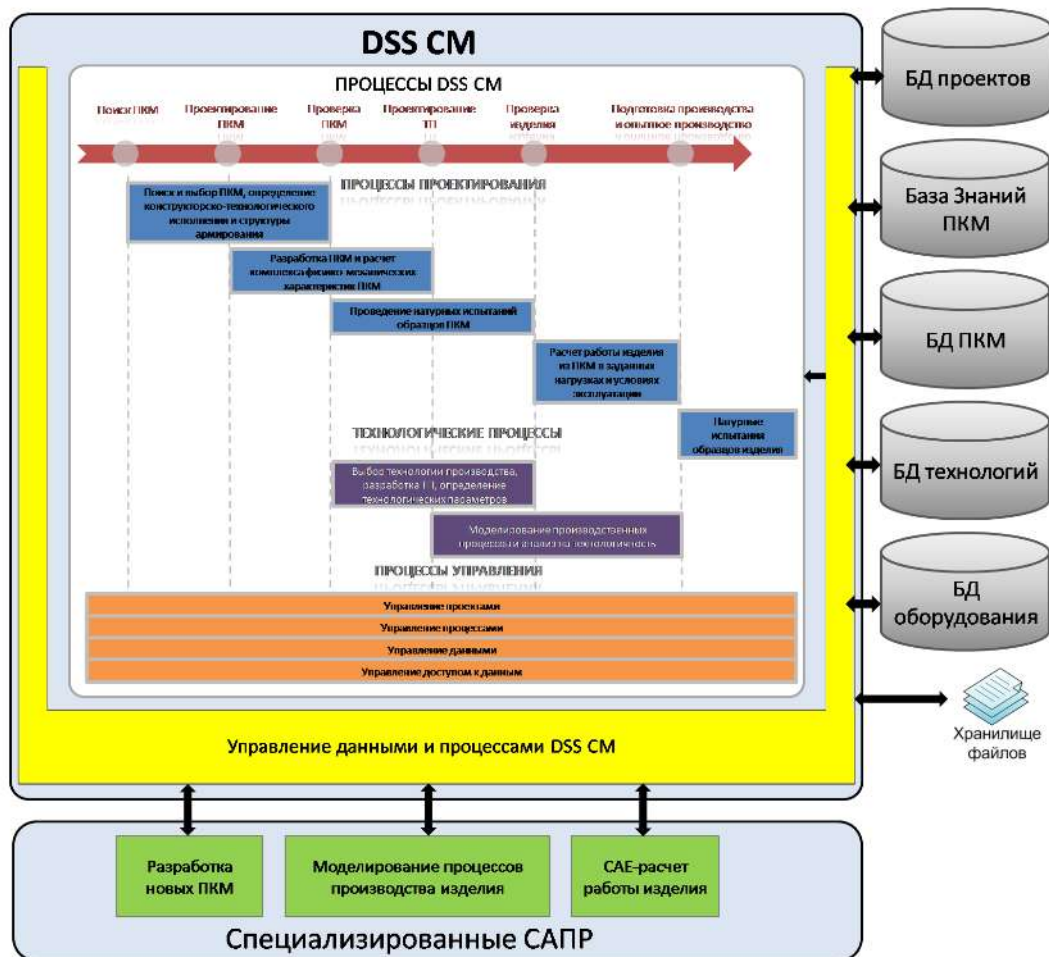


Рисунок 3 – Функциональная схема DSS CM

Решение о создании экспертной системы происходит из необходимости автоматизировать работу экспертов. Экспертные системы – это направление исследований в области искусственного интеллекта по созданию вычислительных систем, умеющих принимать решения, схожие с решениями экспертов в заданной предметной области. Экспертные системы создаются для решения прикладных задач в

узкоспециализированных областях. Это в полной мере соответствует композитной тематике. Основой экспертной системы является база знаний, в которой аккумулируются экспертные знания специалистов.

Модели представления знаний в экспертных системах делятся на эмпирические и теоретические. Первый подход основан на моделировании механизмов человеческого мышления, т.е. на принципах решения задач человеком. Второй подход упрощенно можно назвать математическим, он гарантирует правильность решений и основан на формальной логике. К наиболее распространенным эмпирическим моделям относятся: производственные, сетевые и фреймовые модели; к теоретическим: логические, комбинаторные, алгебраические модели и формальные грамматики. Нейронные сети и генетические алгоритмы соединяют в себе оба этих метода.

В виду того, что DSS CM представляет собой комплексное решение по информационному сопровождению процесса проектирования изделий из композитов, при его создании не представляется возможным ограничиться каким-то одним методом управления данными.

В связи с тем, что рассматриваемая область знаний сложно формализуема, зависит от текущего уровня развития технологий и специфики конкретных предприятий, то в качестве языка записи правил в базе знаний DSS CM выбрана производственная модель. Производственная модель или модель, основанная на производствах, позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие), то (действие)». Этот подход заключается в получении от экспертов фрагментов знаний (часто эмпирических) и записи их в форме простых правил. Это практически единственный подход, который может быть применен к системе с таким уровнем неопределенности как подготовка производства изделий из композитов. Реализация производственных правил в DSS CM осуществляется за счет скриптования.

Однако база знаний использует в своей работе различные данные, которые также должны управляться DSS CM. Сложная структура представления этих данных, а также наличие большого числа перекрестных связей между ними приводят к потребности в применении и других методов представления знаний.

Структурирование данных об изделии и ПКМ в системе осуществляется посредством классификации и установления иерархических связей. По сути это графы, в которых узлы – это объекты, а связи – это отношения между ними. При этом между некоторыми объектами отношения необходимо устанавливать жестко (например, между объектами конструкторской спецификации изделия), а между другими такие связи могут меняться (например, связь между ПКМ и технологиями производства может изменяться со временем или при переходе на другое предприятие). Для управления такого рода знаниями используются сетевые модели или иначе семантические сети. Таким образом, для описания всех классификаторов, справочников, базы данных материалов DSS CM целесообразно использовать сетевые модели представления знаний. Кроме того непосредственно сама структура базы данных DSS CM представляет собой тот же граф.

СУБД DSS CM строится на системе ссылок и переходов. Каждая из таких операций сопровождается правилом ее вызова. Следует отметить также перекрестные ссылки между классами с правилами вызова отдельных объектов (например, атрибуты, работающие как ссылка на класс – тип атрибута «Reference to class»). Важным свойством СУБД является также наследование свойств, инкапсуляция и полиморфизм. Все эти характеристики верны для теории фреймов. По сути, для организации управления данными необходимо использовать фреймовую модель представления знаний, которая дает четкие процедуры вызова и обработки данных, одинаково применимые к различным типам данных и структур данных (т.е. такой подход работает для различных моделей данных, т.е. при неопределенности данных). С точки зрения фреймовой модели класс DSS CM – это фрейм-класс, а объект класса – это фрейм-экземпляр, шаблоны электронных документов –

это фрейм-шаблоны, а атрибут типа «Reference to class» являются ключом к вызываемому фрейм-классу.

В рамках DSS CM невозможно отказаться и от формальных логических моделей, т.к. ряд задач проектирования четко формализованы. Например, расчет стоимости изделия из ПКМ хотя и зависит от исполнения изделия, применяемых ПКМ и технологий производства, но осуществляется по четким формулам.

Исходя из вышперечисленного, DSS CM является гибридной системой. В ней должны быть объединены различные методы управления знаниями. Такой подход позволит объединить все возможные преимущества методов и одновременно компенсировать их недостатки. Итак, DSS CM – это динамическая гибридная система, использующая следующие методы представления знаний:

- продукционная модель (база знаний DSS CM);
- сетевая модель (структура баз данных, классификаторы, справочники, база данных ПКМ и др.);
- фреймовая модель (СУБД DSS CM);
- логическая модель (различные алгоритмы расчетов).

## Описание разработки – Ключевые решения

DSS CM по введенным требованиям к изделию позволяет найти варианты конструкторско-технологического исполнения изделия из ПКМ. DSS CM управляет систематизированными правилами и рекомендациями по выбору ПКМ, конструктивного исполнения изделия и технологий производства. Работа экспертной системы DSS CM организована в автоматизированном режиме, большинство операций выполняются автоматически. Система предоставляет пользователю удобный простой интерфейс. DSS CM упрощает взаимодействие пользователя с БД ПКМ и поиск материалов.

Работа DSS CM основана на ряде ключевых решений, см. рис. 4. Далее будет раскрыта сущность этих решений.



Рисунок 4 – Ключевые решения DSS CM, на базе которых реализован поиск и выбор исполнений изделия из ПКМ

### *База знаний экспертной системы*

Были выявлены основные факторы, имеющие значимое влияние на принятие решения и выбор конечного варианта исполнения изделия из ПКМ. Они были систематизированы по методу Исикавы (Kaoru Ishikawa, яп.). Это позволило установить ключевые зависимости, на которых основана логика работы экспертной системы. На рис. 5 представлена диаграмма Исикавы (диаграмма Fishbone), включающая группы факторов: оборудование; технология производства; ПКМ; компоненты ПКМ; расчетные испытания; особенности изделия; натурные испытания.

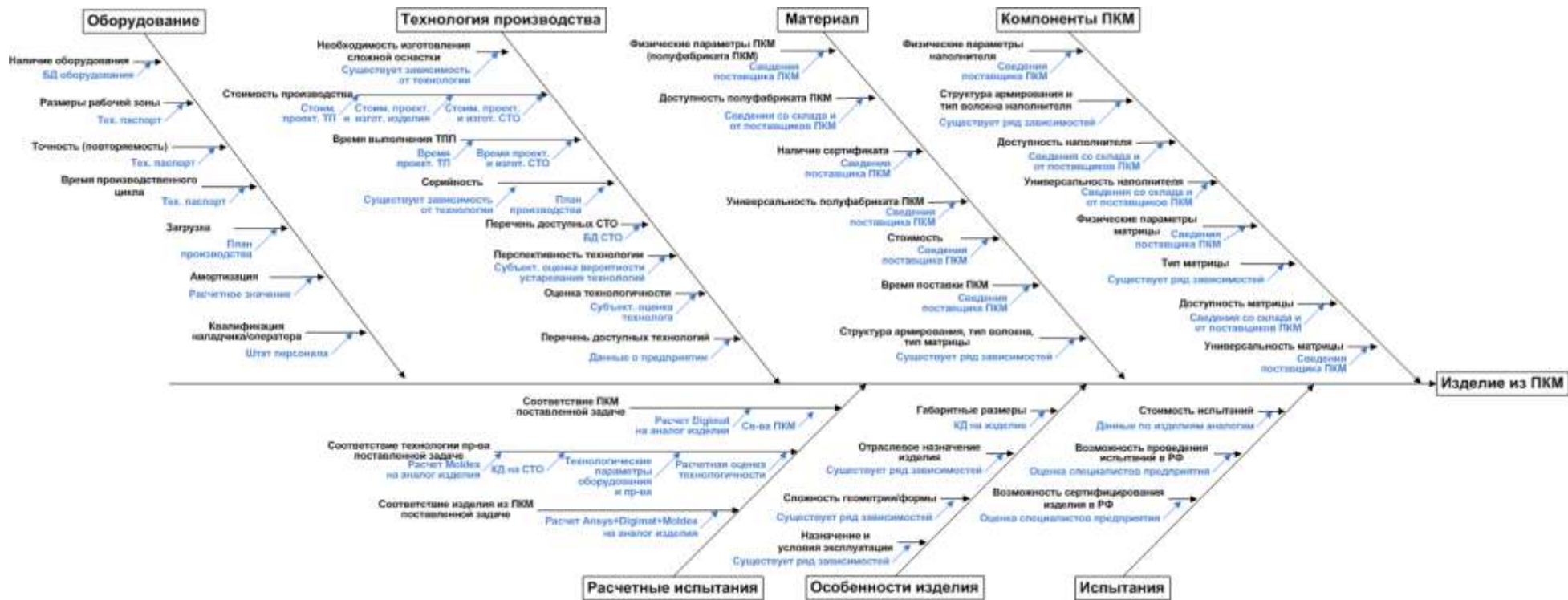


Рисунок 5 – Факторы, влияющие на выбор исполнения изделия из ПКМ



Указанные на диаграмме факторы можно разделить на две категории:

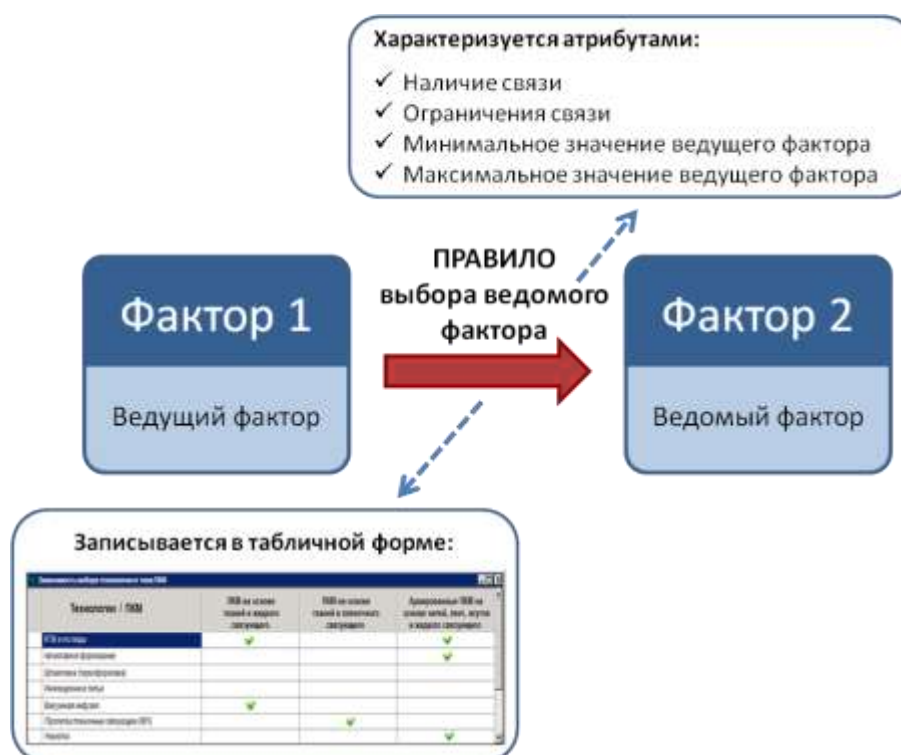
- Факторы, значения которых известны – они задействованы в работе системы поддержки принятия решений DSS CM.
- Факторы, значения которых не определены – они определяются в процессе детального анализа исполнений изделия (см. рис. 2).

Анализ факторов позволил выявить правила, по которым должна осуществляться автоматизированный логический вывод в экспертной системе. Было установлено, что некоторые факторы (рис. 5) связаны между собой через определенные зависимости (правила базы знаний). Речь идет о таких факторах, как: технологии, структура армирования, типы матриц, геометрические особенности изделия, схема нагружения изделия и ряде других.

Как было сказано ранее, для представления знаний использована продукционная модель, в основе которой лежит запись правил в виде продукции вида «ЕСЛИ условие, ТО действие». Условие правила («ЕСЛИ условие») задается через атрибуты:

- Наличие связи между факторами (да, нет).
- Ограничение на применение связи (для любого изделия, для оболочки и т.д.).
- Минимальное значение фактора.
- Максимальное значение фактора.

При выполнении условия активируется действие («ТО действие»), которое определяет выбор того или иного значения фактора. Рис. 6 поясняет методику записи правил базы знаний DSS CM.



**Рисунок 6 – Методика записи правил базы знаний DSS CM**

Выявленные зависимости (правила) были приведены к общему виду и представлены для пользователей в табличной форме. Факторы записываются в заголовках строк и столбцов таблицы, эксперт может задать правило и указать наличие связи между ними. На рис. 7 представлена таблица «Зависимость выбора технологий от ПКМ».

Технологии / ПКМ	ПКМ на основе тканей и жидкого связующего	ПКМ на основе тканей и пленочного связующего	Армированные ПКМ на основе нитей, лент, жгутов и жидкого связующего
RTM и его виды	✓		✓
Автолавное формование			✓
Штамповка (термоформовка)			
Инжекционное литье			
Вакуумная инфузия	✓		
Пропитка пленочным связующим (RFI)		✓	
Намотка			✓

Рисунок 7 – Фрагмент таблицы правил «Зависимость выбора технологий от ПКМ»

Наполнение базы знаний произведено заранее до начала работы над проектами. В рамках базовой реализации DSS CM проведено первичное наполнение базы знаний в соответствии с основными выявленными правилами.

В DSS CM созданы следующие зависимости (правила), определяющие факторы диаграммы Исикавы:

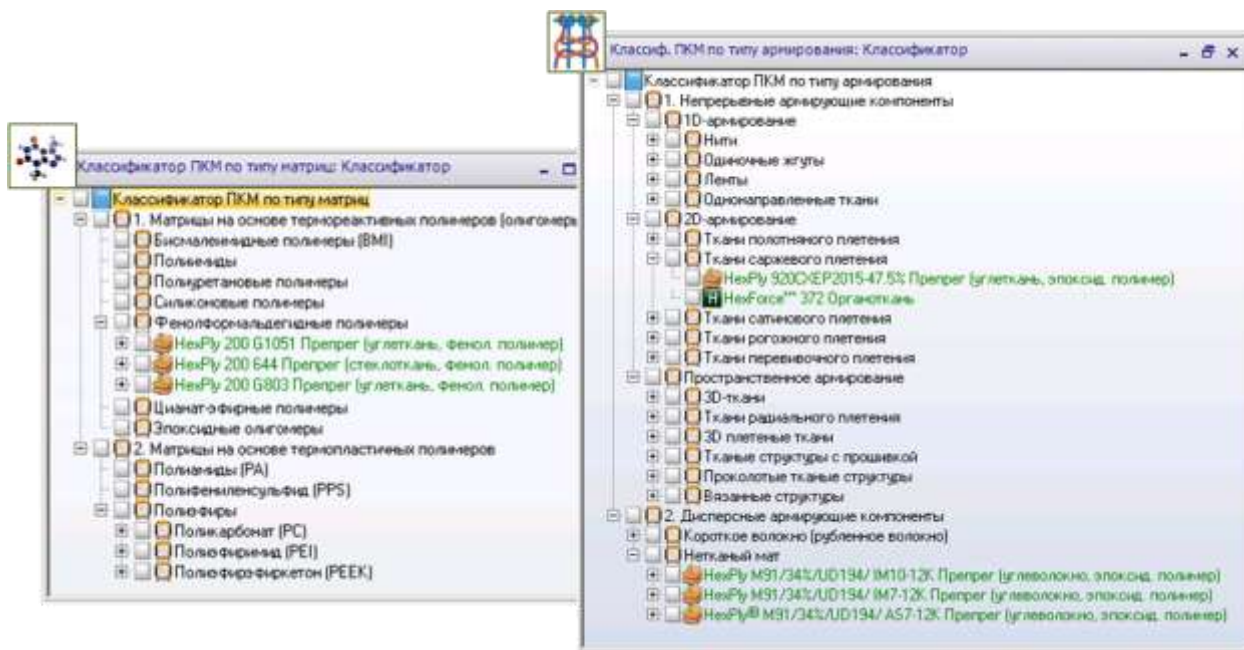
- Зависимость значений параметров ПКМ от входных требований к изделию.
- Зависимость параметров ПКМ от структуры армирования.
- Зависимость параметров ПКМ от типа ПКМ.
- Зависимость выбора структуры армирования от схемы нагружения изделия.
- Зависимость параметров ПКМ от типов волокна (углеволокно, стекловолокно и т.д.).
- Зависимость выбора технологий производства (далее технологий) от назначения изделия.
- Зависимость выбора технологий от ПКМ.
- Зависимость выбора технологий от геометрических особенностей изделия.
- Зависимость выбора технологий от типа матриц.
- Зависимость выбора технологий от серийности производства.
- Зависимость выбора технологий от степени нагружаемости и габаритов изделия.
- Зависимость выбора технологий от допустимых видов механической доработки изделий из ПКМ.
- Зависимость возможности драпировки изделия (создания упрочняющей оболочки) от геометрических особенностей изделия.
- Зависимость потребности изделия в защитно-декоративной оболочке (например, для защиты от ультрафиолета или агрессивных химических сред) от входных требований.

### ***Классификаторы***

В связи с тем, что эксперты могут менять значения факторов в зависимости от конкретных производственных условий, они реализованы в DSS CM в виде динамичных, редактируемых списков – классификаторов (все классификаторы DSS CM доступны для редактирования.). Как следствие, таблицы правил (рис. 7) базы знаний имеют гибкую структуру, то есть при изменении состава и структуры классификаторов они изменяются (корректируется число столбцов и строк, меняются заголовки). При появлении новых строк автоматически создаются незаполненные ячейки, в которых эксперты могут установить новые правила.

На рис. 8 приведены:

- Классификатор ПКМ и компонентов ПКМ по типу матриц.
- Классификатор ПКМ и компонентов ПКМ по типу армирующих компонентов.



**Рисунок 8 – Пример реализации классификаторов в DSS CM**

### *Логика работы экспертной системы*

Работа системы поддержки принятия решений осуществляется в автоматизированном режиме. При запуске системы пользователь отвечает на ограниченное количество вопросов об изделии (требования к изделию, геометрия, условия эксплуатации), потом система автоматически анализирует полученные ответы, сравнивая их с правилами, заложенными в таблицах правил (рис. 7).

Механизм логического вывода экспертной системы основан на последовательной обработке правил, установленных в таблицах. Для получения корректного результата таблицы анализируются в определенной последовательности. Разработан алгоритм обработки правил. Результаты, полученные после анализа таблиц, обрабатываются следующими методами (зависит от выбора конкретной таблицы и стадии процесса анализа/алгоритма):

- логическое сложение;
- логическое вычитание;
- суперпозиция.

Получаемый результат содержит перечень допустимых вариантов конструкторско-технологического исполнения изделия с указанием: применяемых ПКМ (может быть несколько), типов армирования, типов волокна, типов матриц, технологий производства (может быть комбинация нескольких технологий), наличия или отсутствия потребности в защитно-декоративной оболочке, а также рекомендации по укладке материала. Для каждого ПКМ и технологии рассчитывается вероятность их применения, т.к. система находит решения даже при неполном соответствии входных данных имеющимся возможностям предприятия.

Пользователь может пополнить перечень найденных исполнений собственными решениями, если посчитает это необходимым. Дополнение осуществляется также средствами DSS CM.

### *Управление данными о ПКМ*

Данные о ПКМ, которые необходимо хранить в системе, имеют разное происхождение и форму представления. Вот некоторые варианты данных: значения отдельных параметров материала, графики зависимостей различных физических величин,

компьютерные структурные модели, сертификаты, отчеты по испытаниям.

В базе данных (БД) материалов DSS CM можно хранить:

- Моно-материалы.
- Композиционные материалы в составе:
  - матрицы;
  - наполнители;
  - полуфабрикаты:
    - препреги;
    - наполненные ПКМ.

Для каждой группы материалов можно задать сортамент. Полуфабрикаты ПКМ имеют ссылки на входящие в него компоненты. БД материалов DSS CM также хранит информацию о материалах-аналогах. Для каждого материала содержится информация о его производителе и поставщиках, учитываются различные закупочные цены.

Все ПКМ и их компоненты классифицированы: по типу волокна, по типу армирования, по типу матрицы. Для каждого ПКМ и компонента ПКМ можно указать физико-химические параметры (рис. 9), для чего в DSS CM создан классификатор параметров материала. Установлены ограничения по выбору параметров в зависимости от типа ПКМ, т.е. при создании материала в БД пользователь работает не с перечнем всех возможных параметров, а только с теми, что актуальны для данного конкретного ПКМ. Это управляется через соответствующую группу правил базы знаний DSS CM – зависимость параметров от типа ПКМ.

Наименование характеристики	Значение от производителя	Расчетное значение	Значение после натуральных испытаний
<input checked="" type="checkbox"/> Дымообразование	Нет		
<input checked="" type="checkbox"/> Коэффициент влагопоглощения, % масс.	0,3		
<input checked="" type="checkbox"/> Модуль сдвига 23°C, ГПа	37		
<input checked="" type="checkbox"/> Модуль упругости 23°C, ГПа	45		
<input checked="" type="checkbox"/> Объемная доля волокна, %	40		
<input checked="" type="checkbox"/> Огнестойкость	Да		
<input checked="" type="checkbox"/> Плотность, г/см3	1,45		
<input checked="" type="checkbox"/> Прочность при изгибе 23°C, МПа	480		
<input checked="" type="checkbox"/> Прочность при растяжении 23°C, МПа	330		
<input checked="" type="checkbox"/> Прочность при сжатии 23°C, МПа	310		
<input checked="" type="checkbox"/> Стойкость к специальным жидкостям	Да		
<input checked="" type="checkbox"/> Температура переработки (только для ПКМ на основе термопластов), °C	385		
<input checked="" type="checkbox"/> Тепловой коэффициент линейного расширения (среднее по направлениям...)	3		
<input checked="" type="checkbox"/> Теплопроводность, Вт/(м*К)	2		
<input checked="" type="checkbox"/> Ударная вязкость 23°C, Шарпи, кДж/м2	8		
<input checked="" type="checkbox"/> Эрозионная стойкость	Да		

Рисунок 9 – Параметры композиционного материала РЕЕК 90НMF40

В DSS CM сохраняются параметры ПКМ в виде отдельных значений, которые важны для поиска материала (например, зависимость прочности от температуры сохраняется в DSS CM в виде объектов: прочность при температуре 23°C, прочность при температуре 100°C). В БД ПКМ значения параметров сохраняются по группам: значения от производителя, значения по результатам расчетных испытаний, значения после натуральных испытаний. Аналогичным образом задаются параметры для изделий из ПКМ.

Модели, графики, зависимости, сертификаты сохраняются в DSS CM в виде файлов, которые логически привязаны к конкретному материалу. Получается, что пользователь осуществляет поиск ПКМ по определенному списку параметров, а для уточнения

отдельных данных может быстро перейти к документам, загрузить соответствующие модели. Кроме того на паспорте ПКМ имеются ссылки на базы материалов специализированных САПР, если в них присутствует выбранный ПКМ. Если пользователь имеет доступ к базе проектов, то он может просматривать проекты, в которых применялся данный материал и связанные расчетные модели.

Аналогичным образом сохраняется информация о результатах натурных испытаний ПКМ и изделий из ПКМ: для отдельных параметров сохраняются в системе дискретные значения, остальные данные хранятся в виде документов: отчетов по испытаниям, протоколов, стандартов.

Данные о ПКМ используются экспертной системой при поиске возможных вариантов конструкторско-технологического исполнения изделия.

### ***Интеллектуальный поиск ПКМ***

В DSS CM реализована не только возможность хранения, но и управление данными о ПКМ, пользователь имеет возможность быстро найти нужные ему сведения, используя различную логику поиска.

В DSS CM можно искать ПКМ и компоненты ПКМ:

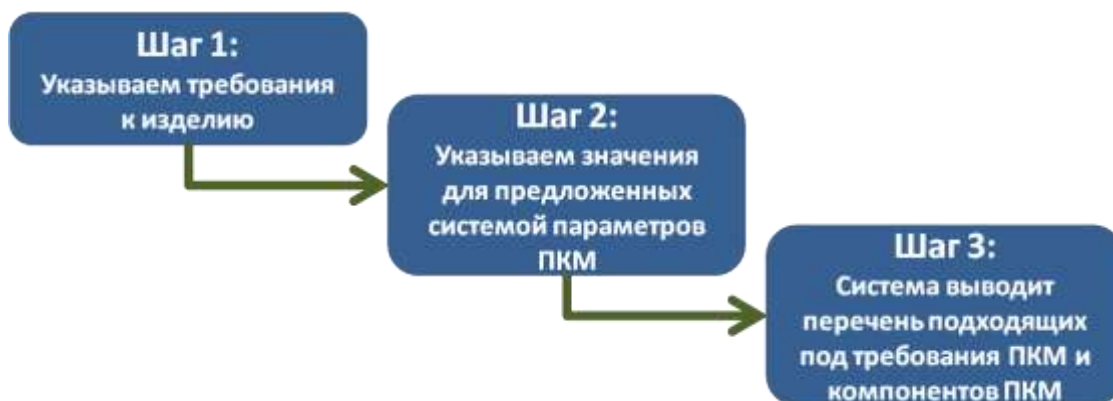
- по параметрам материала:
  - по параметрам от производителя;
  - по рассчитанным в САПР параметрам;
  - по параметрам, полученных после натурных испытаний;
  - по любому сочетанию параметров этих трех категорий;
- по требованиям к изделию;
- по типу волокна;
- по типу матрицы;
- по типу армирования;
- по производителю или поставщику.

При поиске по параметрам пользователь задает желаемые диапазоны значений параметров материала.

Поиск ПКМ по требованиям к изделию основан на (рис. 10):

- Разработанном классификаторе требований к изделию.
- Установленных связей между требованиями к изделию и параметрами ПКМ.
- Базе данных ПКМ.

Система управления требованиями DSS CM является ключевым моментом в работе системы поддержки принятия решений, это образно выражаясь, каркас, на котором держится экспертная оценка. В DSS CM реализован классификатор требований. От каждого требования установлены связи к перечню соответствующих параметров ПКМ. Например, требование «Обеспечение аэродинамического профиля изделия» обязывает разработчиков отслеживать значения параметров материала: жесткость при растяжении/сжатии, жесткость при изгибе, модуль упругости и модуль сдвига. Руководитель при инициации нового проекта указывает требования к изделию, тем самым ограничивая перечень параметров, критичных для выбора ПКМ. Результатом поиска по требованиям является перечень ПКМ и компонентов ПКМ.



**Рисунок 10 – Поиск ПКМ по требованиям к изделию**

### ***Экспертная оценка исполнений изделия***

После завершения поиска ПКМ и вариантов конструкторско-технологического исполнения изделия производится экспертная оценка полученных результатов. Ее целью являются: выбор наилучших решений и уменьшение итогового числа вариантов до начала расчетных испытаний изделия. Оценка осуществляется по перечню критериев, каждому из которых присваивается весовой коэффициент.

При разработке классификатора критериев была также использована диаграмма Исикавы (рис. 5), т.к. критерии оценки прямо соответствуют факторам, наиболее значимым для выбора исполнения изделия из ПКМ.

Работа экспертов автоматизирована. Таблица оценки создается DSS CM автоматически. Основой для структуры таблицы являются выбранные для оценки исполнения изделия. Число столбцов и строк динамически меняются в зависимости от числа выбранных исполнений. DSS CM автоматически заполняет таблицу оценками, рассчитанными в соответствии с заложенными в базе знаний правилами, таким образом большинство ячеек таблицы оказывается предварительно заполнено системой.

В экспертной оценке могут быть задействованы сразу несколько экспертов или групп экспертов. По результатам их работы создается итоговый отчет. Руководитель просматривает собранные данные и выбирает те исполнения изделия, для которых будет в дальнейшем выполнен детальный анализ с применением специализированных САПР.

### ***Обучение экспертной системы***

База знаний DSS CM реализована на основе указанных ранее таблиц правил и классификаторов. Все правила сохранены в виде объектов и связей в системе, поэтому они могут изменяться пользователями. Так, например, расширение пользователем классификатора технологий производства приведет к автоматическому изменению связанных таблиц правил.

В DSS CM реализован интерфейс работы с таблицами правил экспертной системы. Пользователь редактирует списки и таблицы, а внесенные изменения автоматически преобразовываются в связи и объекты системы.

База знаний DSS CM обучаемая. Предприятия смогут легко настроить ее под свою специфику.

## **Достоинства решения**

Достоинствами представленного решения являются:

- Предприятия быстрее и качественней выполняют этапы запуска производства композитов, упрощается освоение новых методов и технологий.

- Сокращаются сроки проектирования и подготовки производства композитных изделий.
- Достигается обоснованность и достоверность принимаемых в ходе проекта решений.
- Упрощаются планирование и расчет продолжительности работ. Появляется возможность накопления статистических данных.
- Сокращаются риски невыполнения проекта.
- Происходит автоматизированное и управляемое накопление знаний по композитной тематике, может быть реализована специализация решения под отдельные предприятия (СТП), отрасли (ОСТ).
- Появляется возможность проводить подготовку профессиональных кадров, получать вместе с системой готовые экспертные знания.
- Создаются предпосылки к появлению новых решений, это связано с учетом большего числа возможностей, чем накопленный в ходе реализации проектов опыт отдельных экспертов.

## Перспективы и заключение

Коллектив авторов видит большие перспективы в использовании DSS CM. Это принципиально новое решение, не имеющее в настоящий момент аналогов. Рынок композитов в нашей стране продолжает расти, потенциальных пользователей становится год от года все больше. DSS CM может быть легко настроена под специфику конкретного предприятия, что позволит более полно удовлетворять ожидания заказчиков.

Существует возможность интеграции DSS CM с отечественными базами данных композитов. Это позволит расширить базовые возможности решения за счет доступа к большому спектру ПКМ, данным о поставщиках и производителях.

DSS CM может взаимодействовать с различными специализированными САПР. В ходе тестового проекта были использованы системы: Ansys (CAE система Ansys от компании ANSYS, Inc., США), Digimat (разработка новых ПКМ от MSC Software Corporation, США) и Moldex3D (моделирование процессов литья под давлением от CoreTech System Co., Ltd., Тайвань).

Решение построено на основе гибкой, настраиваемой базы знаний. Оно может быть применено не только к композитной тематике. Например, на основе тех же принципов и в подобной технической реализации может быть создана система распределения заказов на проектирование и производство среди контрагентов головного предприятия. В экспертной оценке тогда могут учитываться как простые (стоимость, сроки, доставка, складские услуги), так и расчетные критерии (анализ производственных мощностей контрагентов на основе технических характеристик оборудования и его доступности в соответствии с плановой загрузкой).

DSS CM дает возможность преобразовать сложный и слабо формализуемый процесс творческого поиска в простое пошаговое проектирование, понятное, детально описанное и систематизированное.

## Литература

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пос. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. 304 с.
2. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Полимерные композиционные материалы – М.: АСВ, 2013 г. 480 с.

3. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве – СПб: Политехника, 2008. 304 с.
4. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод. Углеродные волокна. Углеродные композиты – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2007. 192 с.
5. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организации и информационные технологии – М.: Финансы и статистика, 1997. 880 с.
6. Освальд Т.А., Тунг Л.-Ш., Грэмман П. Дж. Литье пластмасс под давлением. Под ред. Э.Л. Калининцева. – СПб: Профессия, 2008. 712с.
7. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты – СПб: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
8. Питер Джексон. Введение в экспертные системы – М.: Вильямс, 2001. 624 с.
9. Яблочников Е.И., Брагинский А.Б., Восоркин С.В. Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов – СПб: Изв-я высших учебных заведений «Приборостроение», 2012, №7. – С.75-80.
10. Композиционные материалы: Справочник; Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
11. Crevel J., Berthet F., Lachaud F., Pastor M.-L. Experiment and Modelling of Injected Carbon-Fibre-Reinforced PEEK Damage Under Tensile Loading. ECCM15: 15th European Conference on Composite Materials. Conference papers. 2012. 8 p.

