

УДК 681.5 : 621(045)

DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-65-71

Принципы построения интеллектуальной системы структурного синтеза машиностроительных объектов

О. В. Малина, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассмотрена предложенная автором классификация систем автоматизации структурного синтеза (конструирования) машиностроительных объектов, позволяющая не только идентифицировать (классифицировать) уже существующие системы автоматизации проектирования и конструирования, но и определить направление развития систем структурного синтеза, обосновать принципиально новые подходы к созданию таких систем, показать возможность создания интеллектуальных инструментальных сред создания систем автоматизированного конструирования сложных машиностроительных объектов, базовым алгоритмом функционирования которых станут не функциональные зависимости предметной области, а оптимизированные переборные алгоритмы. Важным условием реализации такого подхода является подготовка информационного обеспечения и процесс обучения системы, в рамках которого должны соблюдаться следующие базовые принципы: модульности (описание объекта синтеза в виде набора дискретных структур – элементов и характеристик), декомпозиции (базовый инструмент формирования корректного множества модулей), иерархичного представления (необходимости поэтапного разбиения объекта на подструктуры в процессе формирования множества модулей, при этом формирование множества элементов структуры идет сверху вниз, от изделия, к узлам, подузлам, сборкам, подсборкам, деталям, а формирование характеристик снизу вверх), эмерджентности (грамотного отнесения характеристик к элементам структуры), достаточности (определение глубины проработки исходного материала в процессе декомпозиции), непротиворечивости (фиксация возможных причин некорректности и грамотное их использование). В статье подробно описаны данные принципы, необходимость их соблюдения, а также их влияние на качество информационного обеспечения, получаемого в процессе обучения системы; показана необходимость комплексного использования рассмотренных принципов, их взаимосвязь и особенности применения.

Ключевые слова: системы структурного синтеза, классификация, принципы, автоматизация, интеллектуализация.

Введение

Развитие информационных технологий позволило существенно продвинуться в вопросах автоматизации интеллектуальной деятельности в самых разных отраслях знаний [1–9]. Серьезное развитие получили системы автоматизированного проектирования [10–14], оказывающие существенное влияние на качество новых разработок, и на сокращение времени, затрачиваемого на выполнение проектных работ.

Появление таких крупных, универсальных систем, как SolidWorks [15, 16], КОМПАС-3D [17, 18], AutoCAD, и их широкое распространение и внедрение позволило компаниям по проектированию и производству машиностроительной продукции сделать существенный скачок в автоматизации проектной и конструкторской деятельности.

Помимо указанных систем, на предприятиях, или даже в отраслях, занятых производством определенных машиностроительных систем (таких как редукторостроение, кораблестроение, авиастроение, арматуростроение и т. д.), разрабатываются и активно применяются специализированные системы автоматизации, вобравшие в себя конструкторский опыт и результаты научных исследований в указанных областях.

Такие системы, как правило, являются ноу-хао данных компаний и используются в режиме коммерческой тайны. Сосредоточенные в них знания позволяют компании быть конкурентоспособной за счет использования в процессе разработки и выпуска своих изделий накопленного объема результатов научных исследований и инженерных разработок.

Именно поэтому публикация данных о подобных системах не раскрывает их «начинку».

В чем принципиальное отличие рассмотренных систем?

Функционирование первых направлено на автоматизацию решения общеинженерных задач, таких как проверочные инженерные расчеты, графическое представление моделей, оформление конструкторской документации.

Вторая группа систем, рассмотренная как специализированные САПР, объединяют в себе функционал, дающий возможность максимально качественно в автоматизированном режиме рассматривать задачи проектирования и конструирования объектов конкретного класса, позволяя автоматизировать не только проверочные расчеты для сформированных специалистом в ручном режиме конструкций, но и сам процесс создания указанных конструкций – структурный синтез.

Метод системного подхода, являющийся одним из методов системного анализа, позволил не только рассмотреть все многообразие систем автоматизации проектирования и конструирования, но и сформулировать классификационные признаки, позволяющие как идентифицировать существующие системы, так и определить направление развития информационных технологий в области интеллектуализации САПР.

Классификация систем

структурного синтеза технических объектов

Классификация систем структурного синтеза, рассмотренная в работе [19], позволяет выделить

следующие классификационные признаки и их значения.

Первый классификационный признак определяет формулировку задачи проектирования. Функционирование системы может быть направлено на получение варианта конструкции, удовлетворяющей требованиям технического задания, или даже на получение наилучшего варианта конструкции, удовлетворяющего требованиям технического задания.

Второй подход, в отличие от первого, требует постановки оптимизационной задачи: что следует считать наилучшим вариантом и как поступить, если указанные в техническом задании требования противоречат друг другу.

Второй классификационный признак характеризует базовый подход к получению искомой конструкции, отвечающей требованиям технического задания.

Результат может быть получен посредством реализации процесса прямого синтеза либо процесса выбора из множества ранее полученных конструкций.

Реализация процесса прямого синтеза возможна в случае наличия сквозного алгоритма, позволяющего получить конструкцию, отвечающую требованиям ТЗ. На вход такой системы подаются исходные данные из ТЗ, которые посредством использования существующих функциональных зависимостей позволяют на выходе получить структуру искомой конструкции и все описывающие ее параметры.

Для сложных объектов реализация указанного подхода может столкнуться с двумя серьезными проблемами. Во-первых, это отсутствие сквозного алгоритма структурного синтеза. Действительно, для большинства машиностроительных объектов определены базовые этапы конструирования, их последовательность, но реализация этих этапов, как правило, осуществляется специалистом-конструктором в ручном режиме. Вторая проблема – проблема противоречивости исходных данных – возникает из-за большого количества параметров и критериев, характеризующих конструкцию, которые влияют друг на друга, то есть являются взаимозависимыми. Учет этого влияния требует высокой квалификации и энциклопедических знаний постановщика задачи, формирующего ТЗ.

Реализация второго подхода – выбора из множества – требует построения этого множества возможных вариантов с последующим выбором искомого, отвечающего требованиям ТЗ. Основная проблема реализации данного подхода – построение множества возможных вариантов.

Третий классификационный признак касается определения базовой функции системы и роли технического задания в процессе автоматизированного проектирования.

Классический подход к процессу конструирования, реализуемый в большинстве специализированных систем, предполагает наличие четко обозначенных множеств входных и выходных данных.

Для инженерных систем и присущих им прямых расчетов исходные данные – это критерии ТЗ, а результат – параметры структуры. Базовая функция системы проектирования – определение набора параметров, описывающих конструкцию, соответствующую ТЗ.

Реализация автоматизации такого подхода сталкивается с тремя существенными проблемами.

1. Отсутствие алгоритма, преобразующего заданный набор критериев в искомый набор параметров (эта проблема уже была обозначена выше).

2. Многообразие постановок задачи, когда потребитель в ТЗ задает различные по сути наборы исходных данных и, как следствие, устанавливает значение не всех критериев, желая получить полный комплект значений параметров.

3. Отсутствие четкого определения множества критериев и множества параметров. Так, например, габариты изделия могут стать как критерием в постановке задачи (когда наше изделие должно вписаться в определенный объем), так и параметром (когда размер изделия не лимитирован) в зависимости от постановки задачи.

Предлагаемый автором альтернативный классическому подход предполагает отсутствие деления множества характеристик, описывающих объект, на критерии и параметры. Согласно данному подходу перед началом процесса синтеза формируется полное множество характеристик объекта (его признаков). Потребитель в качестве технического задания определяет значения подмножества характеристик, а базовая функция системы – доопределить множество, то есть найти возможные значения всех остальных признаков.

Четвертый классификационный признак определяет базовый алгоритм процесса синтеза, реализуемый системой.

В первом случае аппарат синтеза – это алгоритмы предметной области, оформленные в виде расчетных зависимостей, эмпирических кривых, таблиц и т. д. Именно по причине того, что для большинства областей машиностроения нет полного множества таких зависимостей, покрывающих весь процесс структурного синтеза, велика роль человека в процессе синтеза не только как лица принимающего, но и лица, предлагающего решения.

Во втором – это переборные алгоритмы на множестве возможных значений всех характеристик (параметров и критериев) с исключением невозможных сочетаний. В данном случае предметные алгоритмы становятся аппаратом анализа уже сформированных конструкций.

Очевидно, что при таком подходе роль специалиста не менее существенна, поскольку необходимо определить множество тех данных, перебор которых позволит системе найти искомое решение, а также адаптировать все существующие зависимости предметной области, чтобы система могла использовать их в качестве инструмента анализа.

Отличие состоит в том, что в первом подходе человек вовлечен в процесс синтеза, а во втором – в

процесс подготовки данных и обучения системы. Очевидно, что на этапе подготовки данных можно привлечь большое количество специалистов, проанализировать подготовленные ими данные, то есть обобщить опыт и его сохранить, что позволит повысить качество разрабатываемых конструкций.

Анализ указанной классификации систем предполагает возможность реализации принципиально нового подхода к автоматизации конструкторской деятельности, модель которого реализует задачу структурного синтеза как процесс получения варианта конструкции, удовлетворяющей требованиям ТЗ путем выбора из множества вариантов, построенных посредством перебора на всем множестве характеристик (критериев и параметров) класса синтезируемых объектов.

Достоинство такого подхода – в универсальности создаваемой системы, а именно в ее инвариантности по отношению к объекту проектирования. Базой обеспечения инвариантности в этом случае будут:

- универсальное математическое обеспечение, описывающее процесс синтеза, представляющее собой оптимизированный переборный алгоритм;
- наличие формализованных правил формирования информационного обеспечения системы, включающего знания о классе объектов в виде множества характеристик, множества правил выявления некорrekтностей и т. д.

Недостаток подхода – принципиально иной взгляд на процесс автоматизированного структурного синтеза, предполагающий создание принципиально нового математического обеспечения, включающего модель объекта конструирования (класса объектов), модель процесса конструирования и модель самой системы.

Более того, разработка указанных моделей может позволить создать универсальную среду, автоматизирующую процесс разработки систем структурного синтеза для различных классов объектов, так сказать САПР второго порядка.

Фактически эта среда должна уметь реализовывать оптимизированный переборный алгоритм, лежащий в основе модели процесса синтеза, и уметь на основе экспертных знаний специалистов формировать модель класса синтезируемых объектов.

Для системной реализации указанных моделей определим принципы, выполнение которых позволит говорить о возможности создания среды разработки САПР.

Принципы создания и функционирования системы структурного синтеза

Поскольку основной характеристикой такой системы мы определили универсальность, то первый принцип, соблюдения которого следует добиваться, – это принцип инвариантности.

Для этого как раз в качестве математического аппарата синтеза и используются переборные алгоритмы, а не функциональные зависимости предметной области, то есть структура системы и алгоритм ее функционирования не зависят от того, какой объект она проектирует.

Более того, алгоритм функционирования системы не накладывает ограничений на перечень исходных данных технического задания – пользователю позволено задать значения любых характеристик из полного перечня признаков, характеризующих объект, система должна доопределить значения всех остальных.

Очевидно, что реализация принципа инвариантности возможна, если все, что описывает предметную область (конструктивные элементы, особенности, расчетные общетехнические и специальные зависимости), является элементами информационного обеспечения системы, а не алгоритмического.

Использование переборных алгоритмов в качестве базового алгоритма синтеза должно реализовываться при соблюдении принципа минимизации.

Процесс должен быть организован так, чтобы избежать возникновения проблемы «проклятия размерности» путем минимизации памяти для хранения исходных данных о классе объектов, памяти для хранения промежуточных вариантов в процессе синтеза, и должен выполняться за приемлемое время.

При этом очевидно, что качество технических решений будет напрямую зависеть от качества модели класса объектов, в рамках которой должна быть собрана и систематизирована вся существенная информация о данных объектах.

Исходя из того, что в качестве инструмента синтеза выбран перебор, очевидно, что его реализация требует исходное множество характеристик, на котором указанный перебор будет осуществляться.

Для получения такого множества следует руководствоваться принципом дедукции – «от частного к общему».

Реализация данного принципа состоит в том, что множество исходных данных о классе объектов будет формироваться на базе ограниченного набора известных вариантов конструкций данного изделия с возможностью последующего расширения и дополнения.

С этой целью экспертам предлагается выбрать и описать наиболее яркие, уже существующие технические решения конструкций объектов рассматриваемого класса.

Процесс описания фактически направлен на представление объекта как набора элементов, обладающих присущей им формой, размерами, функциональным назначением.

Изначально этот процесс, его базовые шаги были разработаны и описаны Половинкиным в его книге «Поисковое конструирование», а затем модернизированы и существенно дополнены [20, 21].

Было показано, что соблюдение принципа модульности, декларирующего возможность рассмотрения структуры объекта (или целого класса объектов) как конечного набора взаимосвязанных элементов – модулей, является продуктивным подходом, позволяющим сформировать необходимое для перебора множество. Причем множество модулей по своей структуре неоднородно и может быть разбито на 2 непересекающихся подмножества:

- структурообразующие модули (например, детали, из которых состоит изделие);
- модули, обеспечивающие структурную полноту (фактически являющиеся характеристиками структурообразующих модулей: размеры, материал, форма и т. д.).

При этом важно понимать, что бессмысленно раскладывать сложный технический объект сразу на отдельные детали или даже геометрические примитивы (необходимые для графического отображения структуры). В классическом конструировании изделие составляется из узлов, узлы – из подузлов, сборок, подборок и далее деталей.

Реализация принципа иерархического описания – это не просто дань классическому конструированию. Это необходимое условие, чтобы получить адекватный, необходимый для полного описания класса объектов набор модулей.

Дело в том, что некоторые важные характеристики изделия относятся именно к промежуточным структурам, таким как сборки и узлы. Они не могут быть отнесены к отдельным деталям, составляющим эти промежуточные структуры, поскольку часто фиксируют взаимодействие (отношение) нескольких деталей (модулей) между собой.

В принципе, классическое конструирование и выделяет в рамках конструкции указанные промежуточные структуры (узлы, сборки, под сборки), когда они имеют свое особенное функциональное назначение и некоторую структурную обособленность.

Соблюдение принципа иерархического описания, то есть представления объекта в виде многоуровневой структуры, влечет за собой необходимость соблюдения еще двух принципов, что позволяет получить корректный результат.

Первый из них – принцип декомпозиции. Им мы руководствуемся, когда выполняем иерархическое описание, поэтапно раскладывая объект на структурообразующие модули.

В результате такого разложения должна получиться многоуровневая древовидная структура, каждая вершина которой (за исключением корневой, обозначающей объект в целом) имеет одну родительскую вершину – конструктивный элемент, в который она входит, и конечное количество дочерних вершин (составляющих ее структурных элементов). Более того, декомпозиция должна быть реализована так, чтобы полученные по результату ее выполнения модули могли быть использованы как строительный материал для новых композиций.

Анализ множества полученных структурообразующих модулей также показал их неоднородность.

Декомпозиция осуществляется «сверху вниз», от объекта к его составным частям, при этом на верхнем корневом уровне находится объект в целом, вершины следующих уровней – это конструктивные элементы (такие структурообразующие модули называем конструктивными).

Самый нижний уровень, содержащий конструктивные структурообразующие модули, содержит вершины, соответствующие деталям.

Однако на этом декомпозиция не заканчивается. Детали состоят из частей, которые могут иметь различную функциональную нагрузку. Например, вал имеет опорную часть, соединительную часть, часть, на которую насаживается другая деталь. Каждая часть имеет свои размеры, по-разному они участвуют в расчетах. Очевидно, что это важное знание. Поэтому в этом случае декомпозиция продолжается и структурообразующие модули, соответствующие элементам деталей, располагаются на следующем уровне древовидной структуры. В дальнейшем мы будем называть их функциональные структурообразующие модули.

Последний, нижний уровень древовидной структуры заполнен структурообразующими модулями, являющимися геометрическими примитивами, необходимыми для последующего графического отображения конструкции при формировании чертежа, являющегося неотъемлемой частью конструкторской документации. Такие структурообразующие модули получили название – геометрические.

Сформированная, согласно принципу декомпозиции, древовидная структура является каркасом, который необходимо дополнить множеством вершин, обеспечивающих структурную полноту.

Дополнение модели структурообразующими модулями осуществляется при движении по каркасу «СНИЗУ – ВВЕРХ». Именно такая последовательность дополнения позволяет реализовать принцип эмерджентности, согласно которому описание, зафиксированное в модуле, обеспечивающем структурную полноту, должно быть отнесено к тому структурообразующему модулю, который оно характеризует, и не может быть отнесено к родительской структурообразующей вершине.

Это очень важно, поскольку рассматриваемая система должна иметь потенциальную возможность синтезировать как объект в целом, так и его составную часть. Задача в такой постановке решается тогда, когда возникает необходимость замены некоторой детали или узла в существующей конструкции на аналогичный, но не идентичный.

Если некоторая характеристика детали будет ошибочно в процессе декомпозиции отнесена к узлу, в котором работает указанная деталь, то в процессе синтеза она (эта характеристика) не будет рассмотрена, поскольку в переборе будут участвовать только модули, входящие в древовидную структуру с корневой вершиной, обозначающей эту деталь.

Таким образом, возникнет серьезная логическая ошибка.

Помимо принципа эмерджентности на процесс синтеза серьезное влияние оказывает соблюдение еще двух принципов: принципа достаточности и принципа непротиворечивости.

Принцип достаточности формулирует ограничения на процесс декомпозиции, ограничивая уровень проработки (детализации) структуры. Очевидно, чем выше детализация, тем больше модулей в множестве для перебора в процессе синтеза, тем больше времени и памяти потребуется на его реализацию. Однако

недостаточная детализация может привести к потере значащих характеристик, а значит, сузить возможности системы.

При описании исходных объектов должна обеспечиваться:

- достаточность снизу – «дальнейшая декомпозиция не имеет смысла»;
- достаточность сверху – «менее подробно – нельзя».

Иллюстрацией реализации достаточности снизу является декомпозиция стандартных деталей. Так, например, нет смысла раскладывать подшипник на шарики, цилиндры и т. д.

Логично, что дочерние структурообразующие модули модуля «подшипник» – это не составляющие его детали, а геометрические примитивы его графического представления.

Рассмотренные выше принципы являются базовыми для реализации этапа декомпозиции.

Если декомпозиция – это инструмент получения набора исходных модулей (кубиков для будущего синтеза), то систематизация множества указанных модулей – это основа для применения инвариантных алгоритмов синтеза, отвечающих принципу минимизации.

Объединяя модули в структуру, система в процессе синтеза должна уметь исключать сочетания модулей, которые по тем или иным причинам невозможны, то есть противоречивы.

Для соблюдения принципа непротиворечивости на первом этапе до начала синтеза все множество модулей, полученное в результате декомпозиции набора базовых конструкторских решений, следует классифицировать по виду отношений:

– аналогичные – выполняющие одну функцию и являющиеся одним конструктивным элементом, при этом в разных базовых конструкциях они могут иметь разные характеристики (например, зубчатое колесо может быть разных размеров, цельное или в сборе). В рамках одной структуры на одной и той же позиции может быть только один из аналогичных структурных модулей (в традиционной И-ИЛИ модели поискового конструирования такие вершины вырождаются в одну);

– альтернативные – выполняющие одну функцию, но являющиеся разными конструктивными элементами, альтернативные они по той причине, что в одной структуре в одной конструктивной позиции не могут присутствовать одновременно (в традиционной И-ИЛИ модели поискового конструирования такие вершины объединяются вершиной ИЛИ);

– независимые – выполняющие разные функции. Такие модули могут объединяться в рамках одной структуры, если это не противоречит логике этой структуры (в традиционной И-ИЛИ модели поискового конструирования такие вершины объединяются вершиной И).

Указанная классификация – результат следования принципу непротиворечивости и первый шаг в направлении оптимизации структурного синтеза.

Заключение

Рассмотренные принципы не являются простой декларацией. Они реализуются функционалом модуля универсальной среды, автоматизирующей процесс разработки систем структурного синтеза для различных классов объектов, отвечающего за подготовку информационного обеспечения будущей САПР.

Работа этого модуля заключается в опросе экспертов и обобщении полученных данных. В рамках опроса система формирует «скелет» декомпозиции «сверху вниз», запрашивает характеристики «снизу вверх», отслеживает глубину проработки, контролируя описание стандартных элементов, корректирует получаемую модель в зависимости от вновь полученных данных, создает классификатор – модель класса объектов, на которые настраивается система структурного синтеза, формирует множество «запрещенных фигур», использование которых уже в процессе синтеза обеспечивает оптимизацию переборных алгоритмов и непротиворечивость полученных результатов.

Библиографические ссылки

1. Зеленцова Л. С., Уколов В. Ф., Тихонов А. И. Развитие интеллектуализации промышленности России: стратегический подход // Управление. 2023. № 4. С. 17–24. DOI:10.26425/2309-3633-2023-11-4-17-24.
2. Тагирова К. Ф., Шалупов И. С., Вульфин А. М. Современные интеллектуальные информационные технологии в нефтяной промышленности // Вестник УГАТУ. 2022. № 3 (97). С. 78–89.
3. Изосимов Н. П. Внедрение интеллектуальных технологий в систему организации труда: на примере горнодобывающей промышленности // Финансовые рынки и банки. 2021. № 10. С. 99–102.
4. Шинкевич А. И., Лубнина А. А., Райский И. А. Тенденции новационного развития обрабатывающих отраслей // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. № 4. С. 51–56.
5. Нургалеев Р. К., Шинкевич А. И. Логико-информационная модель управления процессами «умного производства» // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. № 2. С. 29–36.
6. Технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 / А. А. Федоров, И. В. Либерман, С. И. Корягин, П. М. Клячек // *π-Economy*. 2021. № 3. С. 19–39. DOI 10.18721/IE.14302.
7. Кунина Е. В. Влияние цифровых технологий на организационное развитие предприятия // Вестник РГТУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2021. № 3-1. С. 8–20.
8. Чжан Ц. Применение графов знаний как элемента интеллектуального производства (на примере обрабатывающей промышленности Китая) // Теория и практика общественного развития. 2025. № 2. С. 133–139. DOI:10.24158/tipor.2025.2.17.
9. Хайдаров А. К., Бегматов Д. К. К вопросу применения информационных технологий в машиностроении // Вестник науки и творчества. 2022. № 10 (82). С. 38–42.
10. Применение САПР в аэрокосмической отрасли / М. Ф. Юшкова, В. В. Бочанова, Е. А. Ивашова, А. А. Казанкова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. С. 1327–1329.
11. Подгурская И. Г., Павленко Е. М. Разработка САПР для энергетических систем // Вестник Амурского государ-

ственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2024. № 107. С. 31–36.

12. Батраков Г. С., Кондусова В. Б. Разработка и применение алгоритмов САПР технологической оснастки // Вестник науки. 2025. № 6 (87). С. 1671–1676.

13. Соловьев А. Н., Киричевский Р. В. Развитие САПР для решения задач механики с использованием МКЭ // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2021. № 4. С. 67–84.

14. Миловzorov О. В., Грибов Н. В. О создании параметрических мини-САПР 3D-моделирования конструктивно подобных деталей // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 12. С. 252–257. DOI:10.24412/2071-6168-2023-12-252-253.

15. Uzoqov F. G. Solidworks dasturida yarim aylanalı kon-solli kolosnikni modellash-tirish // Механика и технология. 2024. № 4. С. 174–180.

16. 3D-моделирование в CAD-системах на примере программы SOLID WORKS / Ю. И. Новоселова, А. М. Пауков, М. А. Шерышев, К. В. Акимов, Н. С. Диканова // Успехи в химии и химической технологии. 2018. № 6 (202). С. 120–122.

17. Бражкина Н. А., Алексеева О. В., Козлова Е. В. Определение скоростей в плоских механизмах с применением параметризации САПР «КОМПАС» // Междисциплинарные исследования: опыт прошлого, возможности настоящего, стратегии будущего. 2021. № 4. С. 6–10.

18. Батраков Г. С., Кондусова В. Б. Разработка и внедрение системы автоматизированного проектирования технологической оснастки на предприятии // Вестник науки. 2025. № 6 (87). С. 1659–1664.

19. Малина О. В. Классификационные факторы процесса структурного синтеза дискретных объектов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2019. № 4. С. 132–138.

20. Хоменко Т. В., Васильева Т. В. Системоанализ автоматизированных систем поискового конструирования: концепция развития // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 3. С. 76–83.

21. Малина О. В., Моисеев А. С., Малина Е. А. Классификатор области знаний как информационная модель системы структурного синтеза. Проблемы его создания и расширения // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. № 4. С. 5–13.

References

1. Zelencova L.S., Ukolov V.F., Tihonov A.I. [The Development of Russia's Industrial Intellectualization: A Strategic Approach]. *Upravlenie*, 2023, vol. 11, no. 4, 2023, pp. 17-24 (in Russ.). DOI:10.26425/2309-3633-2023-11-4-17-24.

2. Tagirova K.F., Shalupov I.S., Vul'fin A.M. [Modern Intelligent Information Technologies in the Oil Industry]. *Vestnik UGATU*, 2022, vol. 26, no. 3 (97), pp. 78-89 (in Russ.).

3. Izosimov N.P. [Introduction of intelligent technologies into the labor organization system: the mining industry as an example]. *Finansovye rynki i banki*, 2021, no. 10, pp. 99-102 (in Russ.).

4. Shinkevich A.I., Lubnina A.A., Rajs-kij I.A. [Trends in Innovative Development of Manufacturing Industries]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2021, vol. 23, no. 4, 2021, pp. 51-56 (in Russ.).

5. Nurgaliev R.K., Shinkevich A.I. [Logic-information model for managing smart production processes]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2021, vol. 23, no. 2, pp. 29-36 (in Russ.).

6. Fedorov A.A., Liberman I.V., Korjagin S.I., Klachek P.M. [Technology for designing neuro-digital ecosystems to implement the Industry 5.0 concept]. *π-Economy*, 2021, vol. 14, no. 3, 2021, pp. 19-39 (in Russ.). DOI 10.18721/JE.14302.

7. Kunina E.V. [The impact of digital technologies on organizational development]. *Vestnik RGGU. Seriya «Jekonomika. Upravlenie. Pravo»*, 2021, no. 3-1, 2021, pp. 8-20 (in Russ.).

8. Chzhan C. [Application of knowledge graphs as an element of intellectual production (using the example of China's manufacturing industry)]. *Teorija i praktika obshhestvennogo razvitiya*, 2025, no. 2, 2025, pp. 133-139 (in Russ.). DOI:10.24158/tipor.2025.2.17.

9. Hajdarov A.K., Begmatov D.K. [On the Application of Information Technologies in Mechanical Engineering]. *Vestnik nauki i tvorchestva*. 2022, no. 10 (82), pp. 38-42 (in Russ.).

10. Jushkova M.F., Bochanova V.V., Ivashova E.A., Kazankova A.A. [Application of CAD in the Aerospace Industry]. *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki*. 2022, vol. 3, pp. 1327-1329 (in Russ.).

11. Podgurskaja I.G., Pavlenko E.M. [CAD development for energy systems]. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i jekonomicheskie nauki*. 2024, no. 107, pp. 31-36 (in Russ.).

12. Batrakov G.S., Kondusova V.B. [Development and application of CAD algorithms for technological equipment]. *Vestnik nauki*. 2025, vol. 3, no. 6, pp. 1671-1676 (in Russ.).

13. Solov'ev A.N., Kirichevskij R.V. [Development of CAD systems for solving mechanical problems using FEM]. *Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tehnologii*. 2021, vol. 19, no. 4, pp. 67-84 (in Russ.).

14. Milovzorov O.V., Gribov N.V. [About creating parametric mini-CAD 3D models of structurally similar parts]. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2023, no. 12, pp. 252-257 (in Russ.). DOI:10.24412/2071-6168-2023-12-252-253

15. Uzoqov F.G. [Solidworks dasturida yarim aylanalı kon-solli kolosnikni modellash-tirish]. *Mehanika i tehnologija*. 2024, vol. 5, no. 4, 2024, pp. 174-180.

16. Novoselova Ju.I., Paukov A.M., Sheryshev M.A., Aki-mov K.V., Dikanova N.S. [3D modeling in CAD systems using the SOLID WORKS program]. *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*. 2018, vol. 32, no. 6, pp. 120-122 (in Russ.).

17. Brazhkina N.A., Alekseeva O.V., Kozlova E.V. [Determining velocities in planar mechanisms using the KOMPAS CAD parameterization]. *Mezhdisciplinarnye issledovaniya: opyt proshlogo, vozmozhnosti nastojashhego, strategii budushhego*. 2021, no. 4, pp. 6-10 (in Russ.).

18. Batrakov G.S., Kondusova V.B. [Development and implementation of an automated design system for technological equipment at an enterprise]. *Vestnik nauki*. 2025, vol. 3, no. 6 (87), pp. 1659-1664 (in Russ.).

19. Malina O.V. [Classification factors of the structural synthesis process of discrete objects]. *Vestnik JuUrGU. Seriya: Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2019, vol. 19, no. 4, pp. 132-138 (in Russ.).

20. Homenko T.V., Vasil'eva T.V. [System Analysis of Automated Search Design Systems: Development Concept]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii*. 2012, no. 3, 2012, pp. 76-83 (in Russ.).

21. Malina O.V., Moiseev A.S., Malina E.A. [The knowledge domain classifier as an information model of the structural synthesis system. Problems of its creation and expansion]. *Vestnik JuUrGU. Seriya: Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2020, vol. 20, no. 4, pp. 5-13 (in Russ.).

Principles of Building an Intelligent System for Structural Synthesis of Mechanical Engineering Objects

O. V. Malina, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The article considers an original classification of automation systems for structural synthesis (design) of mechanical engineering objects, allowing not only to identify (classify) existing automation systems for design, but also to determine the direction of development of structural synthesis systems, to substantiate fundamentally new approaches to create such systems, and to show the possibility of creating intelligent tool environments for building automated design systems for complex engineering objects, whose basic operation algorithm will be based not on functional subject area dependencies, but on optimized search algorithms. Preparation of information support and system training process to follow the basic principles of modularity (describing the synthesis object as a set of discrete structures, elements, and characteristics), decomposition (a basic tool for forming a correct set of modules), hierarchical representation (the need to divide an object into substructures in a step-by-step manner during the formation of a set of modules, with the formation of a set of structure elements proceeding from the top down, from the product to the nodes, sub-nodes, assemblies, sub-assemblies, and parts, while the characteristics are formed from the bottom up), emergence (the correct reference of characteristics to structure elements), sufficiency (determining the depth of source material analysis during decomposition), and consistency (recording possible causes of inconsistency and using them correctly), is an essential condition to implement the approach. The article provides a detailed description of these principles, the need to comply with them, and their impact on the information quality provided during the system's training. It also highlights the importance of using these principles in a comprehensive manner, their correlation and application features.

Keywords: structural synthesis systems, classification, principles, automation, intellectualization.

Получено: 29.08.25

Образец цитирования

Малина О. В. Принципы построения интеллектуальной системы структурного синтеза машиностроительных объектов // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 4. С. 65–71. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-65-71.

For Citation

Malina O.V. [Principles of building an intelligent system for structural synthesis of mechanical engineering objects]. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*. 2025, vol. 23, no. 4, pp. 65-71 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-65-71.