

КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Медведев В. С., Медведев В. В., Дячкин Б. А.

Рассмотрены различные модели при проектировании технических систем, в частности, модульного и вспомогательного инструмента. Особое внимание уделено когнитивным моделям. Они обеспечивают учет различных внешних факторов на конструкцию вспомогательного инструмента на этапе предпроектного анализа. Разработана когнитивная модель, учитывающая влияние технических, организационных и эксплуатационных факторов на конструкцию вспомогательного инструмента для тяжелых обрабатывающих центров. Разработаны схемы различных конструкций модульного инструмента, в которых учитываются заданные внешние факторы.

Розглянуто різні моделі при проектуванні технічних систем, зокрема, модульного і допоміжного інструмента. Особлива увага приділена когнітивним моделям. Вони забезпечують облік різних зовнішніх факторів на конструкцію допоміжного інструмента на етапі допроектного аналізу. Розроблено когнітивну модель, що враховує вплив технічних, організаційних і експлуатаційних факторів на конструкцію допоміжного інструмента для важких обробних центрів. Розроблено схеми різних конструкцій модульного інструмента, у яких ураховуються задані зовнішні фактори.

Different models at technical system designing are considered, in particular of a module and auxiliary tool. The special attention is paid to cognitive models. They allow taking into account different external factors influencing on auxiliary tool design on a pre-project analysis stage. The cognitive model is developed, which takes into account the influence of technical, organizational and operating factors on design of auxiliary tool for heavy processing centers. Circuits of different module tool designs are drawn up, which take into account predetermined external factors.

Медведев В. С.

ст. преп. каф. ТМ ДГМА
gazeta@dgma.donetsk.ua

Медведев В. В.

канд. техн. наук, доц. ДонНТУ
vadim.medvedev@ua.fm

Дячкин Б. А.

студент ДГМА
kaktus.igolk@yandex.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

УДК 658.52.011.56

Медведев В. С., Медведев В. В., Дячкин Б. А.

КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Для повышения эффективности механообработки ведущими фирмами создаются новые конструкции режущего инструмента и режущих пластин. Поэтому для их установки на обрабатывающий центр значительно увеличились объемы проектирования различных конструкций блочных, модульных, вспомогательных инструментов и кассет для установки режущего инструмента. Так фирмой Seco на исследования в области инструментов тратится свыше 2 млн дол. в год. Успех проектирования зависит от квалификации конструктора, что неминуемо вносит человеческий фактор. Поэтому в процессе проектирования необходимо опираться на алгоритмы и модели, поддерживающие творческие процессы.

На сегодняшний день мало изучены интеллектуальные системы, способные по заложенным алгоритмам и моделям решать конструкторские, творческие задачи. Однако, известен ряд моделей проектирования. Из них: морфологический анализ, модели на основе нейронных сетей, когнитивные модели.

Морфологический анализ обеспечивает проектирование новых конструкций путем подбора возможных частных решений отдельных частей одной задачи. Выбор вариантов частных решений осуществляется по морфологическим признакам, которые формируются логическими матрицами. Морфологические модели позволяют рассмотреть большое количество вариантов и найти ряд конструкторских решений [1, 2]. Вместе с тем они достаточно консервативны. Для расширения вариантов решений необходимо изменить логическую матрицу, при этом изменяется количество частных решений, которые приводят к изменениям общего решения.

Более гибкими являются модели с использованием нейронных сетей [3]. Нейросеть состоит из слоёв искусственных нейронов, соединённых между собой синапсами. Для большинства решаемых задач наиболее эффективно связывать каждый нейрон последующего слоя с каждым нейроном предыдущего слоя. Непосредственно каждый нейрон представляет собой сумматор с нелинейной передаточной функцией. Несмотря на то, что передаточная функция предполагает жесткую зависимость одного параметра от другого, соединение множества нейронов и принципы обучения нейросетей позволяют синтезировать решения, не заложенные начальными алгоритмами.

Неконсервативными, позволяющими гибко менять алгоритмы творческих действий, являются когнитивные модели. Когнитивность означает системные проявления сознательных манипуляций с понятийными структурами различных предметных областей [4]. Данный подход обеспечивает учёт множества внешних факторов, влияющих на конструкцию технологического инструмента. Он позволяет перейти к разработке системы понятий внешних факторов и их отдельного структурирования.

При разработке модульного и вспомогательного инструмента важно учесть ряд внешних факторов, которые существенно влияют на его конструкцию. Применение когнитивных моделей показало положительные результаты при проектировании конструкторско-технологического классификатора станочных приспособлений [5]. Когнитивные модели позволяют учитывать силовые и температурные параметры, действующие на инструмент, а также организационные, эксплуатационные и экономические факторы. Поэтому целесообразно создание методологического аппарата, способствующего процессу проектирования сборного вспомогательного инструмента.

В настоящее время эксплуатируется ряд конструкций сборных крупногабаритных резцов. Основной отличительной особенностью резцов, представленных на рис. 1, является блочно-модульная конструкция, повышающая универсальность и ремонтпригодность. Известны конструкции резцов (ОНИЛ КИИ) [6] с быстросменными блок-вставками различных типоразмеров, которые устанавливаются на державку с помощью соединения типа «ласточкин хвост» (рис. 1, а). Firmой Pramet Tools предложен резец с кассетой (рис. 1, б). Резец с креплением конусной резцовой вставкой предлагается фирмой Imrego (рис. 1, в). Firmой Hertel достаточно длительное время реализуется резец с креплением с помощью двух плоских зубчатых колес и цанги (рис. 1, г). Каждая из приведенных конструкций имеет свои преимущества и недостатки, которые проявляются в процессе эксплуатации.

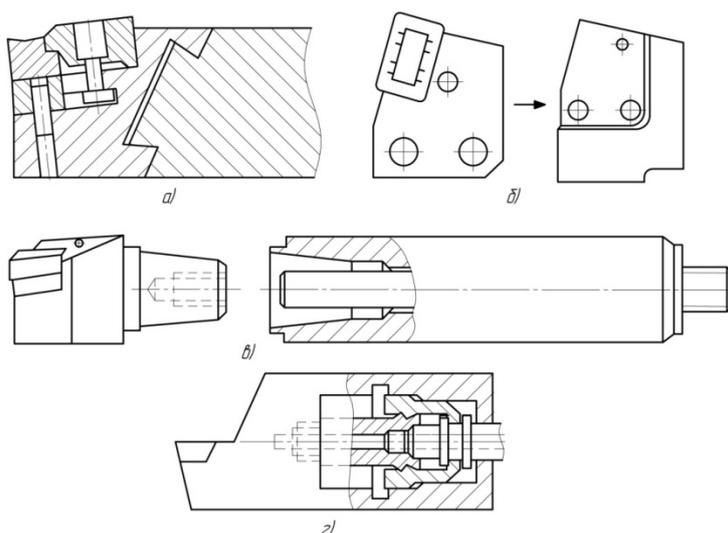


Рис. 1. Виды крепления сборного инструмента

В настоящее время ведущими фирмами продолжается разработка новых режущих пластин, а также блочных, модульных и вспомогательных инструментов, позволяющих достичь заданных точностных параметров обработки.

Целью работы является повышение эксплуатационных качеств сборного инструмента на базе когнитивных моделей проектирования.

Основными задачами исследования являются:

1. Исследование когнитивных связей между эксплуатационными факторами и конструкцией инструмента;

2. Разработка новых вариантов конструкций резцов для тяжелой токарной обработки.

Одной из важнейших задач ранних стадий проектной деятельности является формирование концепции изделия. Проведение концептуального анализа объекта проектирования предполагает решение ряда задач, а именно:

- разделение системы на функциональные элементы;
- выявление атрибутов (характеристик) выделенных элементов;
- нахождение взаимосвязей (отношений) между структурными элементами;
- построение на основе выявленных свойств и отношений моделей функционирования (в том числе математических);
- выявление существенных для процесса получения знаний признаков и свойств описания объекта.

Необходимость решения перечисленных задач требует построения структурного описания технической системы, которая реализуется моделью. Модели иногда представляют как совокупность понятий, их характеристик и отношений, а в зависимости от того, какие элементы, характеристики и отношения используются, различают отдельные типы моделей.

Когнитивная модель взята в область машиностроения с когнитивной психологии. С точки зрения технических направлений знаний когнитивные модели:

- моделируют умственную деятельность человека;
- обеспечивают структуры, моделирующие хранения, извлечения информации, суждения, оценки;
- содержат концепты, которые могут быть использованы в системах с искусственным интеллектом.

При проектировании нового изделия мы обычно имеем предыдущее изделие или несколько изделий (прототипы), которые нас не устраивают в каком-то отношении. В противовес ему мы создаем новый образ изделия, а именно мысленный образ (гештальт) и работаем в процессе проектной деятельности именно с этим образом. Материальная реализация последнего появится в конце проектирования.

В когнитивной психологии имеет место проблема формирования мотиваций будущей деятельности. В противоположность тому, что поведение человека детерминировано внешними раздражителями, когнитивная психология стремится показать роль знаний в определении линии поведения. В работе [7] рассматривается вопрос о том, как соотносятся когнитивные и аффективные факторы в процессе формирования мотиваций поведения, и делается вывод о значимости сочетания воздействий того или иного факторов. Аффективный элемент является первичным, начальным, потому что конструирование предполагает потребность, желание, стремление и неудовлетворенное побуждение. Таким образом, на основе рассмотренного ряда когнитивных моделей можно перечислить направления деятельности, где они могут представлять практический интерес:

- приобретение знаний;
- хранение и первичная обработка полученных знаний;
- осмысление полученных знаний;
- прогностика развития ситуаций;
- целеполагание;
- принятие решений;
- генерация сценариев действия.

Они реализуются в ряде известных когнитивных моделей, которые могут применяться в машиностроении. Так, модель Жана Пиаже [4] (рис. 2) – многоцелевая, причем цели рассматриваются как средства, а финальность действия непрерывно меняется. Эмоциональная составляющая управляет поведением, приписывая ценности его целям. Интеллектуальная составляющая накладывает на поведение определенную структуру. Модель многофинальная вследствие того, что набору целей по очереди приписываются различные ценности, в результате чего она последовательно порождает ряд альтернатив, из которых можно сделать выбор. Это обстоятельство наилучшим образом отвечает действиям конструктора при выборе вариантов проектирования. Опытный конструктор инстинктивно следует данной модели.

Вместе с тем конструктор с небольшим опытом не всегда может правильно определить энергию действия и структуру действий. В таких случаях целесообразнее пользоваться когнитивной моделью, рассмотренной в работе [3]. В данной работе она адаптирована для проектирования блочного, модульного и вспомогательного инструмента. Следует отметить, что резцы на тяжелых токарных обрабатывающих центрах подвергаются в процессе резания большим нагрузкам и высоким температурам, что в процессе эксплуатации отрицательно влияет на факторы надёжности, прочности и долговечности конструкции резца в целом, а также создают трудности в процессе его замены или обслуживания [8, 9]. Эксплуатационные качества резцов необходимо обеспечить еще на стадии проектирования.

Специфические особенности режущего инструмента определяются условиями его эксплуатации и, в конечном итоге, когнитивными в предпроектном анализе. Когнитивные связи предлагается формировать при рассмотрении основных требований, предъявляемых к режущему инструменту для тяжелой токарной обработки:

- резцы должны иметь форму режущего лезвия, которая гарантирует качественное выполнение конкретных или различных технологических операций;
- размеры рабочей части резца должны обеспечивать его достаточную прочность, возможность быстрой его установки на станке и нормальную работу при заданных усилиях резания;
- режущий инструмент должен обеспечивать наиболее высокую производительность станка, т. е. иметь необходимую стойкость при оптимальных режимах резания, быстро и точно устанавливаться на станке, надежно и удобно обслуживаться;
- режущая способность инструмента должна быть высокой и стабильной для всей партии используемого инструмента;
- удельный расход режущего инструмента на единицу выпускаемой продукции должен быть наименьшей.

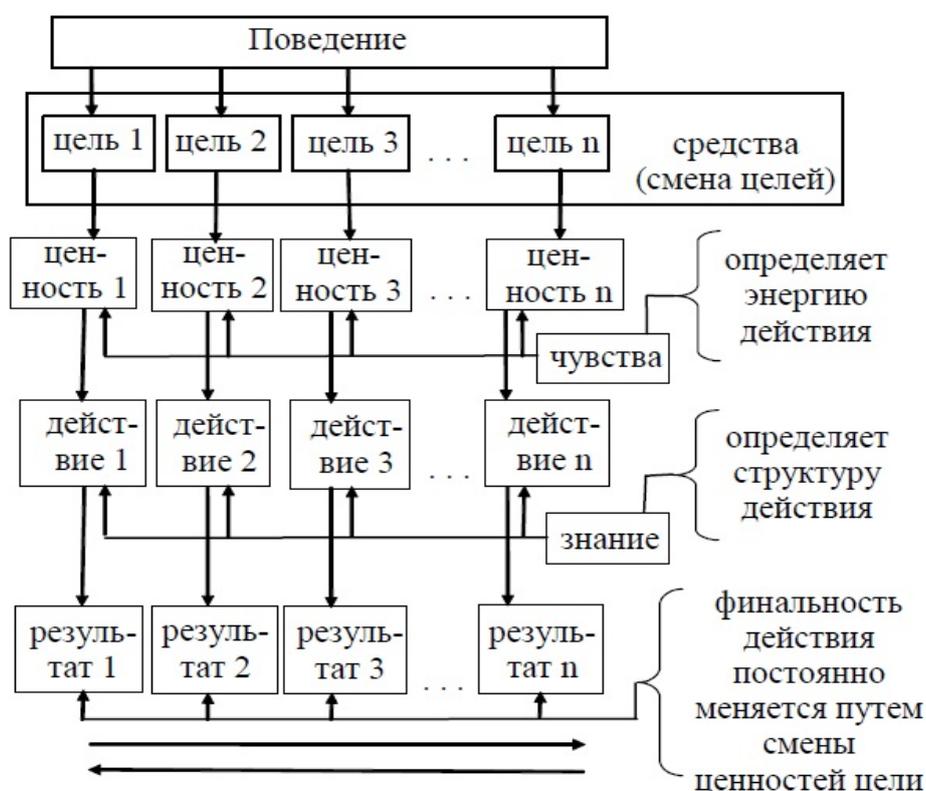


Рис. 2. Когнитивная модель Ж. Пиаже [4]

В представленной когнитивной модели устанавливаются положительные и отрицательные связи между различными факторами, фактически их влияние друг на друга. В результате анализа связей можно сделать вывод о необходимости улучшения того или иного фактора (или нескольких факторов).

На основе анализа мнений экспертов и лиц, принимающих решение, строится структурное представление ситуации в виде когнитивной карты, представляющей собой граф, вершинами которого служат основные факторы (концепты), а дугами – взаимовлияние факторов.

Проведем разработку когнитивной модели для проектирования сборного токарного инструмента. При этом факторы (концепты) когнитивной модели сгруппируем по базам эксплуатационных факторов:

1. Технические:

- X1 – материал режущей части резца;
- X2 – сечение державки;

X3 – сила крепления пластины и державки (блочного модуля) и точка её приложения;
 X4 – размеры, шероховатость, геометрия и конструкция гнезда для крепления пластины;
 X5 – форма и размеры пластины;
 X6 – прочность и виброустойчивость державки и режущих кромок;
 X7 – жесткость.

2. Организационные:

X8 – потребность и спрос на резец;
 X9 – себестоимость;
 X10 – универсальность инструмента, гибкость.

3. Эксплуатационные:

X11 – вес резца в сборе;
 X12 – ремонтпригодность;
 X13 – наличие ударов при обработке;
 X14 – способ стружколомания.

Таблица 1

Когнитивная карта

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X1	0	0	+1	+1	+1	+1	0	0	+1	0	0	0	0	+1
X2	0	0	+1	0	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	0	0
X3	+1	0	0	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	0	0	0
X4	0	+1	+1	0	+1	+1	-1	0	+1	0	0	0	0	+1
X5	+1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1
X6	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	+1	0	-1	0	0	0
X7	0	+1	+1	+1	+1	+1	0	0	0	+1	-1	0	+1	0
X8	+1	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X9	0	0	0	+1	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0	0
X10	0	+1	0	+1	+1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
X11	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0	0
X13	+1	+1	+1	+1	+1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
X14	0	0	0	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	+1	0	0

Когнитивная карта (табл. 1) отражает наличие влияния факторов друг на друга, а динамика изменения ситуации учитывается когнитивной моделью, которая является графом, в котором вершины (концепты) X1–X14 являются базисными факторами, а дуги представляют собой функциональную зависимость между соответствующими факторами. При практической реализации модели концептам присваиваются числовые критерии, которые определяют ценность решения. Кроме того, в когнитивную карту введен характер влияния одного фактора на другой. Так, для оценки характера влияния использованы дискретные значения -1 , 0 , $+1$, при этом:

- -1 – отрицательное влияние фактора;
- 0 – фактор не влияет;
- $+1$ – положительное влияние фактора.

Для определения целенаправленного поведения в сложной ситуации в когнитивной модели параметров и факторов системы выделен целевой фактор X10 – универсальность инструмента (гибкость). При повышении X10 улучшаются X2, X4, X5 и ухудшается X6. Когнитивная модель представлена на рис. 3. В ней реализована связь технических, организационных и эксплуатационных факторов с конструкцией инструмента.

Процесс оценки результатов решений в представленной когнитивной модели целесообразно проводить при помощи нейронных сетей. Они работают в трёх основных режимах: обучения, тестирования и непосредственно работы. Для построения нового и до этого абсолютно неизвестного алгоритма работы в нейросеть с заведомо избыточным количеством связей (рис.4 а) вводят обучающие данные. По известному методу обратного распространения ошибки подстраивают коэффициенты весов связи и передаточных функций для достижения минимума разности между выходными обучающими данными и ответами нейросети. Результат поиска коэффициентов может в частности окончиться неудачей с двумя исходами: нейросеть не обучилась (ошибка осталась слишком большая) и нейросеть находит локальный минимум. В этом случае необходимо изменить цель, ценность или действие.

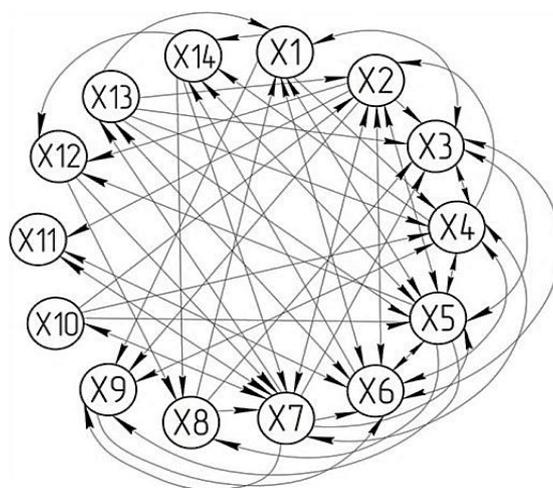


Рис. 3. Когнитивная модель

Проблема получения в ответе локального минимума вместо глобального актуальна во всех алгоритмах обучения, основанных на поиске минимума, включая нейросети. Решением является применение стохастических методов. Нейросеть во время обучения подвергается случайной коррекции весов (числовых критериев). Вначале делаются большие случайные коррекции с сохранением только тех изменений весов, которые уменьшают целевую функцию. Затем средний размер шага постепенно уменьшается, что позволяет в конце достигнуть глобального минимума.

Итоговая обученная нейросеть может иметь связи и нейроны со слабо выраженными весами. Выходные данные каждого нейрона попадают уже не на все нейроны последующего слоя. Если вес связей в обученной нейросети выделить толстыми линиями, как показано на рис. 4, б, то видно, что она обрабатывает данные по некому новому алгоритму.

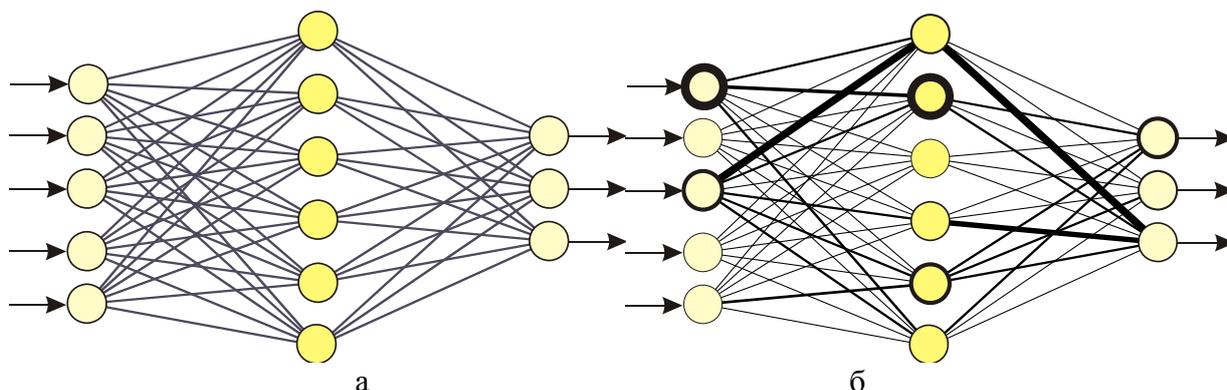


Рис. 4. Пример схемы исходной (а) и обученной (б) нейронной сети

Важно ещё раз отметить, что в обученной нейросети связи между нейронами и коэффициентами передаточных функций остаются, но имеют нулевой вес. Их в любой момент можно восстановить. Соответственно, математический аппарат на основе нейросетей позволяет проводить дообучение по добавленным в дальнейшем обучающим данным, чем выгодно отличается от других аппаратов [3].

В результате реализована когнитивная модель, совмещающая преимущества трех предыдущих когнитивных моделей (рис. 5). В полученной модели цели, энергия действия и структура действия могут подключаться к оценке ценностей действий движением мотиваций. Оценка ценностей выполняется нейросетью пошагово. Движение мотиваций прекращается в случае появления решения, удовлетворяющего заданным критериям.

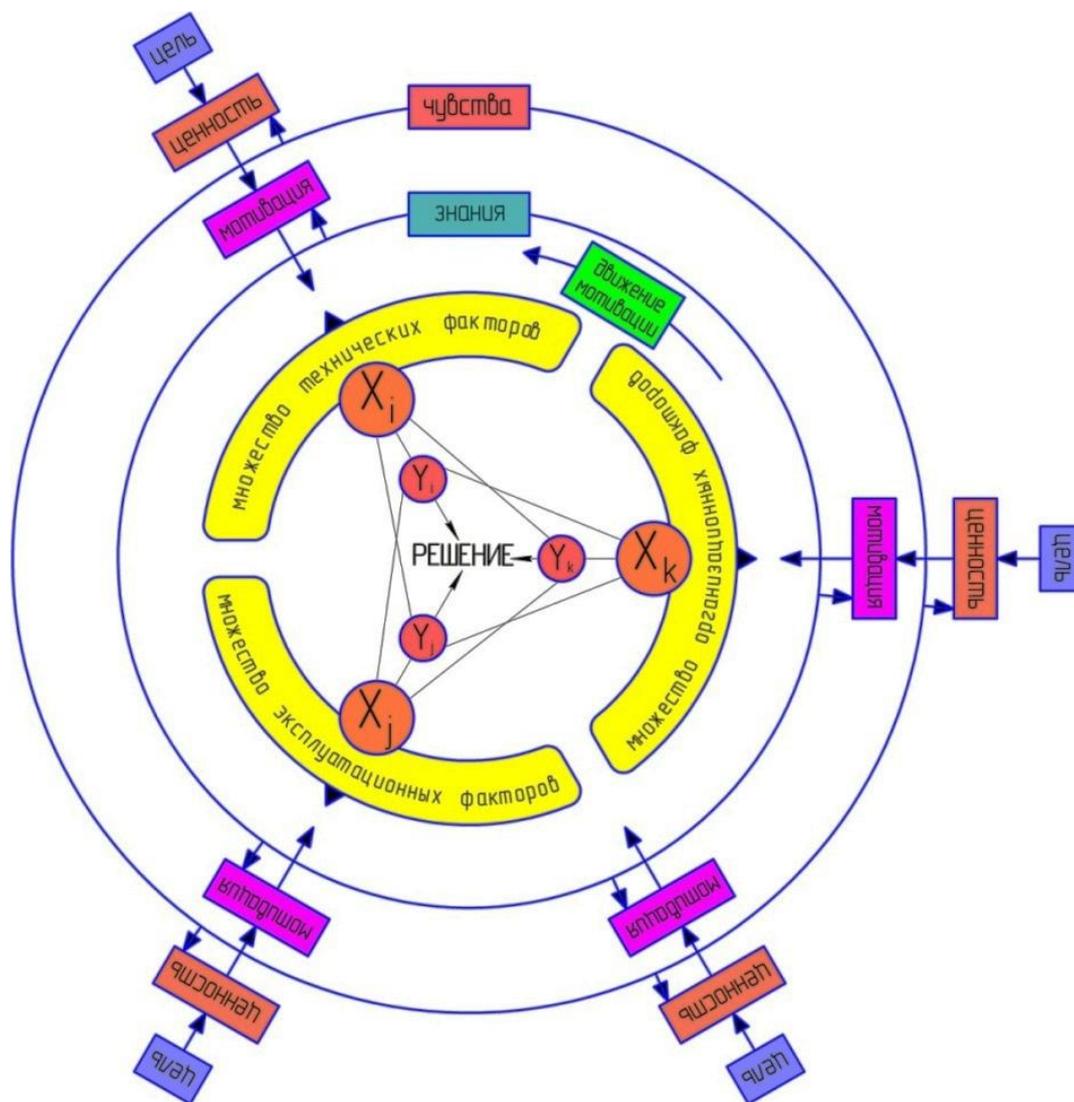


Рис. 5. Когнитивная модель для проектирования вспомогательного инструмента

Как пример на основе разработанной когнитивной модели, в которой улучшаемый параметр (целевой фактор) заданный X_{12} – ремонтпригодность, разработана конструкция инструмента (рис. 6).

Ремонтпригодность в данной конструкции улучшается за счет крепления блок-вставки только одним винтом. Предотвращение смещения блок-вставки обеспечивается применением полого штифта. Малое количество стыков в конструкции также обеспечивает повышение жесткости резца в целом ($X_7 \rightarrow \max$).

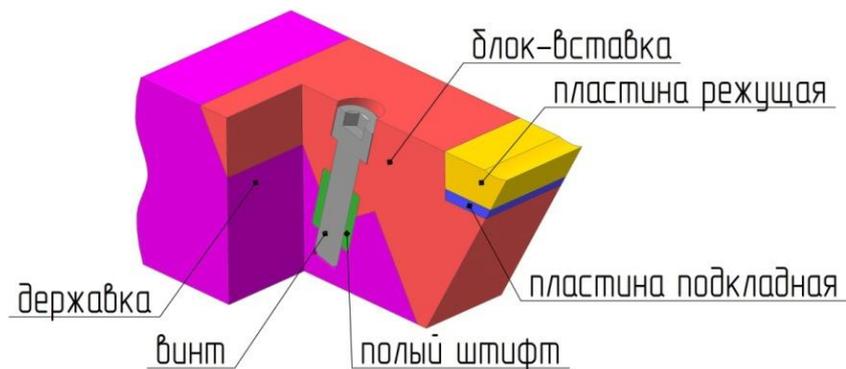


Рис. 6. Схема конструкции реза при X12→max

Приняв за целевую функцию (фактор) концепту X9 (себестоимость), получим еще одну оригинальную конструкцию реза (рис. 7). Основным улучшением является то, что в данной конструкции не используется подкладная пластина, предназначенная для предотвращения повреждения корпуса реза и увеличения опорной жесткости пластины. Ее функция выполняется последовательным набором деталей с различной твердостью. Материалы основных элементов всего реза от кромки лезвия к корпусу имеют различную твердость. Например, первая блок-вставка, контактирующая с пластиной, изготавливается из материала Сталь 20X (цементация, закаливание в масле и отжиг дает HRC 57–63), вторая блок-вставка, по которой базируется первая блок-вставка, изготавливается из Стали 45 (закаливание в воде и отжиг дает HRC 42–51), а корпус – из Стали 35 (закаливание в воде и отжиг дает HRC 32–42). Таким образом, исключая расходы на подкладную пластину из твердого сплава и применяя легированную сталь, мы достигаем снижения стоимости реза. Большая площадь контакта пластины с блок-вставкой также предотвращает коробление пластины.

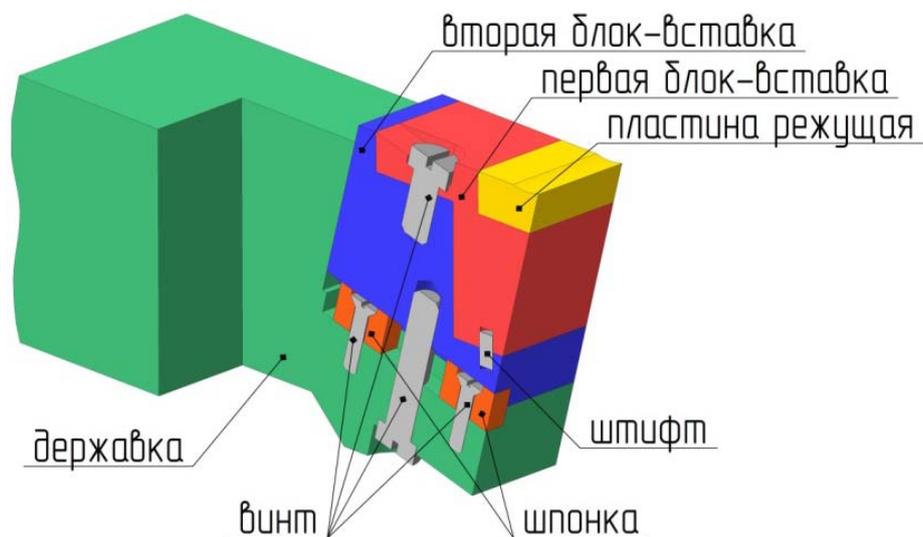


Рис. 7. Схема конструкции реза при X9→min

В случае принятия целевого фактора X10 (универсальность) разработана конструкция, изображенная на рис. 8.

Концепт универсальности (X10) в данной конструкции улучшается за счет замены блок-вставок различных назначений: проходные, канавочные, фасочные, радиусные и т. д. Также в данной конструкции улучшается фактор ремонтпригодности (за счет крепления блок-вставки только одним винтом) и жесткости (X7→max).

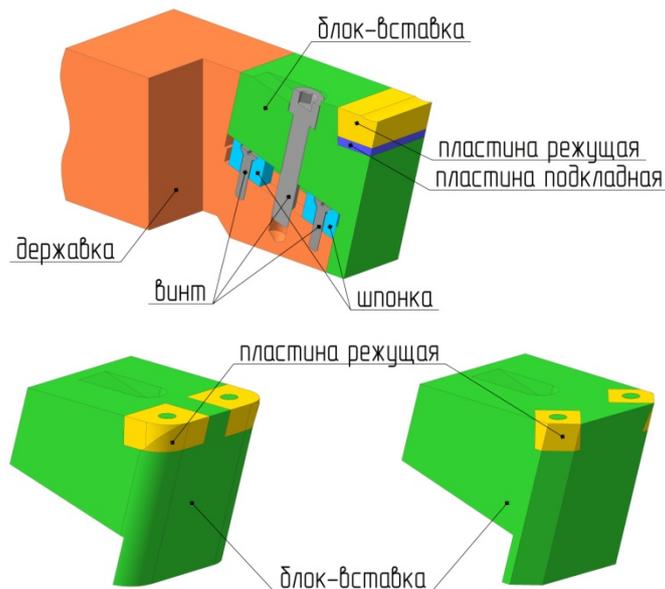


Рис. 8. Схемы конструкций резцов при $X_{10} \rightarrow \max$

ВЫВОДЫ

На базе когнитивной модели Ж. Пиаже, когнитивной модели с графами и нейросетевой модели разработана когнитивная модель для проектирования блочного, модульного и вспомогательного инструмента. Она является методологическим аппаратом для проектирования и других технических систем.

Установлены когнитивные связи между эксплуатационными факторами и конструкцией сборного инструмента. Это позволило управлять проектными действиями для достижения необходимого результата. Получены схемы различных конструкций модульного инструмента, в которых учитываются заданные внешние факторы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтиуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтиуллер. – 3-е изд., доп. – Петрозаводск : Скандинавия, 2003. – 240 с.
2. Гузенко В. С. Направленный морфологический анализ и синтез инструмента для особо тяжелых условий резания / В. С. Гузенко // Надежность режущего инструмента. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4. – С. 83–91.
3. Медведев В. В. Метод оперативной настройки диагностических систем / В. В. Медведев, В. С. Медведев // Машиностроение и техносфера XXI века : сборник трудов XVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе, 14–19 сентября 2009 г. В 4-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – Т. 2. – С. 240–244.
4. Козлов Л. А. Когнитивное моделирование на ранних стадиях проектной деятельности : учебное пособие / Алт. гос. техн. Университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2008. – 246 с.
5. Медведев В. С. Разработка классификатора станочных приспособлений на базе когнитивных моделей / В. С. Медведев, Р. А. Рюмишин // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. нау. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 2(27). – С. 76–82.
6. Сборные твердосплавные резцы для тяжелых станков токарной группы. Конструкции и помодельные комплекты : каталог / Локтев А. Д., Хае Г. Л., Нахова Т. М., Коваленко Г. А., Гузенко В. С. // Оргприминструмент. – М. : ВНИИТЭМР, 1989. – 60 с.
7. Елфимова Н. В. Пути исследования мотивации в когнитивной психологии: сравнительный анализ / Н. В. Елфимова // Вопросы психологии. – 1985. – № 5. – С. 162–168.
8. Хае Г. Л. Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хае. – М. : Машиностроение, 1975. – 168 с.
9. Хае Г. Л. Надежность режущего инструмента / Г. Л. Хае. – К. : УкрНИИНТИ, 1968. – 31 с.