

УДК 621.833.061

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

ОБЗОР МЕТОДОВ СИНТЕЗА МОДЕЛИ КЛАССА СПИРОИДНЫХ РЕДУКТОРОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ САПР. ЧАСТЬ 1. ГРАФОВЫЙ МЕТОД

Создание интеллектуальных систем автоматизации конструирования требует решения задачи накопления и обобщения конструкторского опыта. Разработка модели конструкторской деятельности сталкивается с отсутствием сквозного алгоритма, позволяющего синтезировать конструкцию, имея в качестве исходных данных потребительские качества изделия. Именно этим объясняется функциональный набор современных САПР, которые способны автоматизировать процессы выполнения графических работ, строить трехмерные модели, выполнять отдельные инженерные расчеты, готовить конструкторскую и технологическую документацию, однако не позволяют выполнить структурный синтез будущего изделия. Решающим фактором в реализации процесса структурного синтеза становится опыт конструктора и его интуиция. Автор статьи, разработавшая методологию автоматизации процесса структурного синтеза, ставит вопрос о накоплении «конструкторского опыта» для его дальнейшего использования в качестве информационного обеспечения системы автоматизированного конструирования, способной максимально автоматизировать процесс структурного синтеза будущей конструкции. Обобщение опыта рассматривается автором как формирование модели класса объектов, позволяющей зафиксировать максимальное количество особенностей конструктивных исполнений изделия и его компонентов.

Еще одна задача, которая должна быть решена при создании модели класса объектов, – это обеспечение возможности ее автоматизированной реализации. В качестве модели класса объектов автор предлагает использовать классификатор, представляющий собой набор классификационных признаков (вопросов) и множество значений признаков (альтернативных ответов на каждый из поставленных вопросов). В качестве объекта конструирования рассмотрен спиройдный редуктор, представляющий собой объект средней степени сложности. Графовое представление конструкции объекта, позволяющее продемонстрировать все конструктивные единицы, обладающие определенными, интересующими конструктора свойствами, является наглядным и удобным для математического, а следовательно, алгоритмического описания.

В статье обоснована необходимость и возможность создания классификатора в качестве обобщенной модели класса спиройдных редукторов, построенной графовым методом, состоящим в обобщении графовых моделей отдельных конструктивных решений. Автором рассмотрен графовый метод Половинкина, обоснована необходимость его модификации, предложен графовый метод, обеспечивающий высокую степень автоматизации процесса обобщения конструкторского опыта и создания классификатора.

Ключевые слова: сложный объект, этапы построения графовой модели, модель описания конструкции редуктора, структурообразующие модули, характеристики, графовый метод построения обобщенной модели.

Введение

Спиройдный редуктор – это сложный технический объект, проектирование и конструирование которого под заданные технические условия является нетривиальной задачей. Даже описание уже существующей конструкции с точки зрения системного представления – неоднозначный процесс.

Сложный объект – это объект, состоящий из совокупности взаимодействующих элементов, вследствие чего объект приобретает уникальные свойства, характеристики, функционал, находящиеся в прямой зависимости от набора исходных элементов. Полное представление о сложном объекте формируют не только перечень элементов, но и описание связей между элементами, а также такие характеристики, как компоновка элементов, материал изготовления и т. п.

Описание структуры отдельного сложного технического объекта есть выявление особенностей его разбиения на более простые модули и выстраивание «скелета» конструкции в единую иерархическую древовидную структуру, а также фиксация конструктивных особенностей и характеристик модулей [1].

Построение скелета – это процесс поэтапного разбиения конструкции на структурообразующие модули согласно практике конструкторской деятельности. Так, спиройдный редуктор раскладывается на узел колеса, узел червяка и узел корпуса (рис. 1).

Все элементы связаны между собой связями, указывающими на соподчиненность элементов между собой.

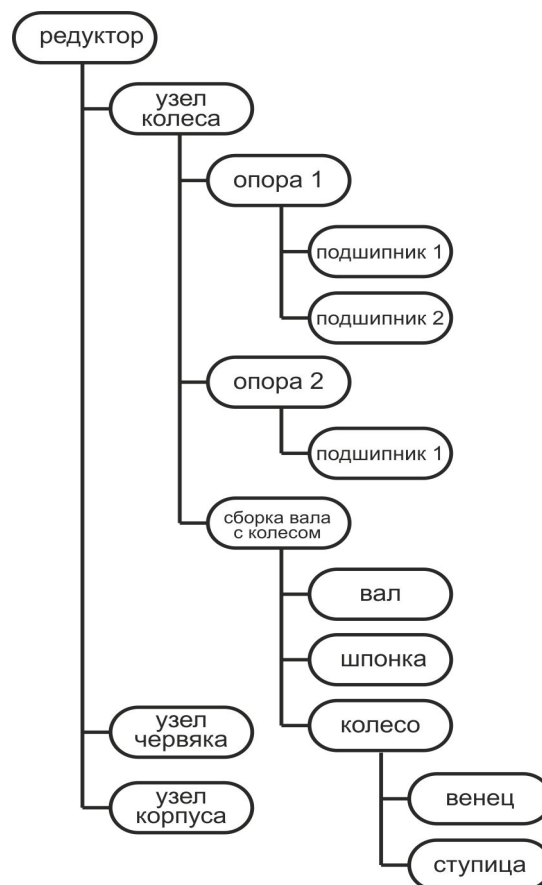


Рис. 1. Вариант разложения конструкции спиройдного редуктора (фрагмент) на структурообразующие модули

Таким образом, процесс декомпозиции объекта идет сверху, от сложного вниз к более простому.

Следующим этапом в описании объекта является характеристика: выделение характерных особенностей, характеристик, присущих модулям объекта. Только учет характеристик модулей в совокупности со структурным скелетом дает структурную полноту описания объекта (рис. 2–4).

Выявление и описание характеристик является сложным процессом, т. к. требует анализа значимости каждой характеристики. Из всего множества потенциальных характеристик следует выделять лишь значимые, существенные для процесса конструирования. Особенно значимы те характеристики, которые отличают один объект от другого. Структура характеристики содержит два поля: формулировку признака и значение этого признака, присущее данному варианту исполнения модуля объекта. Например: характеристика редуктора «передаточное отношение – 50» состоит из признака «передаточное отношение» и значения «50».

В ходе анализа существующих признаков в составе характеристик была выявлена принципиальная возможность объединения их в группы. Каждая из пяти групп признаков описывает самостоятельную область качеств объекта и его составляющих. К первой группе отнесены характеристики взаимного расположения объектов друг относительно друга. Например: опоры узла колеса разнесены. Вторую группу образуют параметры технологических особенностей изготовления или способа действия функциональных структурообразующих модулей. Примером таких характеристик являются варианты соединения колеса и вала (в натяг или шпонкой). Третья группа описывает материал, из которого изготовлен модуль: алюминий, сплавы, дерево, пластмассы и т. д. К четвертой группе относятся параметры формы. Последняя пятая группа – это количественные характеристики: диаметр колеса 50 мм, передаточное отношение – 63 и т. п.

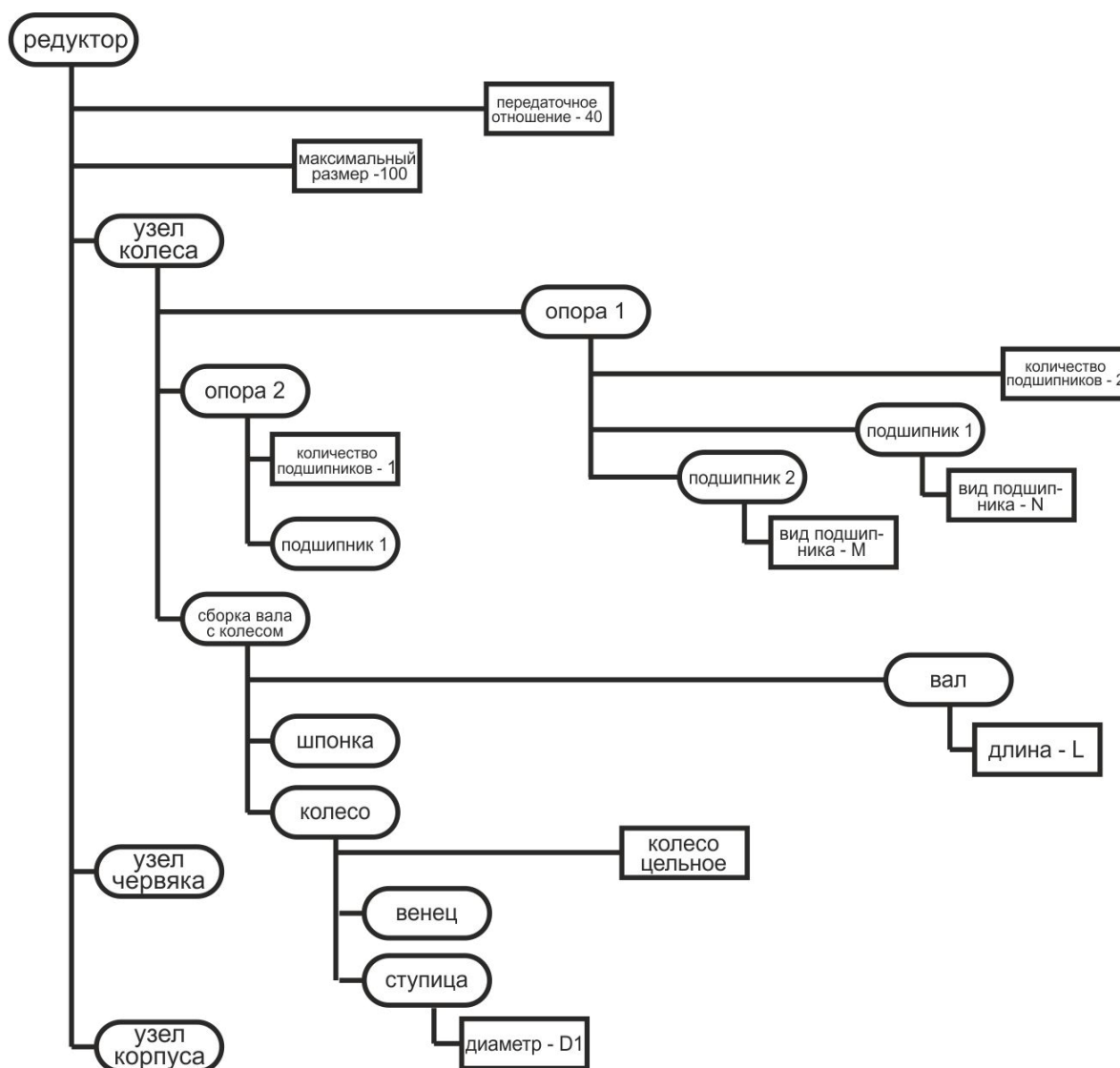


Рис. 2. Граф разложения 1-го варианта конструкции спироидного редуктора (фрагмент)

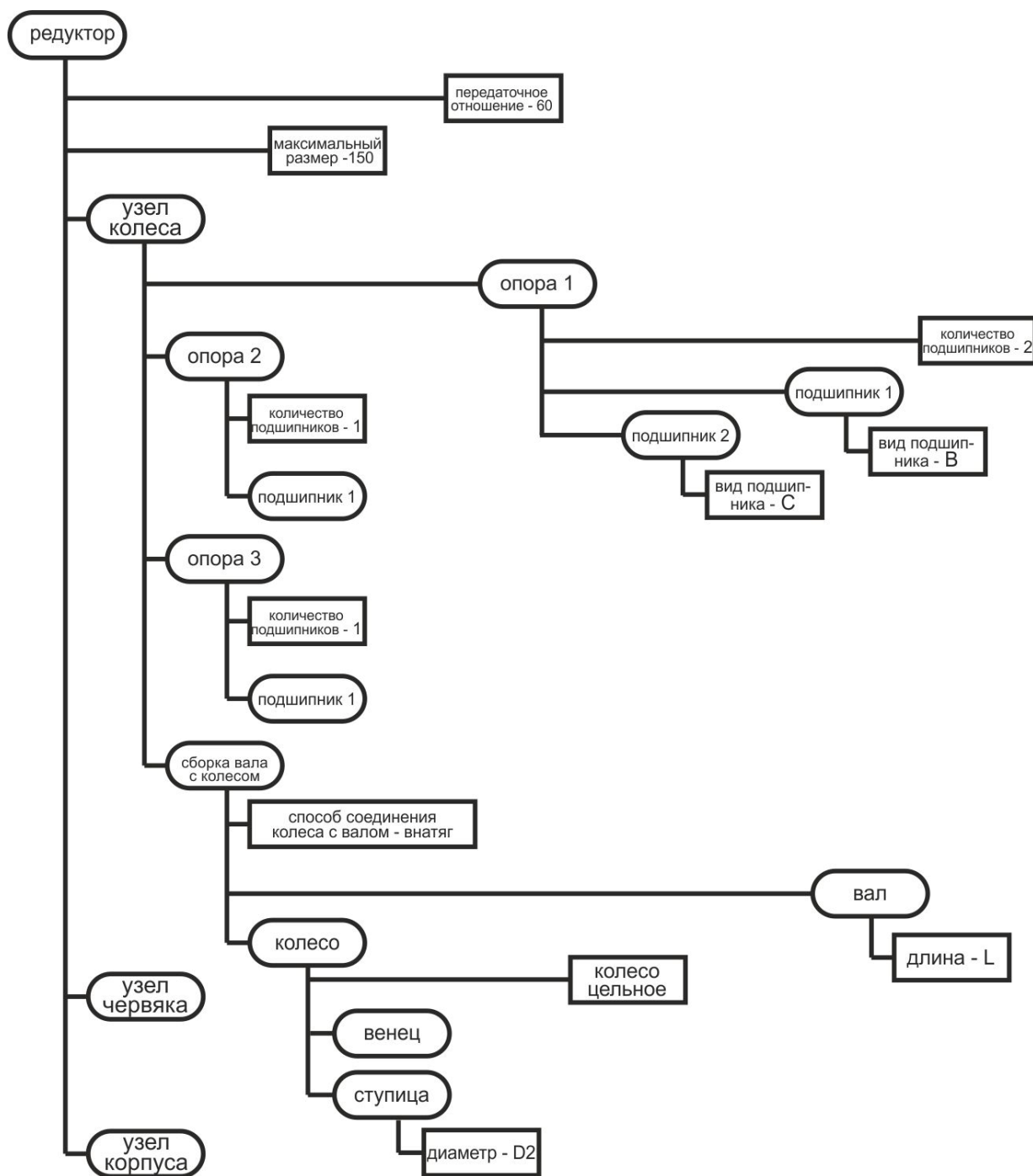


Рис. 3. Граф разложения 2-го варианта конструкции спирои́дного редуктора (фрагмент)

Стоит отметить, что данная классификация признаков удовлетворяет лишь задаче конструирования. При создании модели класса объектов для решения других задач, например, при реализации полного цикла ремонта изделия могут потребоваться сведения о производителях, поставщиках или данные испытаний по отдельным деталям при анализе конструкции.

И структурообразующие модули, и соответствующие им характеристики связаны между собой однонаправленными связями. При этом присутствуют следующие виды связей: между структурообра-

зующими модулями согласно принципу декомпозиции; между структурообразующими модулями и характеристиками; между характеристиками и характеристиками. Последний вид связи появляется, если существует уточнение значения характеристики дополнительными сведениями, например: модуль – «колесо спирои́дное», характеристика модуля – «материал бронза», характеристика характеристики – «температура плавления материала». Такая характеристика может быть актуальна, если следует учитывать экстремальные условия работы объекта.

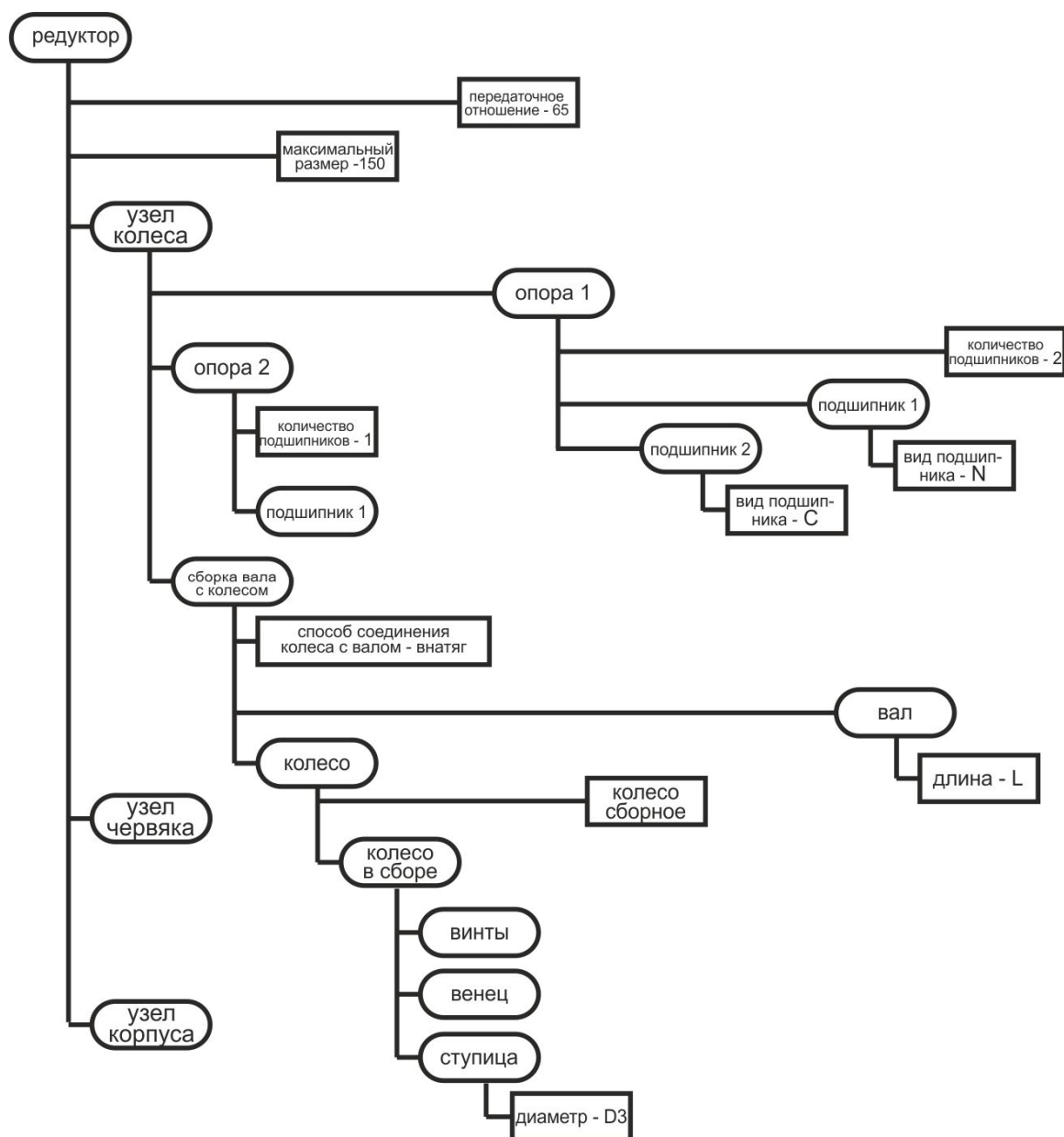


Рис. 4. Граф разложения 3-го варианта конструкции спирального редуктора (фрагмент)

Полученные модели имеют иерархическую структуру. Однако описание отдельных объектов не имеет практического значения без получения представления обо всем классе объектов путем обобщения информации об отдельных его представителях. В ходе сопоставления описания отдельных конструкций, полученных ранее, и обобщения данных о структуре, конструктивных особенностях, характеристиках появляется представление о существенных отличиях технических решений одного класса объектов.

Существует 3 принципиальных вида отличий:

а) на множестве структурообразующих модулей (узлов, сборок, деталей): наличие/отсутствие какого-либо модуля с заменой или без замены аналогом;

б) на множестве характеристик, обеспечивающих структурную полноту: наличие/отсутствие характеристики в части признака, различные значения характеристик в части значения;

в) на множестве связей: наличие/отсутствие связи.

Рассмотренные виды отличий позволяют сделать вывод о том, что в структуре модели существуют как обязательные (присутствующие всегда в любом варианте исполнения), так и необязательные элементы, наличие и характер которых и позволяет иметь различные варианты исполнения одного объекта в рамках класса.

Необязательность элементов, согласно принципу наследования необязательности, в свою очередь, тоже может иметь разный характер:

– относительно модели в целом;

– относительно материнской вершины в иерархической структуре.

Необязательность элемента относительно модели в целом говорит о его альтернативном характере в рамках класса (его может не быть в отдельных вариантах исполнения).

Такая необязательность наследуется от материнской вершины к ее потомкам.

Необязательность относительно материнской вершины говорит о том, что на данном модуле при движении по модели от корня вниз через эту вершину возможно изменение характера от обязательности к необязательности.

Важно, чтобы именно информация об этих элементах была сохранена в обобщенной модели класса объектов. При этом желательно, чтобы обобщенная модель имела древовидную структуру для сохранения принципа наследования необязательности.

Разрабатывая алгоритмы создания такой обобщенной модели, следует учитывать, что она должна позволять решать следующие задачи:

- 1) обобщение всей имеющейся информации о многих объектах данного класса;
- 2) расширение существующей модели без изменения концепции ее структуры;
- 3) порождение новой информации как результат анализа существующих в модели данных (синтез).

Один из таких алгоритмов был предложен в работах А. И. Половинкина [2]. Его модель базируется на представлении информации о прототипах или известных технических решений в виде И-ИЛИ-дерева (И-ИЛИ-графа), где функциональные модули, находящиеся на одном уровне и входящие в состав одного функционального модуля более высокого порядка, объединены операцией И, а модули и характеристики, являющиеся альтернативными (взаимозаменяемыми) по отношению друг к другу, объединены посредством вершины ИЛИ, изображенной прямоугольниками (рис. 5).

Для синтеза новой конструкции объекта необходимо двигаться от корневой вершины по всем связям, объединенным вершинами И, выбирая альтернативный вариант на каждой вершине ИЛИ. Помимо этого необходима проверка выбора корректной альтернативы. На практике реализация такого алгоритма синтеза затруднена необходимостью обхода древовидной структуры с неограниченным числом разветвлений. Возникает также проблема с сохранением древовидности структуры в случаях, когда в разных технических решениях один и тот же модуль относится к разным материнским вершинам, которые могут быть как иерархически зависимы, так и иерархически независимы друг от друга.

Графовый метод построения обобщенной модели

Для решения проблемы обхода древовидной структуры подход к организации модели обобщения был изменен. В работах О. В. Малиной [3] предлага-

лось объединять с помощью вершины ИЛИ лишь характеристики модулей, а не сами модули. В данной модели характеристика структурно распалась на отдельные поля: вершина ИЛИ обозначает признак, с которым связаны его значения.

Предложенный графовый способ создания обобщенной модели предполагает логическое наложение (композицию) графов отдельных декомпозиций с целью получения единого графа, содержащего все вершины графов, учитывающего все связи между модулями, получившими название функциональных вершин. Алгоритм получения обобщенного графа представлен ниже:

1. Объединяем графы отдельных вариантов исполнений, получая при этом граф, имеющий все вершины и все связи исходных графов (рис. 6).
2. Удаляем из полученного графа все вершины, соответствующие характеристикам и, соответственным, связи к этим вершинам (рис. 7).
3. Проверяем сохранение древовидности полученного графа. Если древовидность нарушена, т. е. у одной дочерней вершины присутствует несколько материнских вершин, производим модернизацию графа – вводим фантомные структуры. На практике это означает дублирование поддеревьев дочерней вершины, так чтобы восстановить древовидную структуру (рис. 8).

4. Проверяем каждую вершину на присутствие во всех исходных графах. Если не присутствует у материнской вершины, формируем признак (вершину ИЛИ) с формулировкой «наличие дочерней вершины» и два значения «да» и «нет», а саму дочернюю вершину помечаем атрибутом «необязательная – А». Также поступаем, если вершина, присутствующая во всех исходных графах, признается экспертом необязательной.

5. Для каждой функциональной вершины рассматриваем альтернативные значения характеристик. При этом у функциональной вершины формируется признак, согласно соответствующему полю характеристики и значения. Если не у всех исходных графов присутствовала характеристика с указанным признаком, в число альтернатив признака добавляется вершина NULL, обозначающая наличие мнимой альтернативы.

6. Вершины NULL добавляются в качестве значений всех признаков всех функциональных вершин, признанных альтернативными.

Вершины ИЛИ, объединяющие альтернативы, позволяют сформировать множество признаков и их значений (рис. 9).

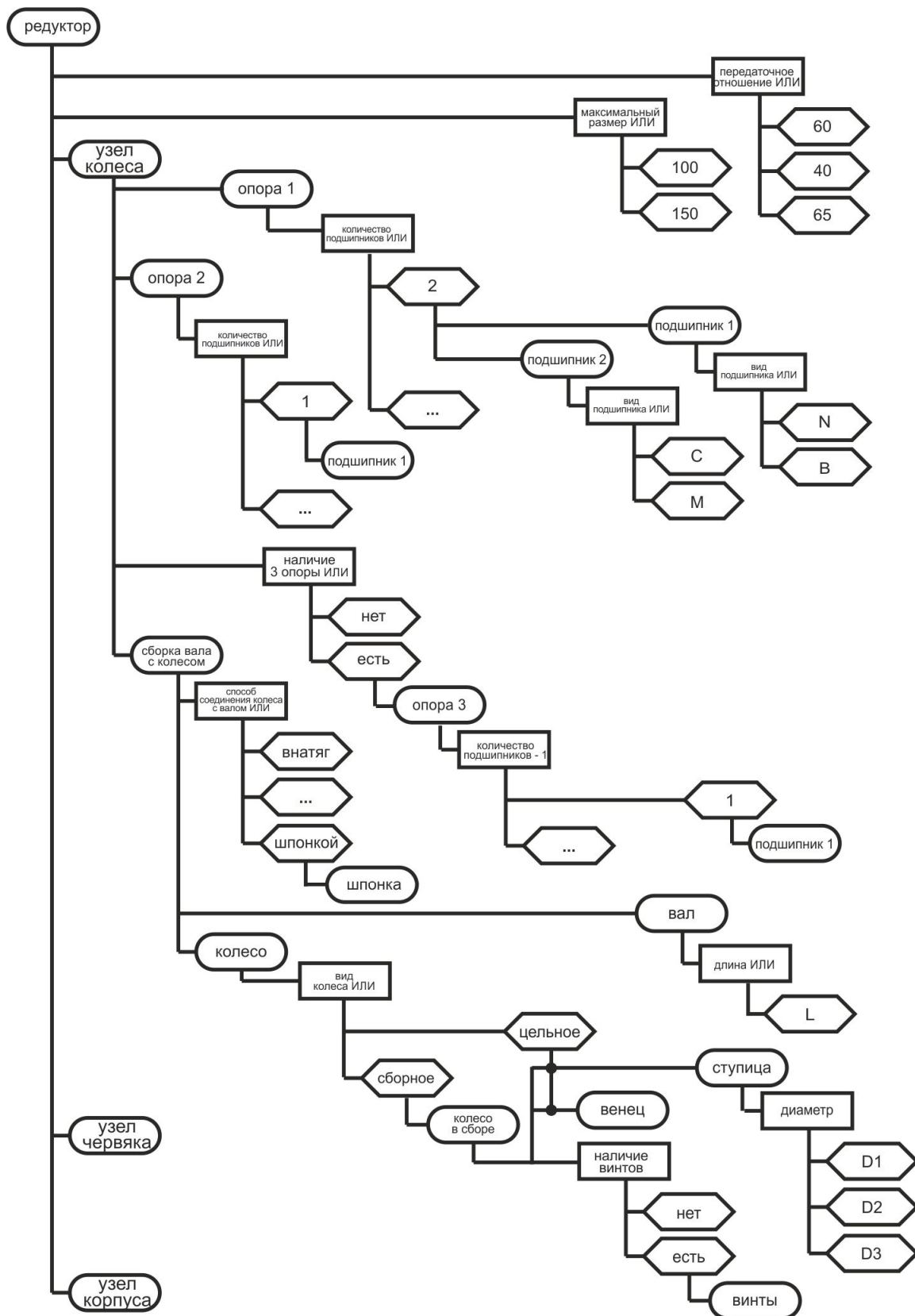


Рис. 5. И-ИЛИ-обобщенный граф Половинкина, построенный на базе рассмотренных ранее вариантов

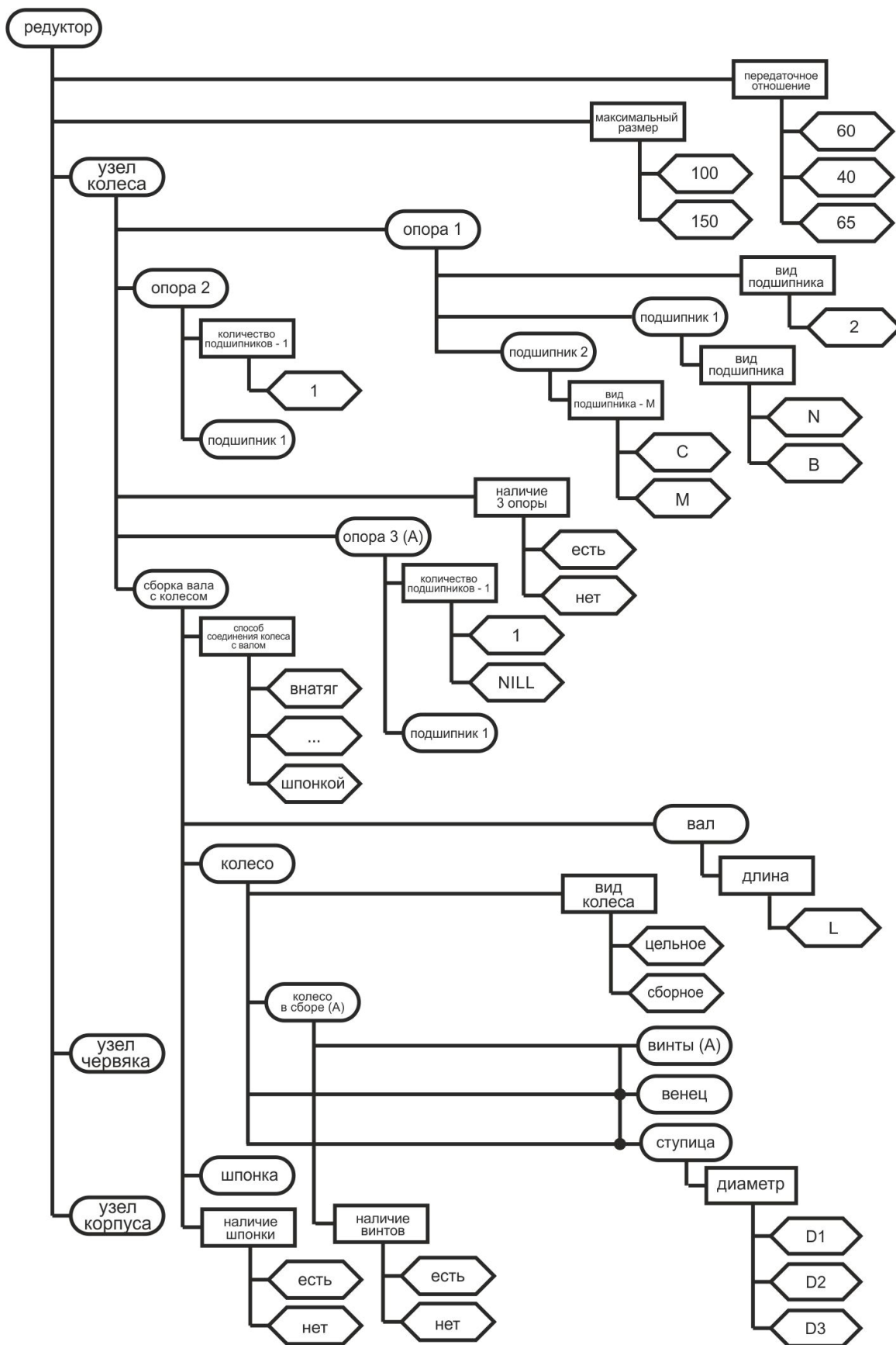


Рис. 6. Результат 1-го шага построения обобщенной модели

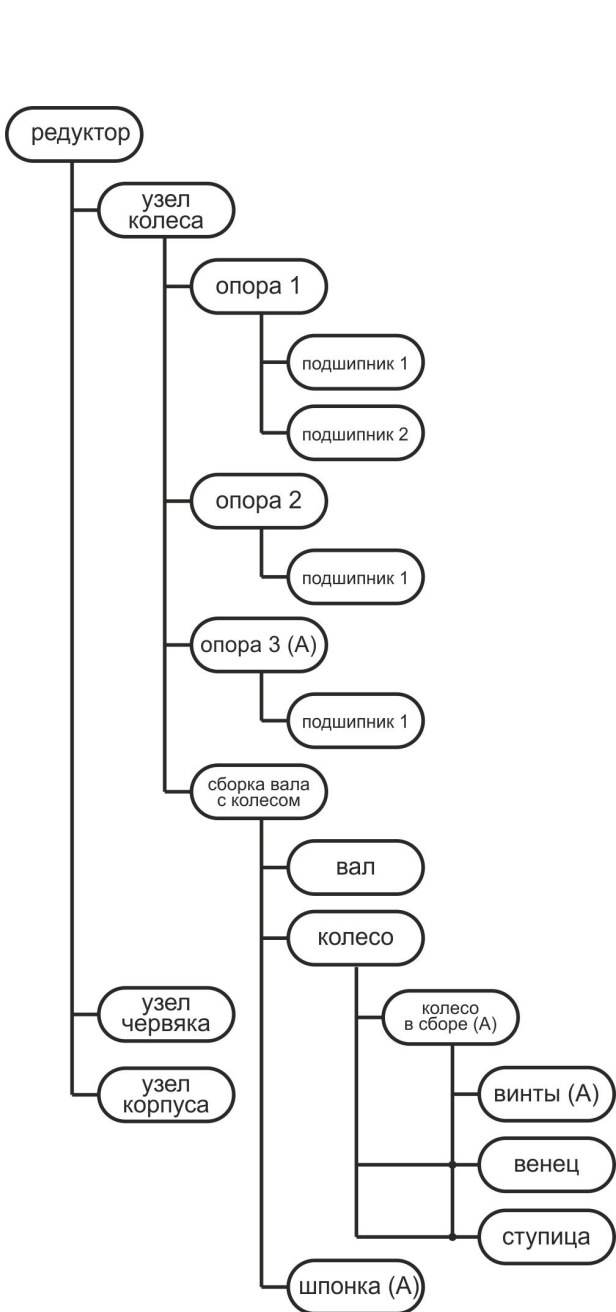


Рис. 7. Результат 2-го шага построения обобщенной модели

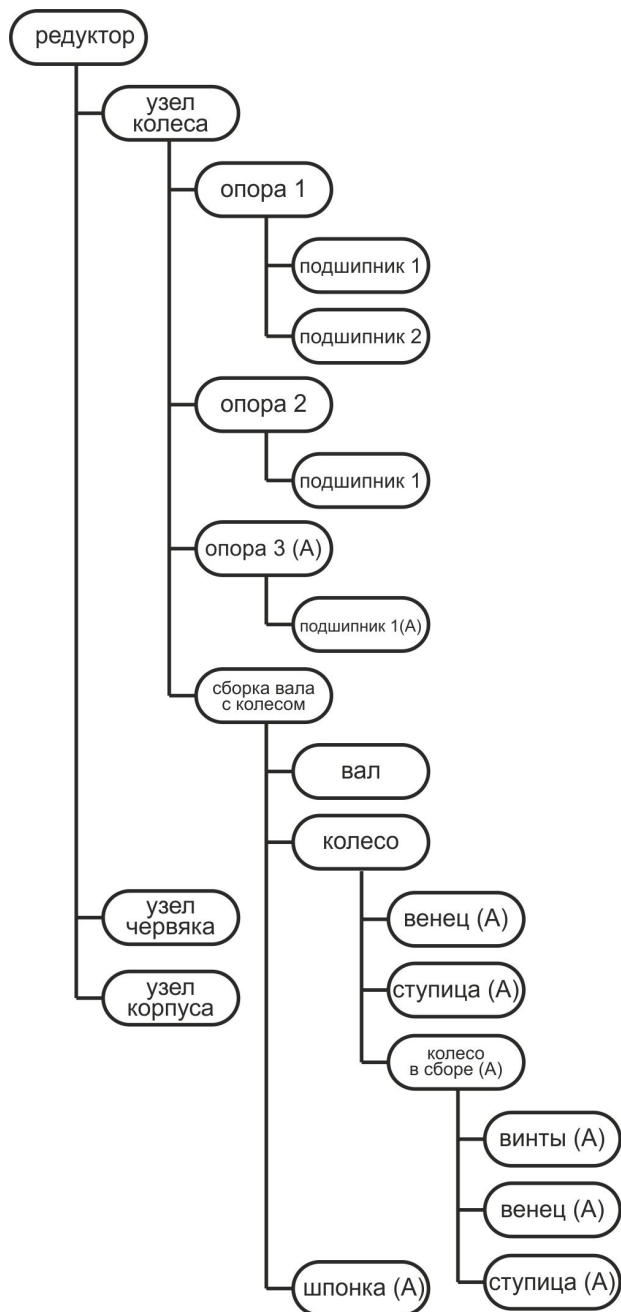


Рис. 8. Результат 3-го шага построения обобщенной модели

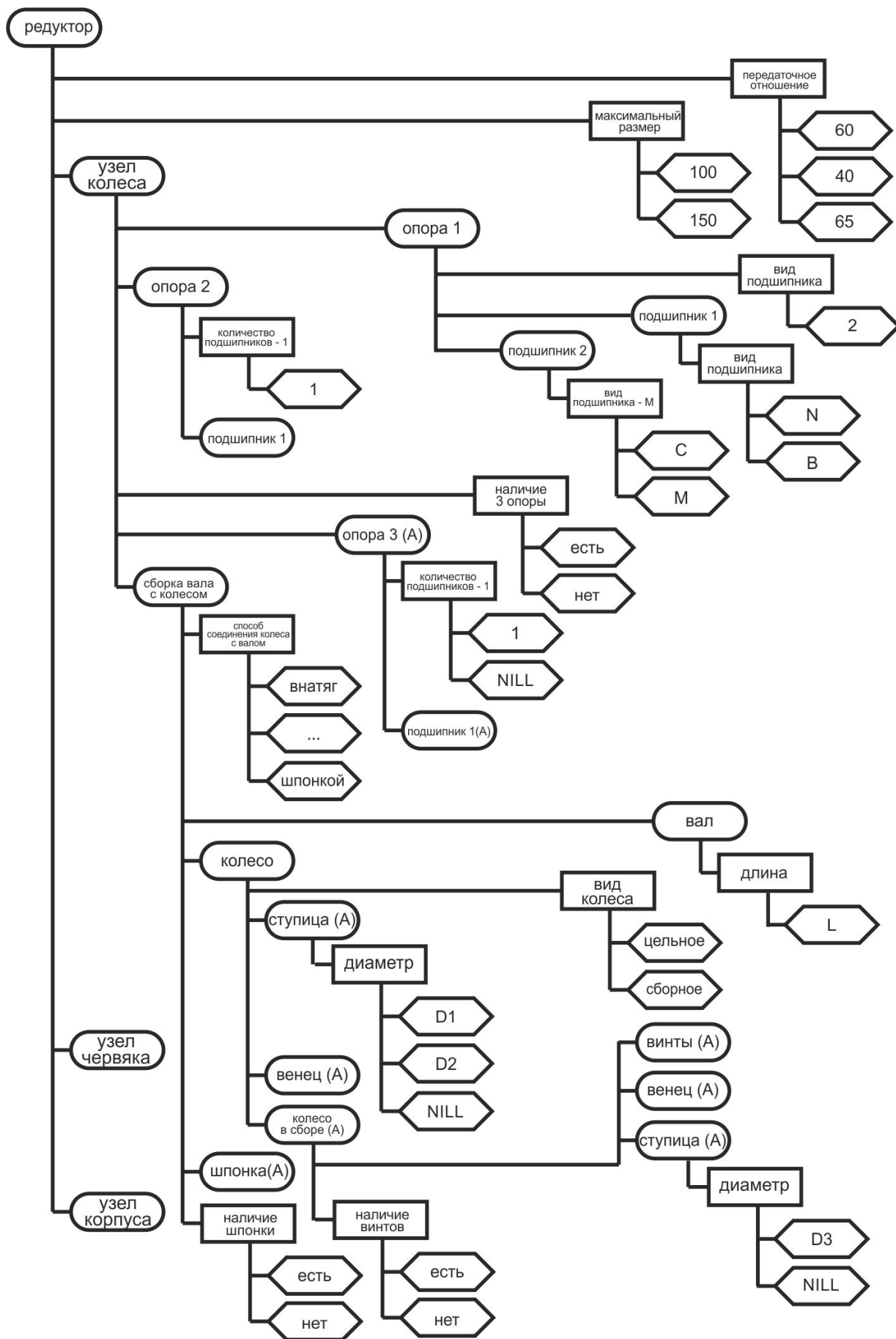


Рис. 9. Обобщенная графовая модель класса спироидных редукторов (фрагмент)

Множество признаков, сформированных из графовой модели, будет иметь следующий вид (таблица).

Множество признаков, сформированных графовым методом

Функциональная вершина	Признак		Значения	
Редуктор	Передачное отношение	p1	60	a11
			40	a12
			65	a13
			Иное	...
Габаритный размер	p2	100	a21	
		150	a22	
		Иное	...	
Опора 1	Количество подшипников	p3	2	a31
Подшипник 1	Вид подшипника	p4	N	a41
			B	a42
			Иное	...
Подшипник 2	Вид подшипника	p5	M	a51
			C	a52
			Иное	...
Опора 2	Количество подшипников	p6	1	a61
Узел колеса	Наличие 3-ей опоры	p7	Да	a71
			Нет	a72
Опора 3	Количество подшипников	p8	1	a81
			Иное	...
			NILL	a82
Сборка вала с колесом	Способ соединения вала с колесом	p9	Внатяг	a91
			Шпонкой	a92
			Иное	...
	Наличие шпонки	p10	Есть	a101
			Нет	a102
Вал узла колеса	Длина	p11	L	a111
			Иное	a112
Колесо	Вид колеса	p12	Цельное	a121
			Сборное	a122
Ступица колеса	Диаметр	p13	D1	a131
			D2	a132
			NILL	a133
			Иное	...

Окончание таблицы

Функциональная вершина	Признак		Значения	
Ступица колеса в сборе	Диаметр	p14	D3	a141
			NILL	a142
			Иное	...
Колесо в сборе	Наличие винтов	p15	Есть	a151

Заключение

Процесс синтеза в рассмотренном случае представляет собой декартовое перемножение всех признаков с последующим анализом наборов на их корректность. Расширение информативности возможно за счет экспертного опроса путем ответа на вопросы, сформулированные в признаках с получением новых значений. Проблема нарушения древовидности на процесс синтеза не влияет, поскольку синтез не связан с обходом дерева. Недостатком указанного подхода является сложность анализа и учета альтернативных характеристик, наличие дублирования признаков фантомных структур.

Во 2-й части статьи рассмотрим развитие методов синтеза обобщенной модели класса сложных объектов, их достоинства и недостатки.

Библиографические ссылки

1. Малина О. В. Информационные модели в задачах структурного синтеза // Информационная математика : науч.-техн. журнал. – 2001. – № 1. – С. 184–193.
2. Половинкин А. И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применения. – М. : Информэлектро, 1991. – 104 с.
3. Малина О. В. Особенности использования древовидных структур в системах автоматизированного проектирования // Информационная математика в информатологии : сборник трудов симпозиума (Москва – Ижевск, 1997). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1997. – С. 8–11.

O. V. Malina, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

Review of Methods for Synthesis of the Model of Class of Spiroid Gearboxes for Intelligent CAD Systems. Part 1. Graph Method

Development of intelligent systems of computer-aided design requires establishment of the problem for accumulation and generalization of the designer's experience. Development of the model of the designer's activity meets the absence of the end-to-end algorithm, allowing for synthesis of a layout with the consumer qualities of the product as the initial data. This explains the functional set of advanced CAD systems which are capable of automating the processes of graphical works, developing 3D models, performing individual engineering analysis, preparing the design and manufacturing documentation, however, they do not allow for performing the structural synthesis of the future product. The experience of the designing engineer and his intuition become here the decisive factors in implementing the process of the structural synthesis. By developing the methodology of automation of the process of structural synthesis the author of the paper states the question of accumulating the "designer's experience" for its further application as informational support of the system of computer-aided design capable for maximally automate the process of structural synthesis of future layouts. Generalization of the experience is considered by the author as generation of the model of the class of objects allowing for fixation of maximum number of features of layout performances of the product and its components. Another problem to be solved when developing the model of the class of objects is to provide the possibility of its computer-aided implementation. The author proposes to apply the classifier as the model of the class of objects, the classifier representing the set of classification features (questions) and the set of values of features (alternative answers on each of the stated question). The object of design was taken to be a spiroid gearbox representing the object of the mean level of complexity. Graph representation of the object layout allowing for demonstration of all the layout units and possessing definite properties interesting for the designer is demonstrative and convenient for mathematical and, therefore, algorithmic description. The paper substantiates the necessity and possibility of developing the classifier as the generalized model of the class of spiroid gearboxes plotted by the graph method implying the generalization of graph models of individual designing solutions. The author considered the graph method by Polovinkin, grounded the necessity of its modification, proposed the graph method providing the high degree of automation of the process of generalizing the designer's experience and development of the classifier.

Keywords: Complex objects, steps of developing the graph model, model of gearbox layout description, structure generating modules, characteristics, graph method for developing the generalized model.

Получено: 19.04.17