

Development and industrial engineering of a wide range of low-speed heavy-loaded spiroid gearboxes for pipeline valves implies the obligatory execution of various types of their testing. This paper presents certain essential results of these investigations along with description of tested gearboxes, testing equipment and testing schedules.

Keywords: spiroid gearbox, testing, investigations

Получено: 25.04.14

УДК 621.001.2

Э. Г. Зарифуллина, аспирант;
О. В. Малина, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНФИГУРАТОРА

Освещены структура и функционал конфигуратора класса машиностроительных объектов. Особое внимание уделяется описанию классификатора – информационной модели конфигуратора и подходам к его созданию.

Ключевые слова: САПР, конфигурирование, классификатор, информационная модель конфигуратора

Задачи конфигурирования могут быть сформулированы в двух постановках и решаться на разных этапах жизненного цикла изделия. Во-первых, конфигурирование как разработка новой конструкции изделия путем изменения прототипа. Во-вторых, конфигурирование, как оценка возможности замены компоновочных элементов конструкции аналогами. Конфигурирование первого типа в практике автоматизированного конструирования называют конструированием «сверху – вниз». Задача конфигуратора в этом случае состоит в том, чтобы определить, как измененные исходные данные на проектирование сочетаются со свойствами существующего прототипа, выяснить, какая возможна модификация, после чего выполнить все возможные модификации и предоставить проектировщику множество возможных конструкторских решений.

Конфигурирование второго типа выполняется, когда изменяются не технические требования к изделию, а возникает необходимость замены детали или узла аналогом с фиксированным набором характеристик, отличающихся от характеристик исходного элемента. В этом случае следует оценить возможность замены и условия, при которых замена возможна (например, замена еще одной детали или узла).

Автоматизированный конфигуратор – система, позволяющая дать оценку существующей конструкции, присвоить ей уникальный код и предложить новую конфигурацию объекта, то есть его работоспособную структуру в терминах предметной области.

Базовыми модулями конфигуратора являются, во-первых, классификатор группы объектов, например, спироидных редукторов, во-вторых, база правил, фиксирующая правила конфигурирования, и, в-третьих, функциональный модуль, позволяющий на основании классификатора и правил конфигурирования решать задачу конфигурирования конструкции изделия машиностроения.

В качестве информационной базы конфигуратора выступает классификатор. Классификатором в дан-

ном случае мы называем систему упорядоченного хранения данных о предметной области, которая позволяет систематизировать как конструктивные элементы, встречающиеся в проектных решениях, так и их возможные характеристики.

Созданию классификатора предшествует разработка обобщенной модели класса объектов, этапами которой являются:

- описание отдельных проектных решений в терминах предметной области;
- обобщение полученных данных;
- дополнение модели, то есть расширение классификатора.

Выполнение каждого из указанных этапов сталкивается со специфическими трудностями:

- на этапе описания отдельных вариантов необходимо обеспечить структурную идентичность описания, что решается путем описания последующих конструкций путем модификации ранее описанных;
- на этапе обобщения данных и расширения классификатора необходим учет необязательности элементов и характеристик, поскольку классификатор в системе конфигуратора – это исходное множество признаков для переборного алгоритма, являющегося аппаратом синтеза в процессе конструирования.

Необязательность, то есть возможное отсутствие функциональных элементов и признаков, регулируется добавлением значения отсутствия к характеристикам самой необязательной вершины и всех ее потомков – Null. При таком подходе итоговое описание каждой конструкции включает в себя по одному значению каждого признака классификатора, вследствие чего имеет одинаковую длину для всех вариантов. Неполное описание признака классификатора, в частности потеря значения «отсутствие признака», приведет к системной ошибке, в результате которой из итогового множества вариантов исчезнут возможные сочетания. Рассмотрим простейший пример. Классификатор содержит два признака со следую-

щими значениями: признак «наличие третьей опоры в узле колеса» имеет значения «присутствует» и «отсутствует», признак «количество подшипников в третьей опоре» имеет значения «1» и «2». Эти данные получены из экспертного опроса.

Попробуем перемножить указанные признаки. При этом получатся следующие наборы: {«третья опора присутствует и содержит 1 подшипник», «третья опора присутствует и содержит два подшипника», «третья опора отсутствует, НО содержит один подшипник», «третья опора отсутствует, НО содержит 2 подшипника»}. Очевидно, что третий и четвертый набор не имеют смысла, однако их исключение из итогового множества приведет к потере вариантов, в которых третья опора отсутствует. Именно для преодоления указанной ошибки и вводится значение «Отсутствие признака» у признака «количество подшипников». По итогам перебора на откорректированных множествах получим следующие корректные наборы: {«третья опора присутствует и содержит 1 подшипник», «третья опора присутствует и содержит два подшипника», «третья опора отсутствует, и отсутствует признак количество подшипников у третьей опоры»}.

В ранних версиях синтеза обобщенной модели и ее дополнения обNULLение требовало активного участия эксперта, что существенно повышало вероятность возникновения ошибки. Он определял характер функциональных вершин, после чего вручную задавал расстановку меток обязательности вершин их потомков по правилу: если одна из вершин обязатель-

ная, то и все ее потомки наследуют обязательность. Решение задачи осложнялось тем, что существует два типа обязательности: обязательность, порождаемая возможностью отсутствия функциональной вершины и обязательность, порождаемая возможностью отсутствия признака. В ранее предлагаемых методах обнаружение обязательности и дополнение обобщенной модели выполнялось по разным алгоритмам вследствие того, что структура обобщенной модели предполагала наличие внутренней структуры функционального элемента и отсутствие внутренней структуры признака. Нами предлагается математический метод дополнения обобщенной модели значениями обязательности признаков, позволяющий автоматизировать указанный процесс. Кроме того, в предлагаемом алгоритме изменилось понимание отношений между признаками: было учтено, что признаки влияют друг на друга – способны выстраивать собственную иерархию, где действуют те же законы и правила описания, что и с функциональными вершинами. Рассмотрим порядок формирования обобщенной модели с применением предлагаемых методов.

Выявление обязательных функциональных вершин осуществляется с помощью матрицы смежности, в которой указываются связи между смежными элементами графа (вершинами). Столбцы и строки матрицы соответствуют вершинам от 1 до n, где n – число вершин в графе. Ненулевое значение в ячейке матрицы указывает на связь между двумя вершинами. В табл. 1 представлено матричное описание трех декомпозиций.

Таблица 1. Матричное представление связей между функциональными вершинами

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1		1	1	1								1		1		1								1		1		1								
2					1	1						2			1		1						2													
3						1	1					3					1	1					3													
4							1	1		1	1	4									1		4													
5												5											5										1			
6												6											6													
7											1	7											7													
8												8											8													
9												9											9												1	
10												10											10													
11												11											11													
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0			1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	0	1	1	1	0	1	1	1	1		

Фантом

Необязательные
вершины

Учет наличия связей между вершинами ведется выше главной диагонали. При такой обработке любой декомпозиции можно выявить вершины-фантомы, т. е. две или большее количество вершин, описывающих один материальный объект, например, выходная часть одного элемента является входной частью другого. На наличие фантома указывает несколько ненулевых значений в одном столбце. Получить информацию о статусе вершины можно с помощью вектора, сформированного в результате операции дизъюнкции значений по столбцам полученных матриц. Нулевое значение вектора означает

отсутствие вершины в декомпозиции, а значит, ее необязательность. Операция дизъюнкции позволяет учитывать наличие фантомных вершин.

Следующим важным этапом в создании обобщенной модели являются логическое объединение характеристик функциональной вершины в признаки и расстановка меток о статусе обязательности признаков. Первым шагом на данном этапе является разбиение характеристики на признаки и значения (исходы).

Вторым шагом является выявление статуса обязательности признака. Необязательность функциональной вершины – наиболее типичный случай возможно-

сти отсутствия ее признаков и не требует дополнительного анализа. Как было сказано выше, при выявлении необязательности функциональной вершины все ее признаки, а также признаки ее потомков в дополнение к имеющимся значениям, получают значение Null-F. Случай присутствия характеристики конкретной функциональной вершины не во всех декомпозициях, где эта вершина присутствует, формирует дополнительное значение отсутствия Null-P. Как было сказано выше, возникает такая ситуация, когда характеристики зависят друг от друга и выстраивают собственную иерархию, что влечет необходимость регулирования статуса необязательности признаков по тем

же алгоритмам, что и функциональных вершин с некоторой модификацией. В табл. 2 представлен вид матрицы, описывающей иерархию признаков вершины «Рукоять». В отличие от функциональных вершин, в таблице существует разделение на связи «признак» – «значение» (белые строки) и «значение» – «признак» (серые строки). Суммирование по столбцам производится по значениям в белых полях, так как отслеживание ведется по наличию признаков. При значении суммы по столбцу меньшей, чем количество декомпозиций, в которой присутствует признак (в табл. 2 обозначено светло-серым), к значениям признака добавляется Null-P.

Таблица 2. Матрица смежности для выявления необязательности признаков

		I			II			III				
ФУНКЦ. ВЕРШИНА	КАТЕГОРИЯ	РУКОЯТЬ 1			РУКОЯТЬ 1			РУКОЯТЬ 1				
	КАТЕГОРИЯ	МАТЕРИАЛ 1			МАТЕРИАЛ 2			МАТЕРИАЛ 2				
	ЗНАЧЕНИЕ	ДЕРЕВО 2			ДЕРЕВО 3			ЖЕЛЕЗО 7				
	КАТЕГОРИЯ	ПОРОДА 3			ПОРОДА 4			МАРКА 8				
ЗНАЧЕНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ	ДУБ 4			СОСНА 6			К48 9				
	ЗНАЧЕНИЕ											
	ЗНАЧЕНИЕ											
	ЗНАЧЕНИЕ											

	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1 ФВ											
2 П	3								3		
3 З		2							2		
4 П			2						2		
5 З				1					1	+Null-P	
6 З				1					1	+Null-P	
7 З		1							1		
8 П							1		1		
9 З								1	1	+Null-P	
	3	3		2			1				

Таким образом, мы получаем обобщенную модель класса объектов, в которой учтены возможности наличия или отсутствия функциональных элементов и признаков сложного объекта. Однако на этом этап наполнения классификатора не может считаться завершенным. Конфигуратор должен иметь средства расширения классификатора, которое может осуществляться за счет опроса экспертов либо за счет поиска новых данных в информационных системах (например, в сети Интернет). Классификатор может расширяться в трех направлениях: за счет введения в структуру графа новых структурообразующих вершин, за счет появления новых признаков, за счет дополнения множества значений отдельных признаков.

Рассмотрим, каким образом происходит расширение классификатора и оценим влияние одних этапов расширения на возникновение других. Предположим, что в исходных конструкциях, взятых за основу при создании обобщенной модели, колесо было соединено с валом шлицем или в натяг. Отвечая на вопрос признака «вид соединения?», сформулированного на основе исходных данных, эксперт ответил, что соединение также может быть выполнено шпонкой. Результатом данного расширения является: появление нового значения признака «вид соединения?», появление в графе структурной вершины «шпонка», появление признака «тип шпонки?» и значение признака «код по ГОСТ данной шпонки», который впоследствии может быть дополнен иными альтернативными кодами. Проведенный анализ по-

казал, что последствием расширения может стать не только появление новых функциональных вершин, признаков и их значений, но и изменение характера структурообразующих вершин, изменение иерархии признаков и существенная корректировка всей обобщенной модели в целом. Появление новых элементов, способных конструктивно заменить существующие, может привести к тому, что ранее используемый конструктивный элемент из обязательного превратится в альтернативный. Изменение статуса структурообразующей вершины приводит к серьезным изменениям в содержании классификатора.

Разобрав процесс построения и расширения классификатора, рассмотрим структуру и содержание информационной базы, определяющей правила конфигурирования. Суть правила конфигурирования состоит из двух положений:

- все итоговые варианты конструктивных решений должны быть реализуемы и отвечать требованиям технического задания;
- исключение вариантов, которые впоследствии окажутся нереализуемыми, надо выполнять на ранних этапах конфигурирования.

Причину нереализуемости конструктивных решений будем называть запрещенной фигурой, то есть невозможным сочетанием значений признаков. По типу запрещенные фигуры делятся на эмпирические, получаемые по результатам экспертного опроса, и функциональные – расчетные. По характеру – абсолютно (всегда) и относительно (возникающие при наложении требований ТЗ) запрещенные.

Структурно все множество запрещенных фигур разбивается на подмножества относительно признаков и относительно значений признаков. Такое разбиение позволит при изменении структуры прототипа не проверять новую структуру на все множество запрещенных фигур, характеризующих класс объектов, а проанализировать лишь множества запрещенных фигур вновь введенных в структуру значений признаков.

Такого рода структурирование множества запрещенных фигур является первым шагом оптимизации процесса конфигурирования [3]. Однако, поскольку работа конфигуратора не ограничивается фиксацией возможности замены одного конструктивного элемента другим, а направлена и на поиск набора необходимых замен, позволяющих получить работоспособную конструкцию, соответствующую требованиям технического задания, следующий этап исследований должен быть направлен на формирование процесса планирования замен. Очевидно, что процесс этот будет иметь множество альтернативных модификаций, различающихся количеством заменяемых элементов, и представлять собой разрастающийся вниз корневой граф. Поэтому далее исследования будут направлены на оптимизацию процесса

планирования модификаций с поиском самого короткого «корня».

Предлагаемый подход позволяет сделать следующий шаг в развитии средств автоматизации этапов жизненного цикла изделия, а сама система конфигуратора будет востребована как проектировщиками, так и людьми, осуществляющими эксплуатационные работы сложных машиностроительных изделий.

Библиографические ссылки

1. Валеев О. Ф., Зарифуллина Э. Г., Малина О. В. Подход к построению классификатора объектов машиностроения как основы информационного обеспечения САПР // Изв. Тул. гос. ун-та. Техн. науки. – 2013. – Вып. 6-1. – С. 220–229.
2. Подходы к организации экспертного опроса подсистемы формирования классификатора системы структурного синтеза конечных объектов, построенных на дискретных структурах / О. В. Малина [и др.] // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 1. – С. 126–129.
3. Малина О. В., Валеев О. Ф., Зарифуллина Э. Г. Анализ подходов к минимизации ресурсов ЭВМ в процессе автоматизированного структурного синтеза изделий машиностроения средней степени сложности // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 22–24.

E. G. Zarifullina, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

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

Approach to creation of an information model of the automatized configurator

The article is devoted to structure and functional of the engineering objects configurator. Special attention is devoted to describing of the classifier, which is an information model of the configurator, and to ways of its development.

Keywords: CAD, configuring, classifier, information model of the configurator

Получено: 25.04.14

УДК 621.833.3

А. А. Корнилов, инженер;
Д. Ю. Курлыкова, магистрант;
О. В. Петрова, магистрант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕСА НИЗКОСКОРОСТНЫХ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ СПИРОИДНЫХ РЕДУКТОРОВ

Описаны результаты экспериментальных исследований смазочных материалов и опор скольжения в низкоскоростных тяжело нагруженных спиройдных редукторах. Приводятся зависимости коэффициента полезного действия редуктора в зависимости от материалов опор скольжения и применяемых смазок.

Ключевые слова: спиройдный редуктор, опоры скольжения, смазочный материал, КПД

Введение

Одним из широко распространенных видов технологического оборудования, применяемого во многих отраслях промышленности, является трубопроводная арматура (ТПА), важнейшим элементом управления которой являются приводы. Условия эксплуатации

редукторов ТПА характеризуются высокими нагрузочными и в особенности перегрузочными моментами, низкими скоростями вращения, широким диапазоном рабочих температур (от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$). Это накладывает определенные ограничения на применяемые редукторы, что зачастую приводит к появле-