



The system parameterization of castings, allowing to formalize spatial geometry of casting, is offered. The algorithm of taxonomy, which can be used for solving of problems of castings classification in the systems of computer-aided design of foundry technologies, is described. The method is approved on castings of type "cover".

А. Н. ЧИЧКО, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, БНТУ,
Л. В. МАРКОВ, ОАО «ММЗ»,
В. Ф. СОБОЛЕВ, БНТУ

УДК 669.27:519

О ПУТЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ «ЛИТНИК-ОТЛИВКА» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ

Одной из сложнейших проблем САПР является разработка методов автоматизированной классификации проектируемых объектов. В применении к задачам разработки литейных технологий проблема классификации состоит в определении степени близости анализируемой отливки к существующим классам. Именно многообразие геометрии отливок значительно усложняет задачу классификации.

В настоящее время существует вполне устоявшаяся классификация отливок по группам, для каждой из которых предлагается ряд типовых вариантов по положению их в форме, плоскости разреза формы и литниковых систем [1, 2]. Однако принятая методика классификации не обладает необходимым уровнем автоматизации, чтобы ее можно было использовать в системах САПР, и основывается на визуальном определении схоже-

сти анализируемой детали и представителей класса отливок. При этом во многих случаях сложно отнести анализируемую деталь к конкретному классу в виду особенностей ее конструкции и пространственной геометрии. В настоящей работе предлагается один из возможных способов классификации отливок по группам на основании количественных параметров их геометрии, а также параметров литниковых систем, которые могут быть для них спроектированы.

Цель настоящей работы — разработка метода классификации отливок на основе их параметрического описания с использованием алгоритмов таксономии и методов кластерного анализа.

На рис. 1 показаны 3D-объекты отливок, использованные в исследовании. Все отобранные объекты относятся к классу отливок «крышка». На первом этапе для выбранной группы отливок

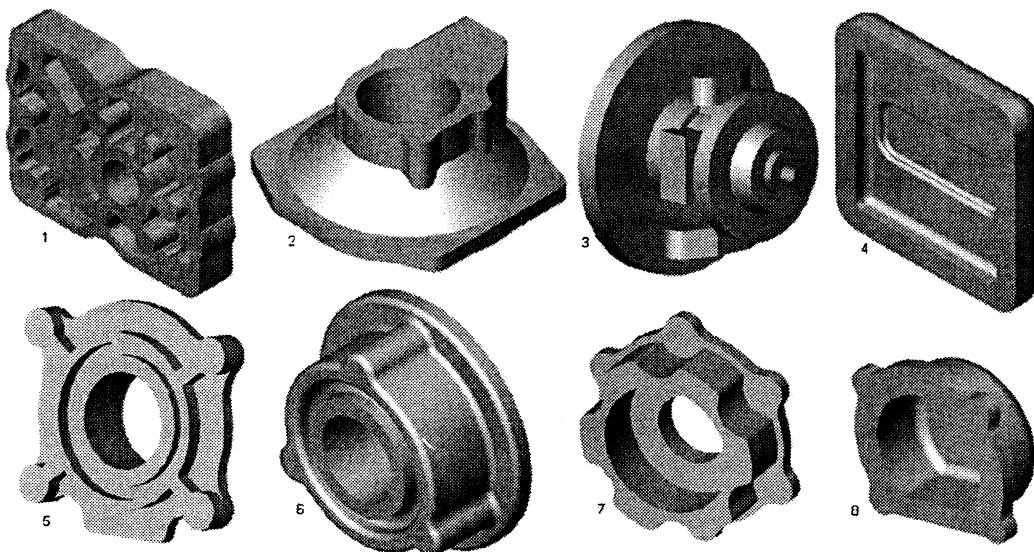


Рис. 1. 3D-объекты исследования

были построены по классическим рекомендациям и методикам несколько вариантов литниковых систем, которые в дальнейшем были дополнены вариантами с искаженными геометрическими параметрами. Всего было отобрано восемь отливок и

для каждой отливки были разработаны по десять вариантов литниковых систем (рис. 2) (всего 80 объектов). Был введен ряд параметров, характеризующих пространственную геометрию как самой отливки, так и литниковой системы.

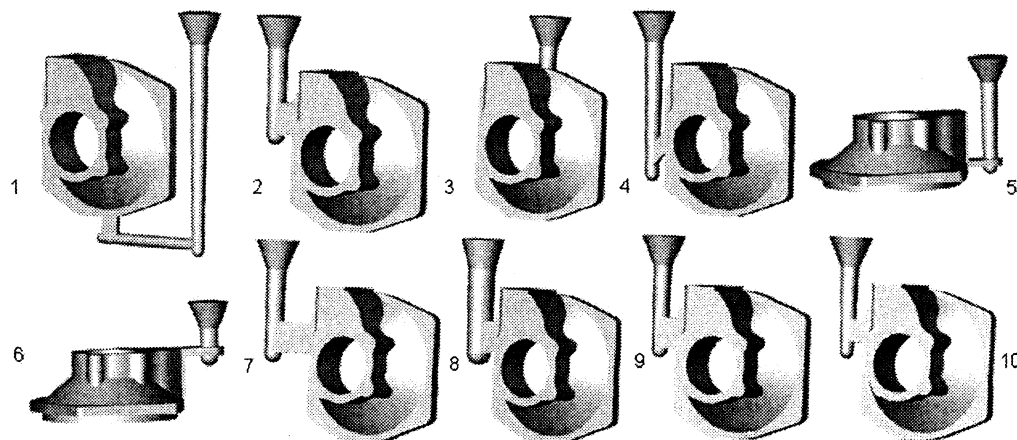


Рис. 2. Варианты литниковых систем для отливки 2

На рис. 3 показана схема параметризации системы «отливка – литниковая система».

В соответствии со схемой параметризации были определены три группы параметров. Первая характеризует литниковую систему, вторая – параметры отливки и литниковой системы и третья – пространственную геометрию отливки. Для расчетов параметров использовали формулы, приведенные в табл. 1.

На основании приведенных в табл. 1 формул были рассчитаны параметры отливок и литниковых систем, фрагмент которых для отливок 1–4 представлен в табл. 2 и для отливок 5–8 – в табл. 3 (см. рис. 1).

Результаты, приведенные в таблицах, используются при формировании входной матрицы. Даже из простого анализа видно, что процесс классификации вручную невозможен и необходимо применение компьютерных методов обработки информации.

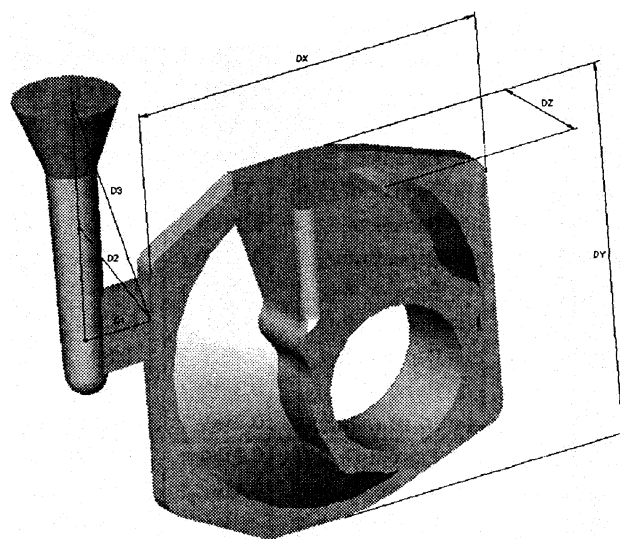


Рис. 3. Схема параметризации системы «отливка – литниковая система»

Таблица 1. Выделенные параметры для классификации отливок

Группа параметров ЛС	Параметры системы «отливка – ЛС»	Параметры отливки
P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17	P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29	P31, P32, P33, P34, P35, P36
P11 – подвод металла	P21 = P15 / P31	P31 = DX / DY
P12 – гидросопротивление	P22 = P15 / P32	P32 = DX / DZ
P13 = $L_{лит} / L_{стояк}$	P23 = P15 / P33	P33 = DY / DZ
P14 = $S_{лит} / S_{стояк}$	P24 = P16 / P31	P34 = δ / M
P15 = $D_1 / L_{стояк}$	P25 = P16 / P32	P35 = δ
P16 = $D_2 / L_{стояк}$	P26 = P16 / P33	P36 – отверстия
P17 = $D_3 / L_{стояк}$	P27 = P17 / P31	
	P28 = P17 / P32	
	P29 = P17 / P33	

Традиционный способ сокращения описания связан с разделением множества объектов таблицы на небольшое число групп объектов, связанных друг с другом каким-либо закономерным свойством. В качестве такой закономерности ис-

пользуется «похожесть» объектов одной группы или друг на друга, или на некоторый один «типичный» объект.

В качестве методики для расчета использовали алгоритм семейства FOREL, подробное описание

Таблица 2. Выделенные расчетные параметры 3D-объектов для отливок 1–4, использованных при решении задачи классификации

Номер отливки	Литниковая система	Выбранные параметры							
		P13	P14	P15	P16	P17	P31	P32	P34
1	Вариант 1	0,1198	0,8	0,4323	0,5625	0,9729	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 2	0,3439	0,87	0,3439	0,6052	1,0495	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 4	0,2589	0,87	0,2589	0,3643	0,8338	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 5	0,3798	0,87	0,3798	0,6273	1,0675	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 6	0,4708	0,87	0,4708	0,687	1,1055	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 7	0,6878	0,87	0,6878	0,8473	1,2036	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 8	0,3439	0,5	0,3439	0,6052	1,0537	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 9	0,3439	1,11	0,3439	0,6066	1,0578	1,2473	4,4615	4,1667
	Вариант 10	0,3439	0,87	0,3439	0,5846	1,0041	1,2473	4,4615	4,1667
2	Вариант 1	0,09604	0,8	0,471	0,6131	1,0146	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 2	0,262	0,87	0,262	0,5642	1,034	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 4	0,2087	0,87	0,2087	0,3815	0,8644	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 5	0,2832	0,87	0,2832	0,5744	1,0396	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 6	0,5973	0,87	0,5973	0,7799	1,1655	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 7	0,5245	0,87	0,5245	0,7247	1,1294	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 8	0,2622	0,5	0,2622	0,5647	1,0376	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 9	0,2622	1,11	0,2622	0,5647	1,0341	1,0284	2,2625	1,9737
	Вариант 10	0,2752	0,87	0,2752	0,5706	1,0376	1,0284	2,2625	1,9737
3	Вариант 1	0,145	0,8	0,3893	0,5062	0,928	1,579	1	3,75
	Вариант 2	0,3618	0,87	0,3618	0,618	1,0637	1,579	1	3,75
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	1,579	1	3,75
	Вариант 4	0,2915	0,87	0,2915	0,3589	0,8201	1,579	1	3,75
	Вариант 5	0,4344	0,87	0,4344	0,6625	1,0902	1,579	1	3,75
	Вариант 6	0,4374	0,87	0,4374	0,6631	1,09	1,579	1	3,75
	Вариант 7	0,7236	0,87	0,7236	0,8799	1,2344	1,579	1	3,75
	Вариант 8	0,3618	0,5	0,3618	0,618	1,0637	1,579	1	3,75
	Вариант 9	0,3618	1,11	0,3618	0,618	1,0637	1,579	1	3,75
	Вариант 10	0,3888	0,87	0,3888	0,633	1,0731	1,579	1	3,75
4	Вариант 1	0,1166	0,8	0,5049	0,6231	1,0104	1	5,4	1,7647
	Вариант 2	0,4109	0,87	0,4109	0,6475	1,0814	1	5,4	1,7647
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	1	5,4	1,7647
	Вариант 4	0,2355	0,87	0,2355	0,3747	0,8522	1	5,4	1,7647
	Вариант 5	0,4337	0,87	0,4337	0,6618	1,0902	1	5,4	1,7647
	Вариант 6	0,6623	0,87	0,6623	0,8305	1,2	1	5,4	1,7647
	Вариант 7	0,8217	0,87	0,8217	0,9622	1,295	1	5,4	1,7647
	Вариант 8	0,4109	0,5	0,4109	0,6475	1,0814	1	5,4	1,7647
	Вариант 9	0,4109	1,11	0,4109	0,6475	1,0814	1	5,4	1,7647
	Вариант 10	0,4343	0,87	0,4343	0,6627	1,09	1	5,4	1,7647

которого изложено в работе [3]. Суть этого алгоритма заключается в распределении объектов, описанных количественными характеристиками (признаками), между таксонами (группами «похожих» элементов). Для этого центр гиперсферы радиуса R помещается в любую точку множества объектов. Определяются внутренние точки сферы, для чего рассчитываются расстояния от центра таксона до каждой точки множества и если оно оказывается меньше или равным радиусу гипер-

сферы, такая точка считается «внутренней». Далее вычисляется центр тяжести таксона, и центр сферы помещается в эту точку. Для нового положения центра сферы снова определяются внутренние точки и расчет повторяется, пока координаты центра таксона не будут оставаться неизменными. После определения внутренних точек соответствующие им объекты исключаются из основного множества и расчет повторяется, пока все точки множества не будут распределены между n таксонами.

Таблица 3. Выделенные расчетные параметры 3D-объектов для отливок 5–8, использованных при решении задачи классификации

Номер отливки	Литниковая система	Выбранные параметры							
		P13	P14	P15	P16	P17	P31	P32	P34
5	Вариант 1	0,105	0,8	0,5059	0,6331	1,0225	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 2	0,2872	0,87	0,2872	0,5764	1,0408	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 4	0,2158	0,87	0,2158	0,3794	0,8613	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 5	0,3869	0,87	0,3869	0,6325	1,0725	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 6	0,4779	0,87	0,4779	0,6918	1,1087	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 7	0,5475	0,87	0,5475	0,7414	1,1405	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 8	0,2833	0,5	0,2833	0,5751	1,0395	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 9	0,2831	1,11	0,2831	0,5747	1,0395	0,9302	3,6923	1,8824
	Вариант 10	0,3009	0,87	0,3009	0,584	1,0446	0,9302	3,6923	1,8824
6	Вариант 1	0,1219	0,8	0,4832	0,6013	0,9946	1	2,6667	1,4925
	Вариант 2	0,1813	0,87	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	1	2,6667	1,4925
	Вариант 4	0,2391	0,87	0,2391	0,3716	0,8482	1	2,6667	1,4925
	Вариант 5	0,2504	0,87	0,2504	0,5611	1,0305	1	2,6667	1,4925
	Вариант 6	0,5223	0,87	0,5223	0,7235	1,1275	1	2,6667	1,4925
	Вариант 7	0,3375	0,87	0,3375	0,6031	1,0556	1	2,6667	1,4925
	Вариант 8	0,1813	0,5	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925
	Вариант 9	0,1813	1,11	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925
	Вариант 10	0,175	0,87	0,175	0,53	1,015	1	2,6667	1,4925
7	Вариант 1	0,0923	0,8	0,5606	0,6869	1,0626	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 2	0,2366	0,87	0,2366	0,553	1,0279	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 3	0	1	0	0,5007	1	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 4	0,1581	0,87	0,1581	0,4039	0,8952	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 5	0,3314	0,87	0,3314	0,5997	1,0534	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 6	0,6827	0,87	0,6827	0,8457	1,2112	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 7	0,4758	0,87	0,4758	0,6902	1,1073	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 8	0,2362	0,5	0,2362	0,5529	1,0275	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 9	0,2362	1,11	0,2362	0,5524	1,0275	0,8879	2,7905	1,3158
	Вариант 10	0,2318	0,87	0,2362	0,5512	1,0266	0,8879	2,7905	1,3158
8	Вариант 1	0,107	0,8	0,5235	0,646	1,0295	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 2	0,2034	0,87	0,2034	0,5398	1,0209	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 3	0	1	0	0,5	1	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 4	0,1736	0,87	0,1736	0,3969	0,8859	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 5	0,253	0,87	0,253	0,5599	1,0312	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 6	0,5212	0,87	0,5212	0,7219	1,1271	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 7	0,3624	0,87	0,3624	0,6176	1,0636	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 8	0,2184	0,5	0,2184	0,5456	1,0234	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 9	0,2152	1,11	0,2152	0,5444	1,0235	0,9167	2,2917	3,3333
	Вариант 10	0,2245	0,87	0,2245	0,5476	1,0253	0,9167	2,2917	3,3333

По описанной методике была построена блок-схема, показанная на рис. 4.

Для проведения расчета были использованы следующие формулы для определения координат центра масс таксона:

$$P_{ci} = \frac{\sum P_{ij} m_{ij}}{\sum m_{ij}}, \quad (1)$$

где P_{ci} — координата центра таксона по i -му свойству; P_{ij} — элемент i -го таксона; m_{ij} — весовой вклад соответствующего элемента таксона.

Определение расстояния от j -го объекта до центра i -го таксона проводили по формуле

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{ci} - P_{ij})^2}. \quad (2)$$

По описанному алгоритму, используя язык программирования VBA (Visual Basic for Applications), была написана программа для классификации систем «отливка — литниковая система». Программа была реализована в приложении Microsoft Excel.

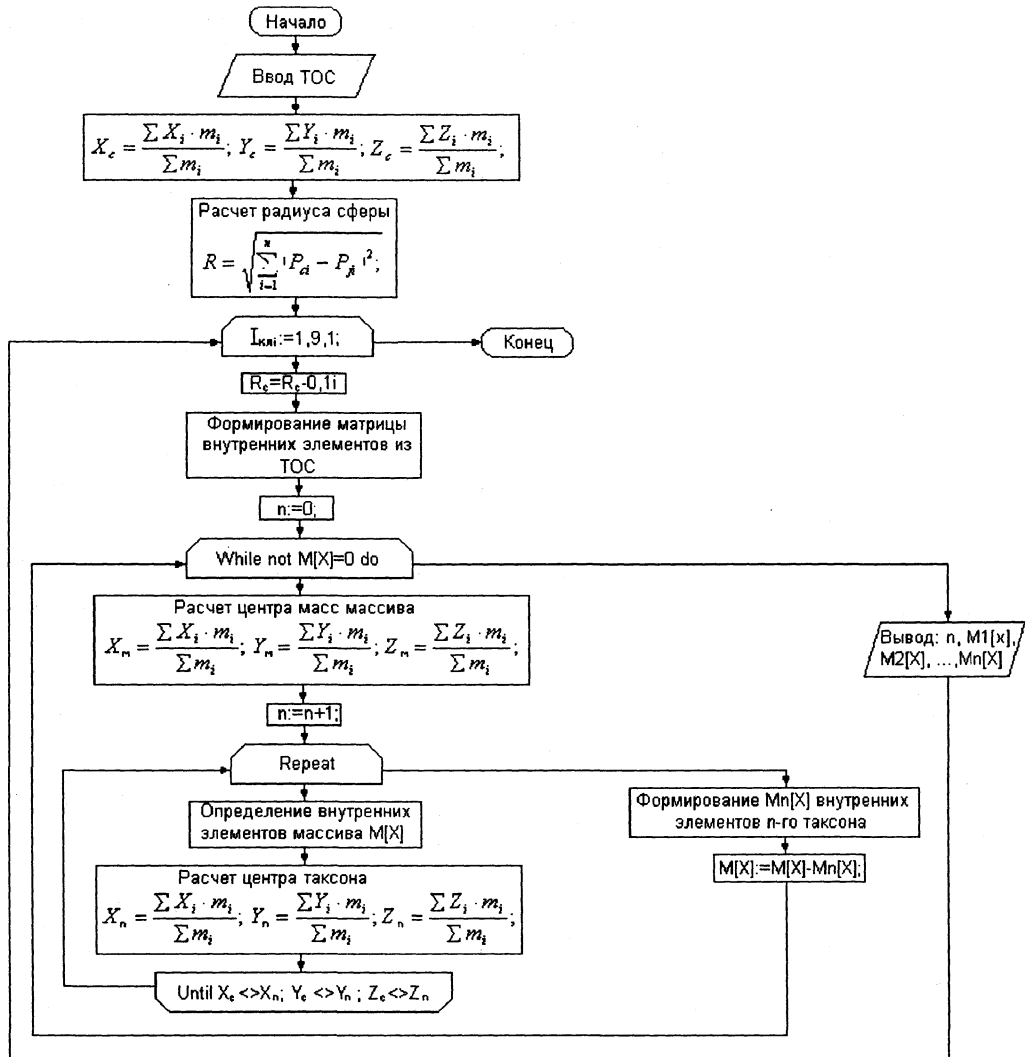


Рис. 4. Алгоритм таксономии FOREL

На рис. 5 показан фрагмент расчетов по разработанной программе. В этом фрагменте расчет проводили по восьми параметрам, которые отобраны в ходе исследования как наиболее информативные (P13, P14, P15, P16, P17, P31, P32, P34). В ходе исследования изменялся задаваемый радиус таксонов от R_{max} до 0, соответственно количество таксонов изменялось от 1 до 80 ($R_{max}=2,9$). Уже при незначительном уменьшении радиуса из основной группы объектов выделяются десять элементов, относящихся к отливке 3. Это говорит о возможной принадлежности отливки 3 к другому классу отливок. При радиусе таксонов от 0,8 до R_{max} (2,9) наблюдалось попадание всех элементов, относящихся к одной отливке, в один таксон. При более низком радиусе было отмечено дробление таксонов на более мелкие, что связано с повышением влияния конфигурации литниково-вой системы.

Для данной группы объектов был определен оптимальный радиус для классификации заданной группы отливок, он находится в диапазоне от 0,8 до 1,45. При данном радиусе рассматриваемая

группа объектов распадается на шесть таксонов – пять подклассов и таксон, включающий элементы, относящиеся к отливке 3. Первый подкласс – объекты, относящиеся к отливке 1. Второй подкласс – объекты, относящиеся к отливкам 2, 6, 7. Третий подкласс – объекты, относящиеся к отливке 4. Четвертый подкласс – объекты отливки 5 и пятый подкласс – объекты отливки 8.

Был проведен проверочный расчет распределения по таксонам по всем 22 параметрам при радиусе разбиения 0,8–1,45. Устойчиво получалось шесть таксонов с теми же объектами, что и при сокращенном варианте расчета.

По результатам работы программы было построено дерево кратчайшего незамкнутого пути между восьмью wybranными объектами (рис. 6). Построенный граф соединяет все точки множества и при этом не имеет циклов, сумма длин всех его ребер минимальна.

В процессе своей работы алгоритм FOREL выдает серию разбиений, каждая последующая отличается от предыдущей уменьшением размера таксона и увеличением числа таксонов. Такая

Microsoft Excel - Forel_1 для отливок.xls

Файл Вид Вставка Формат Справка Данные Сервис Справка

100% Arial

V67	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
41	0,8	0,5059	0,5331	1,0225	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,266931				
42	0,87	0,2672	0,5764	1,0408	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,04422				
43	1	0	0,5	1	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,468566				
44	0,87	0,2158	0,3794	0,8613	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,30477				
45	0,87	0,3669	0,6325	1,0725	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,127348				
46	0,87	0,4779	0,6918	1,1087	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,271628				
47	0,87	0,5475	0,7414	1,1405	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,385736				
48	0,5	0,2633	0,5751	1,0395	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,366154				
49	1,11	0,2631	0,5747	1,0395	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,251675				
50	0,87	0,3009	0,584	1,0446	0,9302	3,6923	1,8824			5	0,032541				
51	0,8	0,5235	0,646	1,0295	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,300312				
52	0,87	0,2034	0,5398	1,0209	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,074268				
53	1	0	0,5	1	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,384325				
54	0,87	0,1736	0,3969	0,8659	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,241351				
55	0,87	0,253	0,5598	1,0312	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,032005				
56	0,87	0,5212	0,7219	1,1271	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,431092				
57	0,87	0,3624	0,6176	1,0636	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,177521				
58	0,5	0,2184	0,5456	1,0234	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,36707				
59	1,11	0,2152	0,5444	1,0253	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,253629				
60	0,87	0,2245	0,5476	1,0253	0,9167	2,2917	3,3333			6	0,047945				
61	0,8	0,4832	0,6013	0,9946	1	2,6667	1,4925			2	0,280714				
62	0,87	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925			2	0,200727				
63	1	0	0,5	1	1	2,6667	1,4925			2	0,444016				
64	0,87	0,2291	0,3716	0,8482	1	2,6667	1,4925			2	0,313061				
65	0,87	0,2504	0,5611	1,0305	1	2,6667	1,4925			2	0,148599				
66	0,87	0,5223	0,7235	1,1275	1	2,6667	1,4925			2	0,417657				
67	0,87	0,3375	0,6031	1,0558	1	2,6667	1,4925			2	0,172953				
68	0,5	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925			2	0,414743				
69	1,11	0,1813	0,5319	1,0163	1	2,6667	1,4925			2	0,3182				
70	0,87	0,175	0,53	1,015	1	2,6667	1,4925			2	0,207212				
71	0,8	0,5606	0,6869	1,0626	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,49602				
72	0,87	0,2366	0,553	1,0279	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,36877				
73	1	0	0,5007	1	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,555804				
74	0,87	0,1581	0,4039	0,8952	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,455577				
75	0,87	0,3314	0,5997	1,0534	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,374233				
76	0,87	0,6827	0,8457	1,2112	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,755562				
77	0,87	0,4758	0,6902	1,1073	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,482029				
78	0,5	0,2362	0,5529	1,0275	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,517475				
79	1,11	0,2362	0,5524	1,0275	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,443895				
80	0,87	0,2362	0,5512	1,0266	0,8879	2,7905	1,3158			2	0,369226				
81															
82	Радиус	1				0,22787	0,863	0,26952	0,56197	1,02304	0,9167	2,2917	3,3333		
83						P13c	P14c	P15c	P16c	P17c	P31c	P32c	P34c		
84						1	0,32827	0,863	0,36052	0,599	1,03484	1,2473	4,4615	4,168699	
85						2	0,254751	0,863	0,29505	0,575357	1,030543	0,9721	2,573233	1,594	
86						3	0,39368	0,863	0,43251	0,65575	1,0782	1	5,400001	1,7647	
87						4	0,35061	0,863	0,37504	0,60576	1,04269	1,579	1	3,75	
88						5	0,28876	0,863	0,32885	0,58884	1,03689	0,9302	3,6923	1,8824	
89						6	0,22787	0,863	0,26952	0,56197	1,02304	0,9167	2,2917	3,3333	
90															

Рис. 5. Фрагмент расчета координат таксонов и их элементов

последовательность все более дробной классификации позволяет произвести «генезис» таксонов и увидеть, на какие мелкие таксоны распадается тот или иной крупный таксон. В конечном счете это дает возможность классифицировать заданное количество отливок на подклассы, что в дальнейшем можно использовать для разработки литейных технологий.

Таким образом, метод таксономии, примененный к задаче классификации отливок «крышка», показывает возможности автоматизированной обработки анализируемого объекта. Это открывает новые пути решения задач классификации в системах автоматизированного проектирования литейных технологий.

Литература

1. Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978.
2. Бураков С.Л., Вейник А.И., Дубинин Н.П. Литье в кокиль. М.: Машиностроение, 1980.
3. Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск: Наука, 1985.

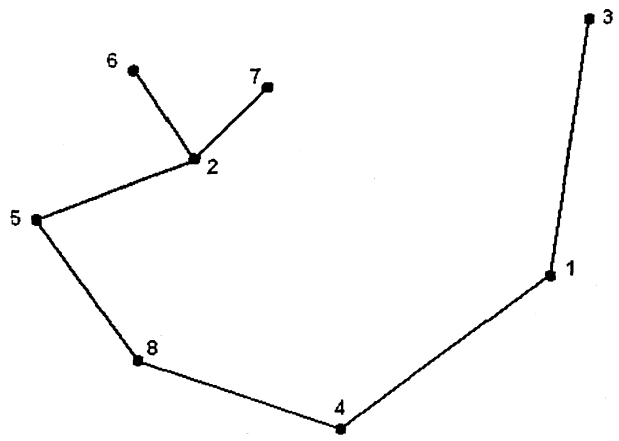


Рис. 6. Схема кратчайшего незамкнутого пути между объектами