

В дальнейшем планируется проводить измерения адгезии и выявление функциональной зависимости адгезионной прочности от толщин каждого слоя для дальнейшей оптимизации металлизационной структуры.

Литература

1. Мясников В. Е. Развитие сверхмощных длинноимпульсных и непрерывных гиротронов в диапазоне 110...170 ГГц / В. Е. Мясников и др. // Радиотехника. – 2000. - №2 – с. 67.
2. Патент РФ 2005135030/09. *Способ изготовления окна вывода энергии СВЧ* / Ляпин Л.В., Сытилин С.Н., Павлова М.А.; Заявл. 11.11.2005. Оpubл. 11.11.205. Бюл. № 15.
3. «Снипов.нет» [Электронный ресурс]: ВРД 39-1.10-030-2001. Методика определения качества полимерных адгезионных внутренних покрытий после воздействия коррозионно-агрессивных сред методом автоклавного испытания – Режим доступа: http://snipov.net/database/c_4294956053_doc_4293799494.html , свободный (дата обращения: 02.12.2016).

Классификация характеристик методов и средств испытаний на герметичность

С.А. Бушин

Москва, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», ул. Суцневская, д. 22. E-mail:vnii4@vniia.ru

В данной работе на основе ГОСТ Р 51780-2001 предпринята попытка провести теоретические исследования в выявлении эффективных путей по классификации основных характеристик методов и средств испытаний на герметичность при их выборе с использованием элементов математической статистики, прибегнув к таким понятиям как кластерный и дискриминантный анализ, на основе непараметрических критериев проверки статистически значимых различий.

Classification of methods features and leakage testing devices. S.A.Booshin. A theoretical attempt is made to classify the main methods features and leakage testing devices by mathematic statistics elements.

Вопросы выбора методов и средств контроля герметичности с использованием определенных критериев и способов для формирования оптимального алгоритма для решения прикладной задачи: обеспечения проведения контроля герметичности в конкретных условиях, например, для промышленного применения и/или лабораторно-исследовательских целей являлись всегда актуальными при принятии сбалансированного решения испытателем, что нередко сопряжено со значительными не только временными, но и материальными затратами. Для координации предпринимаемых шагов в этом направлении целесообразно обращаться к стандартам и руководящим материалам, содержащим соответствующие перечни характеристик методов и средств, анализируемых при формировании некоторой упорядоченности действий при решении подобных задач. Одним из таких руководящих документов является ГОСТ Р 51780-2001 (далее - ГОСТ) [1].

Прежде чем проводить какой-либо анализ необходимо четко сформулировать задачи точно также, как и с планированием эксперимента, поскольку достаточно хорошо подготовленный эксперимент содержит значительно меньше непродуманных действий.

Лаконично следуя по пунктам содержания вышеобозначенного ГОСТа, первым номером в процедуре выбора значится составление перечня обязательных и дополнительных требований, сформированного с учетом приоритетов. Номером два в данной процедуре

является наличие характеристик методов и средств измерения с учетом наличия последних. Сама процедура основывается на последовательном удовлетворении заданным требованиям в соответствии с установленными приоритетами.

Схема выбора критериев, согласно ГОСТ, построена на следующем установлении – методы и средства должны выбираться, исходя из их возможности выполнять обязательные и дополнительные требования. Тогда, когда нет жесткой пороговой привязки нормы на выполнение требований к показателям испытаний на герметичность, критерием выбора становится соотношение цена–качество (стоимость – эффективность). В случае же их равенства, разработчики данной нормали предлагают использовать такой критерий, как повышение культуры производства. И наконец, когда по какой-либо причине провести однозначный объективный выбор не удастся, необходимо совместно с заказчиком испытаний принять согласованное решение.

В ГОСТ содержатся восемь характеристик методов (см. табл. 1) и двадцать четыре характеристики, относящиеся к средствам испытаний на герметичность (см. табл. 2), являющихся, по существу, классификационными признаками.

В данной работе в качестве предлагаемого усовершенствования ГОСТ для рассмотрения предложен непараметрический алгоритм, который включает проведение классификации данных характеристик – морфологических вариативных признаков (используя статистическую терминологию), основанной на парной кластеризации. Для непараметрического анализа в работе использован метод экспертных оценок; в этих целях был проведен соответствующий опрос мнений у пяти независимых экспертов (исследователей). В отсутствие беспристрастности, интуиции и независимости суждений получить компетентное мнение практически невозможно, также как и невозможно подобрать абсолютно одинаковых экспертов. В этой связи, при анализе результатов экспертизы для оценки их общности оценивалась величина рангового коэффициента корреляции [2], по величине которого делали суждения о правомерности гипотезы о том, согласованы ли мнения экспертов в большей степени из-за случайных совпадений или это статистически значимое совпадение.

В таблицах 1 и 2 приведены данные, которые характеризуют ранги (рейтинги), выставленные независимыми экспертами.

Средняя сумма рангов в табл.1, 2 имеют следующие показатели – $S_1=22,5$, $S_2=1499,5$, соответственно; их же отклонения от средней суммы определяются значениями $SS_1=456,5$ и $SS_2=20561,74$.

Подставив значения SS_1 и SS_2 в формулу оценки степени согласованности W_i , получим:

$$W_1 = \frac{12 \cdot SS_1}{m^2(n_1^3 - n_1)} = \frac{12 \cdot 456,5}{25 \cdot (512 - 8)} = 0,4348 ;$$

$$W_2 = \frac{12 \cdot SS_2}{m^2(n_2^3 - n_2)} = \frac{12 \cdot 20561,74}{25 \cdot (13824 - 24)} = 0,7152 .$$

Видно, что эксперты, выставившие оценки согласованы друг с другом, при этом в первом случае степень согласованности средняя ($W>0,3...0,7$), а во втором случае – согласованность мнения экспертов сильная ($W>0,7$) [3].

Небезынтересно было выяснить в данных исследованиях, какой из уровней качественных признаков обозначенных в ГОСТе, имеющих отношение к характеристикам методов и средств, при их выборе наиболее значим для эксперта (испытателя). В этих целях произведена сравнительная оценка, насколько среднегрупповой профиль коррелирует с эталонным профилем.

В таблицах 1, 2 представлены средние значения, полученные для каждого из качеств среднегруппового профиля (по 8-и и 24-м характеристикам методов и средств испытаний, соответственно), из значений рангов экспертных оценок и выборке аналогичных рангов “идеального ряда”, построенного на основе предложенного разработчиками ГОСТ: качества перечислены в последовательности, отражающей эталонный профиль. Также в таблицах 1, 2 приведены расчетные значения разности рангов – d и их квадратов – d^2 для определения

рангового коэффициента r_s корреляции Спирмена между среднегрупповым и эталонным профилями.

Таблица 1

Наименование характеристик методов испытаний на герметичность (N=8)	Усредненные групповые оценки рангов экспертов	“Эталонный ряд” (ГОСТ)	Разности рангов, d	Сумма квадратов разностей рангов, d ²
1 Возможность испытания на суммарную и (или) локальную герметичность	5,8	8	- 2,2	4,84
2 Порог чувствительности	6,8	7	- 0,2	0,04
3 Диапазон регистрации потоков вещества	4,7	6	- 1,3	1,69
4 Применяемые вещества (пробное, балластное, индикаторное, вещество-носитель)	3,2	5	-1,8	3,24
5 Избирательность к применяемым веществам	4,9	4	0,9	0,81
6 Вредное воздействие на людей, объект испытаний, окружающую среду	5,2	3	2,2	4,84
7 Границы применимости метода в конкретных условиях испытаний	1,6	2	-0,4	0,16
8 Точность локализации течей	3,8	1	2,8	7,84
Сумма	36	36	0	23,46

Таблица 2

Наименование характеристик средств испытаний на герметичность (N=18)	Усредненные групповые оценки рангов экспертов	“Эталонный ряд” (ГОСТ)	Разности рангов, d	Сумма квадратов разностей рангов, d ²
1 Соответствие выбранному методу	19,6 22,3	24 23	- 4,4 -0,7	19,36 0,49
2 Порог чувствительности	18,5	22	-3,5	12,25
3 Диапазон регистрации потоков вещества	13,2	21	-7,8	60,84
4 Значение испытательного давления	21,2	20	1,2	1,44
5 Производительность	20	19	1	1
6 Стоимость средства испытаний	14	18	- 4	16
7 Квалификация и численность обслуживающего персонала	14,8 16,3	17 16	- 2,2 0,3	4,84 0,09
8 Затраты на эксплуатацию	15,9	15	0,9	0,81
9 Вероятность необнаружения течи	18,1	14	4,1	16,81
10 Время подготовки к работе				
11 Уровень вредных и опасных воздействий на людей, объект испытаний, окружающую среду	14,9 10,5 12,9	13 12 11	1,9 - 1,5 1,9	3,61 2,25 3,61

12 Вероятность безотказной работы	10	10	0	0
13 Вид выдаваемой информации				
14 Возможность фиксации результатов испытаний	12,2	9	3,2	10,24
15 Качество обработки полученной информации (простое измерение, прогноз и т.п.)	4,4	8	- 3,6	12,96
16 Возможность объединения средств испытаний в информационную систему	9,9	7	2,9	8,41
17 Границы применимости средства испытаний в конкретных условиях испытаний	7,9	6	1,9	3,61
18 Место и условия применения средства испытаний (лаборатория, заводские условия, ремонтные работы и т.п.)	5,4 9	5 4	0,4 5	0,16 25
19 Вид средства испытаний (стационарное, мобильное, переносное и т.п.)	3,4	3	0,4	0,16
20 Возможность модернизации	2,8	2	0,8	0,64
21 Вид конструктивного исполнения, габаритные размеры, формы	2,8	1	1,8	3,24
22 Условия эксплуатации и хранения				
23 Устойчивость к внешним воздействиям				
24 Требования к источникам энергии для функционирования				
Сумма	300	300	0	207,82

Следует отметить, что ранжирование в данном случае проведено таким образом, при котором меньшему по значимости признаку присвоено низшее значение ранга.

Как это обычно принято в математической статистике, при проведении непараметрического анализа сформулированы две гипотезы: H_0 – корреляция между среднегрупповым профилем, построенным по оценкам экспертов, и эталонным профилем не отличается от нуля; H_1 – корреляция между среднегрупповым профилем, построенным по оценкам экспертов, и эталонным профилем статистически значимо отличается от нуля.

Для подсчета эмпирического коэффициента r_s , в отсутствии одинаковых рангов в группах использована следующая формула:

$$r_s = 1 - 6 \cdot \frac{\sum d^2}{N \cdot (N^2 - 1)}.$$

В данном случае:

$$r_{s_{эм}} = 1 - \frac{6 \cdot 23,46}{8 \cdot (8^2 - 1)} = 1 - \frac{140,76}{504} = 0,7207 \quad \text{для показателей из таблицы 1 и}$$

$$r_{s_{эм}} = 1 - \frac{6 \cdot 207,82}{24 \cdot (24^2 - 1)} = 1 - \frac{1246,92}{13800} = 0,9096 \quad \text{для показателей из таблицы 2.}$$

По табл. XVI Приложения 1 [4] определены критические значения r_s выборочного коэффициента корреляции рангов при $N=8$

$$r_{s_{кр}} = \begin{cases} 0,72 (p \leq 0,05) \\ 0,88 (p \leq 0,01) \end{cases}$$
$$r_{s_{эм}} > r_{s_{кр}} (p \leq 0,05)$$

и при $N=24$, соответственно:

$$r_{s_{кр}} = \begin{cases} 0,41 (p \leq 0,05) \\ 0,52 (p \leq 0,01) \end{cases}$$
$$r_{s_{эм}} > r_{s_{кр}} (p \leq 0,01).$$

В конечном итоге, в случае с характеристиками методов (табл. 1) H_0 отвергается, а принимается гипотеза H_1 – коэффициент корреляции практически совпал с границей зоны значимости на уровне $p \leq 0.05$. Для данных из таблицы 2 нулевая гипотеза также отвергается и принимается гипотеза H_1 об отличии этого коэффициента от нуля со значимостью $p \leq 0.01$, которая является положительной. Интерпретация полученного результата такова: из таблицы 1 и 2 видно, что мнения экспертов имеют более низкий ранг по шкалам возможности испытания на суммарную и локальную герметичность и применяемых веществ из характеристик методов, а также соответствия выбранному методу и испытательного давления из числа качественных признаков относящихся к средствам испытаний. При этом более высокие ранги имеются по шкалам на точность локализации и уровня вредного и опасного воздействия на людей и объект испытаний для характеристик методов и уровню вредных и опасных воздействий на людей и возможность объединения средств испытаний в информационную систему для признаков, относимых к средствам испытаний. Этими расхождениями, в основном, и объясняется некоторое снижение полученных $r_{s_{эм}}$ [4].

Однако возникает вопрос, можно ли переносить результаты тестовой выборки на генеральную совокупность, т.е. является ли она представительной (репрезентативной)? В своей работе любой исследователь сначала устанавливает подгруппу внутри генеральной совокупности, подробно изучает ее, а затем, если это позволяют результаты статистического анализа, распространяет свои выводы на всю генеральную совокупность. В этой связи наиболее важным является вопрос о приемлемом объеме выборки. Именно поэтому следует отметить, что для используемых выше непараметрических критериев определения различий могут использоваться при сравнении группы от 5 до 12 человек [5].

Таким образом, несмотря на сравнительно невысокий представительный объем выборки испытуемых, полученные результаты имеют достаточно высокую общность в их установленной последовательности при решении задачи по выбору методов и средств контроля герметичности для испытателя.

Совершенно очевидно, что по мере возрастания количества характеристик качественных признаков все более теряется восприятие результатов. При этом закономерность начинает искусственно маскироваться из-за большого числа недостаточно значимых связей. Поэтому более рациональным для испытателя было бы исключить признаки являющиеся малозначимыми. Такая задача обратного сведения множества характеристик присущее многомерному анализу. Наиболее выразительно отражают черты многомерного анализа в классификации объектов кластерный анализ [6].

Использование кластерного анализа для решения данной задачи наиболее эффективно. В общем случае кластерный анализ предназначен для объединения некоторых объектов в кластеры таким образом, чтобы в один кластер попадали максимально схожие, а объекты различных классов максимально отличались друг от друга. Количественный показатель сходства рассчитывается заданным способом на основании данных, характеризующих объекты. Все кластерные алгоритмы нуждаются в оценках расстояний между кластерами или объектами.

С помощью статистического программного комплекса «Statistica 10.0» [7] проведен кластерный анализ для характеристик методов и средств [см. рис.1 а) и б), соответственно].

Испробовав несколько вариантов числа группировок, выбор был остановлен на евклидовой метрике с методом Варда (Уорда).

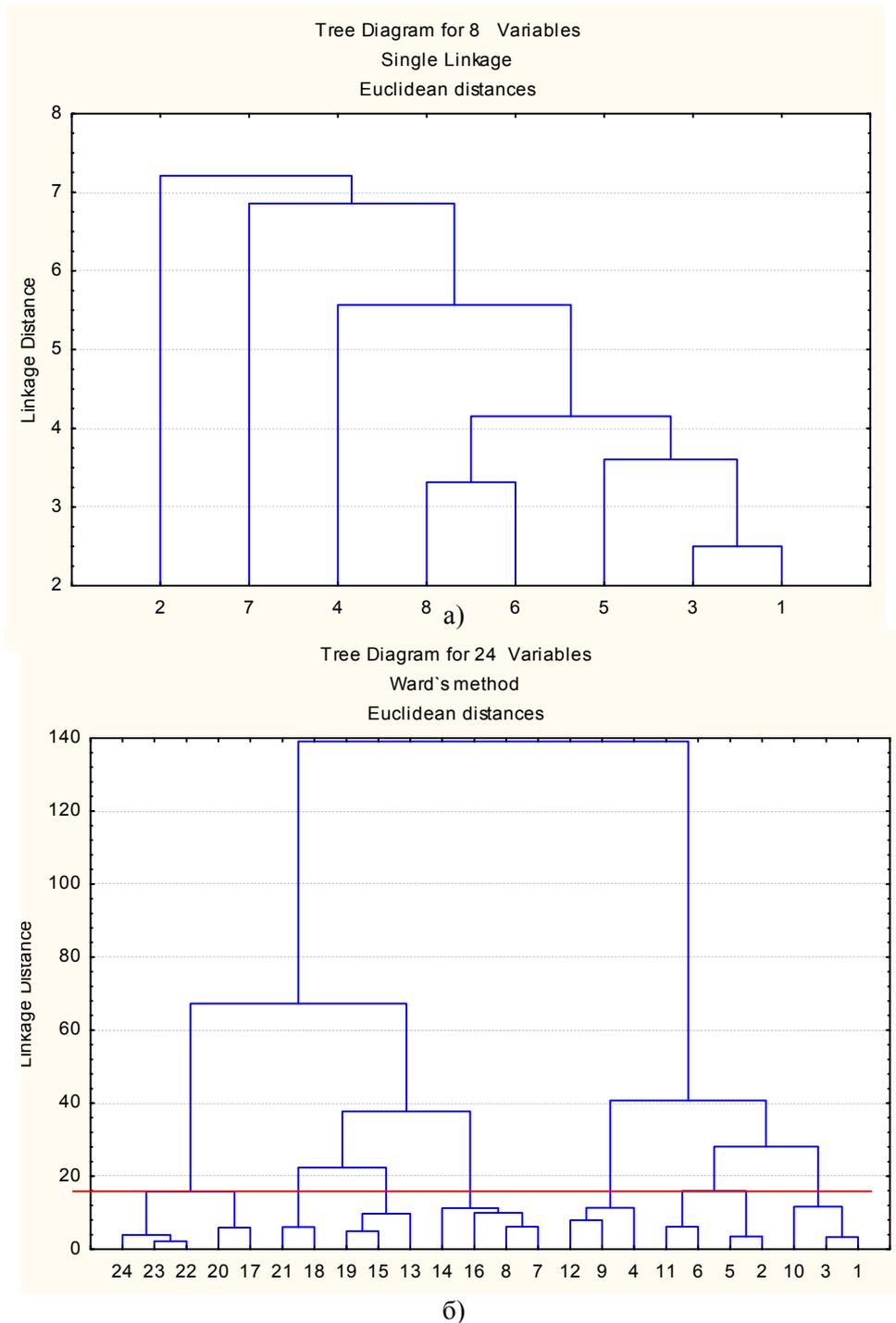
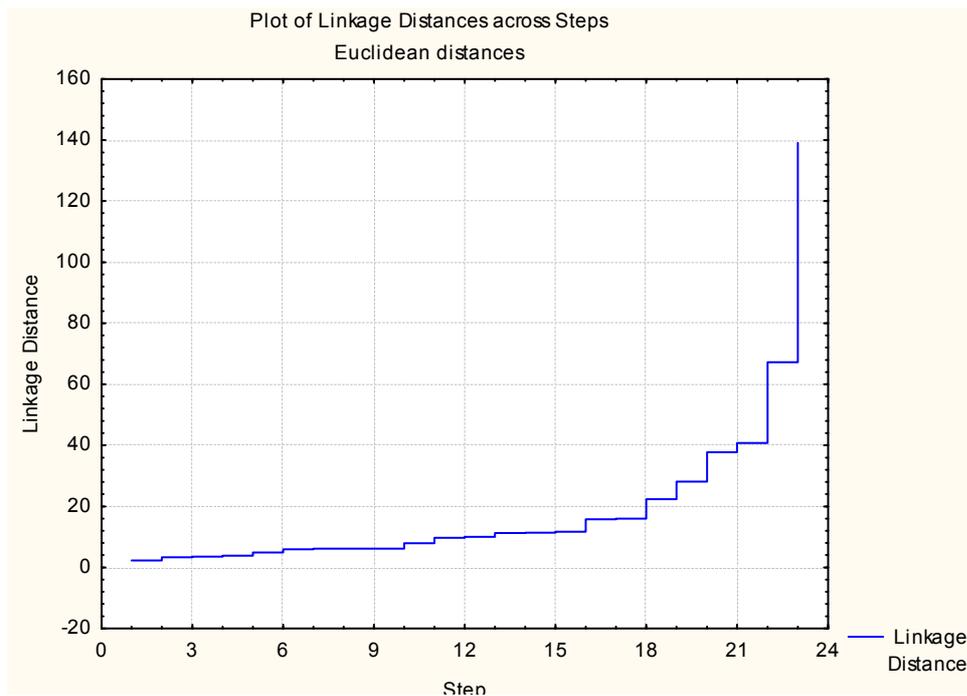
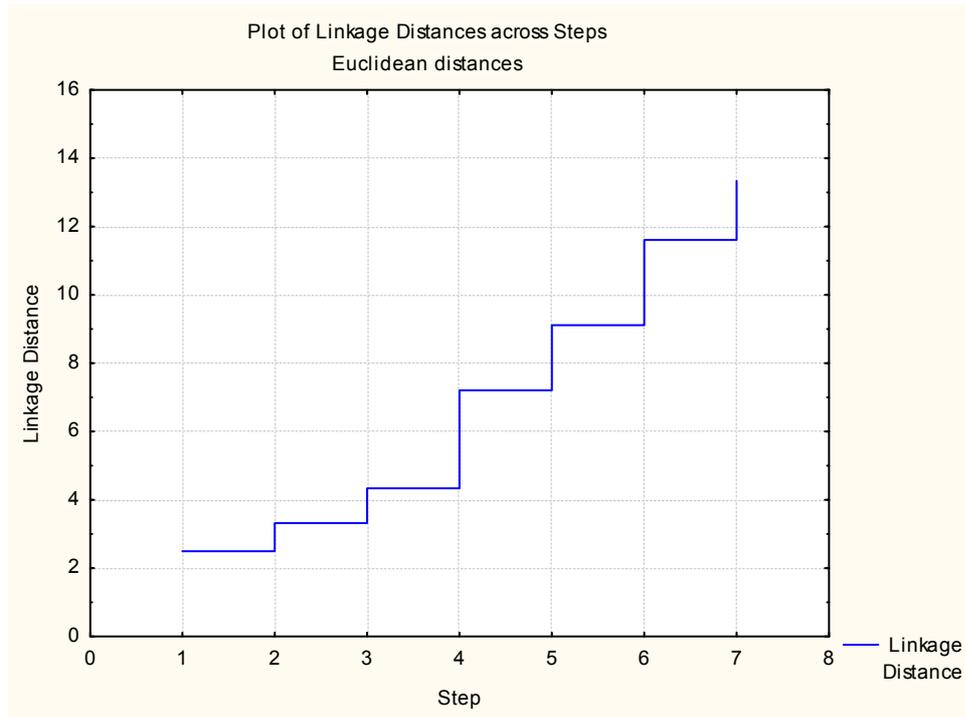


Рис. 1. Дендрограмма (а - Евклидова метрика; б - стратегия Варда): по оси Y – расстояния объединения, по оси X – номера объектов.

При построении кластеризации важной является проблема выбора числа кластеров. Предполагается, что кластеризация должна выявить естественные локальные сгущения объектов.

Для определения количества классов K использована точка «излома» на шкале Linkage Distance графика 1 (22 единицы) и на шаге (Step) с номером $m=18$ на графике 2 б), объединение на котором произошло уже на существенно большем расстоянии, чем на шаге $(m-1)$ [на графиках 1 и 2 а) таких аналогичных точек не обнаружено].



б)

Рис. 2. График объединения признаков-объектов в классы с использованием Евклидовой метрики.

Отсюда количество классов вычислялось по разнице значений n и m , где n – количество объектов в выборке ($n=24$), откуда получено число классов равное 6. Такое же количество классов подтверждается и анализом графика 1 а) на шаге шкалы Linkage Distance, равным, как выше уже отмечено 22, произошел скачок расстояния более чем, приблизительно, на 12 единиц, в то время как на предыдущих шагах скачки не превышали 6 единиц. Однако четко

выраженной направленности на объединение нет и поэтому выделение в классы характеристик методов может быть оспорено.

Анализ совокупностей из характеристик методов в итоге, на усмотрение испытателя, может быть оставлен без внимания, с точки зрения необходимости формирования отдельных классов-кластеров. Но аналогичные допущения не могут быть распространены на группу из характеристик средств испытаний в виду их сравнительной многочисленности. Из графиков, представленных на рис. 1 и 2, можно заключить, что по схожести иерархий (признаков групп) классификационной структуры порядка характеристик средств испытаний последние целесообразно разделить на 6 классов (кластеров). В таблице 3 представлен состав полученных классов, выделенных методом максимизирования расстояния между кластерами.

Таблица 3

Номер класса	Количество объектов в классе	Состав класса (признаки)
1	4	1 - Соответствие выбранному методу; 2 - Порог чувствительности; 3 - Диапазон регистрации потоков вещества; 5 – Производительность.
2	4	13 - Вид выдаваемой информации; 15 - Качество обработки полученной информации (простое измерение, прогноз и т.п.); 19 - Вид средства испытаний (стационарное, мобильное, переносное и т.п.); 21 - Вид конструктивного исполнения, габаритные размеры, формы.
3	4	4 - Значение испытательного давления; 9 - Вероятность обнаружения течи; 10 - Время подготовки к работе; 12 - Вероятность безотказной работы.
4	5	17 - Границы применимости средства испытаний в конкретных условиях испытаний; 20 - Возможность модернизации; 22 - Условия эксплуатации и хранения; 23 - Устойчивость к внешним воздействиям; 24 - Требования к источникам энергии для функционирования.
5	5	7 - Квалификация и численность обслуживающего персонала; 8 - Затраты на эксплуатацию; 14 - Возможность фиксации результатов испытаний; 16 - Возможность объединения средств испытаний в информационную систему; 18 - Место и условия применения средства испытаний (лаборатория, заводские условия, ремонтные работы и т.п.).
6	2	6 - Стоимость средства испытаний; 11 - Уровень вредных и опасных воздействий на людей, объект испытаний, окружающую среду.

Следует отметить, что кластерный анализ не содержит вычислительного механизма проверки гипотезы об адекватности получаемых классификаций. Результаты в этом плане можно обосновать с использованием метода дискриминантного анализа [8]. Как показал дискриминантный анализ, предполагаемая классификация оказалась эффективной ($K=6$), поскольку определенный уровень значимости ($1,0E-05$) близок к нулю ($P<0,05$) для гипотезы о нулевом межкластерном расстоянии D^2 . Причем у всех объектов-признаков из характеристик средств определена сравнительно высокая вероятность отнесения к вышеуказанным классам: данный показатель близок к 1.

Таким образом, задача классификации и необходимость учета в ее решении ряда признаков и порядка выбора этих признаков – все это продиктовано качественным анализом и тесно связано с целью исследований [6]. На основе метода экспертных оценок предпринята попытка классифицировать представленные характеристики, главным образом, относящиеся к средствам испытаний на герметичность, что позволяет исследователю без серьезных временных (материальных) затрат в выборе данных средств, прибегнуть к выполнению поставленных перед ним задач. Предлагаемая новая усовершенствованная классификационная структура, построенная на объединении в группы основных характеристик методов и средств

испытаний на герметичность, с учетом критериев их выбора, даёт возможность формулирования основных методологических подходов и требований к герметичности, ведущих к повышению качества и эффективности контроля.

Литература

1. ГОСТ Р 51780-2001. Неразрушающий контроль. Методы и средства испытаний на герметичность. Порядок и критерии выбора. ГОССТАНДАРТ России. Москва.
2. П.К. Петров. Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий: учебное пособие. - Ижевск: Изд-во "Удмурский университет", 2013, - с.179.
3. О.В. Стукач. Программный комплекс STATISTICA в решении задач управления качеством: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011, - с.163.
4. Е.В. Сидоренко. Математические методы обработки в психологии. - Санкт-Петербург: ООО "Речь", 2002, - с.350.
5. Математическая статистика для психологов: Учебник /О.Ю. Ермолаев, - 2-ое изд. испр. - М.:Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2003. - с. 336.
6. Дюран Б. и Оделл П. Кластерный анализ. Пер. с англ. Е.З. Демиденко. Под ред. Б.Я. Боярского. М.: Статистика, 1977. - с.128.
7. В. Боровиков. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов, - 2-ое изд., - СПб.:Питер, 2003. – с.688.
8. А.П. Кулаичев. Методы и средства анализа данных в среде Windows STADIA. – 4-ое изд., - М.: Информатика и компьютеры, 2002. – с.341.

Вакуумметрическая редуцирующая установка для государственного первичного специального эталона единицы абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^3$ Па

Д.М. Фомин, А.А. Чернышенко

Санкт-Петербург, ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Московский пр., д.19

E-mail: [vacuum@vniim.ru](mailto:vacuuum@vniim.ru)

Представлены результаты работ по созданию и исследованию вакуумметрической редуцирующей эталонной установки (ВРЭУ), которая вошла в состав модернизированного эталона ГЭТ 49-20XX, тем самым существенно расширив диапазон передачи единицы давления от эталона

Vacuummetric reduction installation for state primary special unit of absolute pressure in the range of $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^3$ Pa. D.M.Fomin, A.A. Chernyshenko. The results of works on creation and investigations of vacuum reduction standard installation (VREU) are presented. This installation has become a part of the upgraded standard GET 49-20XX, thereby the range of the pressure transmission unit is significantly extended.

В настоящее время в РФ происходит существенное увеличение объема научных исследований и высокотехнологичных производств. В большинстве случаев, в подобных проектах, необходимо получение, а также достоверное измерение высокого и сверхвысокого вакуума. В таблице 1 представлены основные сферы деятельности производственных и научных предприятий в которых необходимо получение и измерение высокого и сверхвысокого вакуума [1].