

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

На правах рукописи

Голованов Сергей Михайлович

**АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ
КОМПОНЕНТОВ С УЧЕТОМ ЗАДАННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗДЕЛЕНИЯ НА ГРУППЫ**

Специальность: 2.3.1 – Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Казаковцев Л.А.

Красноярск – 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ	10
1.1. Общая постановка задачи автоматической группировки	10
1.2. Сферы применения методов автоматической группировки	14
1.3. Краткий обзор современных методов автоматической группировки	18
1.4. Множества однотипных объектов	25
1.5. Критерии эффективности кластеризации	37
Результаты Раздела 1	44
2. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНАДЛЕЖНОСТЬЮ К РАЗНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПАРТИЯМ.....	45
2.1. Автоматическая группировка элементов множеств однотипных объектов с учетом заданной эффективностью разделения на группы.....	47
2.2. Алгоритмы автоматической группировки электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям	54
Результаты Раздела 2	71
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЭЛЕМЕНТОВ	74
3.1. Алгоритмы определения элементов-выбросов партии электронных компонентов	74
3.2. Выбор параметров алгоритмов определения элементов-выбросов с применением размеченных обучающих выборок	81
Результаты Раздела 3	85
4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ	86
4.1. Формирование электронной компонентной базы космического	86
4.2. Автоматическая группировка электронных компонентов в соответствии.....	89
4.3. Применение алгоритмов определения элементов-выбросов для.....	91
4.4. Примеры автоматической группировки элементов партий электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям.....	91

4.5. Примеры определения потенциально-ненадежных элементов партий электронных компонентов	97
Результаты Раздела 4	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	105
ПРИЛОЖЕНИЕ А. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ 140УД25А	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ ДИОДНЫХ СБОРОК 2ДШ2150АС9	132
ПРИЛОЖЕНИЕ В. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 1526ЛА10	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 564ЛА7В	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ 140УД25А	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ ДИОДНЫХ СБОРОК 2ДШ2150АС9	180
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 1526ЛА10	185
ПРИЛОЖЕНИЕ К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 564ЛА7В	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Л. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ	195

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Кластерный анализ или автоматическая группировка (АГ) данных - метод машинного обучения без учителя, выделяющий однородные подмножества таким образом, чтобы в многомерном пространстве характеристик входящие в их состав объекты имели значительное сходство, а сами подмножества обладали между собой существенными различиями. Важным примером практического применения алгоритмов АГ является их использование в испытаниях электронной компонентной базы (ЭКБ) космического применения в специализированных испытательных технических центрах (ИТЦ) для задач идентификации однородных производственных партий, параметры которых не известны заранее. Выделение однородных партий требуется для проведения выборочных разрушающих испытаний ЭКБ и выявления потенциально ненадежных элементов – элементов, обладающих скрытыми дефектами, которые могут привести к отказу при длительной эксплуатации.

В настоящее время литература предлагает большой набор классических методов АГ, успешно применяемых для решения широкого спектра практических задач. Большинство методов обладают недостатком, сужающим область их применения, т.к. осуществляют выделение кластеров в любом наборе данных, даже если различия между объектами незначительны. Есть области применения, где АГ имеет смысл только в том случае, если она обеспечивает заранее заданную эффективность разделения на группы. Так, разделение элементов сборной партии электронных компонентов на группы, соответствующие производственным партиям, можно осуществить только в том случае, если оно будет соответствовать заранее заданным показателям различия отдельных партий. Если такое разделение осуществить невозможно, то считаем, что все элементы принадлежат одной производственной партии. Таким образом, решение некоторых практических задач требует разработки методов АГ, осуществляющих поиск условно оптимального варианта кластеризации с ограничениями, обеспечивающими заданную эффективность разделения на группы. Разработке таких методов посвящена данная работа.

Степень разработанности темы. Проблемами кластеризации исследователи интересуются давно – с 1930-х годов, и в настоящее время существует большое количество разнообразных моделей и алгоритмов АГ. Модель k -средних, одна из

наиболее известных и распространенных моделей кластерного анализа, была предложена Г. Штейнгаузом в 1956 году и алгоритмически реализована С. Ллойдом в 1982 году. Р-медианная задача размещения – развитие задачи Вебера, предложенная в рамках экономической теории, может использоваться в качестве модели АГ, более устойчивой к аномальным данным. К ее решению также может применяться алгоритм k -средних в комбинации с алгоритмом Вайсфелда.

Алгоритм k -средних в сочетании с другими алгоритмами стали предметом исследований многих ученых, например Б.Дюран, П.Оделл, Дж.Маккуин, И.Мандель. Модели автоматической группировки и модели теории размещения объектов обладают сходством, в связи с чем рассматривались исследователями комплексно (работы Ц. Дрезнера, Дж. Бримберга, Х.Хамахера, С.Хаками, В.Весоловски, Р.Лава, Дж.Морриса, Ю.А.Кочетова, Н. Младеновича и др.) Для решения задач АГ специалисты, в т.ч. К.Хук, Ю.Маулик, К.Кришна и др., предлагали использовать эволюционные подходы. Дальнейшее развитие тема получила в работах А.Н.Антамошкина, Л.А.Казаковцева, М.Н. Гудымы, Г.Ш. Шкабериной, где были получены наиболее точные (из известных) алгоритмы решения некоторых практических задач АГ.

Разработке алгоритмов обработки информации о результатах испытаний партий ЭКБ посвящен ряд работ российских и зарубежных авторов, в частности, этими вопросами глубоко занималась группа исследователей под руководством Казаковцева Л.А. Так, в работах Сташкова Д.В. показано, что отдельные характеристики электронных компонентов имеют распределения, близкие к нормальному или экспоненциальному. Поэтому первые работы по АГ партий ЭКБ были посвящены разработке алгоритмов, базирующихся на методах разделения смеси вероятностных распределений (эволюционные алгоритмы на основе ЕМ-алгоритма). В то же время, как показывают результаты сравнительного анализа, эвристические модели, основанные на расстояниях, имеют преимущества по своей эффективности (по индексу Рэнда), что, вероятно, связано с высокой размерностью данных неразрушающего тестирования ЭКБ. При этом, как показывают работы Г.Ш.Шкабериной, существенное сокращение размерности приводит к снижению точности результата.

Хотя специализированные алгоритмы АГ показывают хорошие сравнительные результаты применительно к задачам группировки ЭКБ при известном числе однородных групп, открытыми остаются вопросы о том, есть ли в данных кластерная структура,

соответствующая производственным партиям, и если есть, то сколько отдельных производственных партий содержится в исследуемой выборке. Литература предлагает множество критериев оценки качества результата АГ. При наличии размеченных данных применяется индекс Рэнда и его модификации, при их отсутствии применяются внутренние критерии оценки: критерий силуэт, критерии Байеса, Акаике, DB-критерий и др.

Попытки решения задачи АГ с обеспечением заданной эффективности разделения на группы предпринимались и раньше. Так, Казаковцевым Л.А. проводились разработки алгоритма АГ элементов сборных партий ЭКБ на группы, соответствующие разным производственным партиям, с применением в качестве показателя эффективности разделения известного в теории кластерного анализа критерия «Силуэт». Был получен довольно скромный результат – средняя эффективность группировки (по индексу Рэнда) составила порядка 0,55. Кроме того, в исследованиях не предложен метод определения граничного значения критерия «Силуэт», разделяющего варианты кластеризации, удовлетворяющие требованиям эффективности разделения на группы, соответствующие производственным партиям, от вариантов, не удовлетворяющих таким требованиям. Таким образом, разработка алгоритма АГ, обеспечивающего решение практической задачи – АГ элементов сборных партий ЭКБ в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям, с высокой средней эффективностью по индексу Рэнда (не менее 0,85) остается актуальной задачей, решению которой посвящена настоящая работа.

Основная идея диссертации состоит в разработке алгоритмов, осуществляющих поиск условно оптимального варианта кластеризации, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы, за счет введения дополнительных ограничений на область искомых результатов. Для этого вводятся специальные характеристики: вектор показателей эффективности разделения на группы, объединяющий отдельные оценки эффективности разделения, и область эффективного разделения – область значений вектора показателей эффективности разделения, обеспечивающих заданную эффективность разделения, границы которой определяются на основе размеченной обучающей выборки.

Задача АГ рассматривается как задача кластеризации с частичным привлечением учителя и решается как задача условной оптимизации: осуществляется поиск варианта кластеризации, обеспечивающего субоптимальное значение целевой функции задачи

автоматической группировки при условии, что вектор показателей эффективности разделения на группы, соответствующий решению задачи, должен принадлежать заданной области эффективного деления.

Объектом исследования являются задачи АГ элементов множеств однотипных объектов, заданных векторами вещественных признаков, а **предметом исследования** являются алгоритмы их решения.

Цель исследований. Целью исследований является повышение эффективности методики формирования ЭКБ космического применения за счет повышения эффективности методов группировки электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям, а также эффективности определения потенциально-ненадежных электронных компонентов по данным неразрушающего тестирования.

Задачи исследований.

1. Разработка метода АГ элементов множеств однотипных объектов, осуществляющего поиск условно оптимального варианта кластеризации, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы.
2. На базе метода Задачи 1 разработка алгоритма АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к различным производственным партиям.
3. Разработка алгоритмов определения в составе партии электронных компонентов потенциально ненадежных элементов, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта суммарных отклонений характеристик элементов от их средних по партии значений.

Методы исследования. Методологической базой работы послужили исследования в области АГ (кластеризации). Для решения задач использованы методы системного анализа, исследования операций и теории оптимизации.

Новые научные результаты и положения, выносимые на защиту.

1. Разработан новый метод, позволяющий, в отличие от известных методов, осуществлять поиск условно оптимального варианта АГ множеств однотипных объектов, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы за счет введения дополнительных ограничений на область искомых решений. Результат достигается за счет введения специальных характеристик: вектора показателей эффективности разделения на группы, объединяющего отдельные оценки эффективности деления, и

области эффективного деления – области допустимых значений вектора показателей эффективности деления, определяемой на основе размеченной обучающей выборки.

2. С целью определения подмножеств элементов ЭКБ, для каждого из которых необходимо проведение выборочных разрушающих испытаний, на базе метода п.1 разработан новый алгоритм АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям.

3. Разработаны новые алгоритмы, повышающие эффективность определения в составе партий ЭКБ потенциально-ненадежных элементов, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта суммарных отклонений характеристик элементов от их средних по партии значений с применением размеченных обучающих выборок для определения параметров, обеспечивающих максимальную эффективность работы алгоритмов.

Значение для теории. Теоретическая значимость работы состоит в развитии моделей и методов АГ, расширяющих научный инструментарий кластерного анализа. Предложен метод, осуществляющий поиск условно оптимального варианта АГ множеств однотипных объектов, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы, что создает основу для синтеза новых методов анализа многомерных данных для различных областей науки и техники.

Практическая значимость. Разработанные алгоритмы позволяют повысить эффективность формирования ЭКБ космического применения за счет:

- повышения средней эффективности АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям по индексу Рэнда (до значения 0,884);

- повышения средней доли выявляемых потенциально ненадежных элементов партий ЭКБ путем дополнительного применения новых алгоритмов определения элементов-выбросов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта от суммарных отклонений отдельных характеристик элементов.

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях и семинарах: «Решетневские чтения» (г. Красноярск, 2018-2022г.); ЭКОПРОМ-2021 (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); IWMMMA'2021 (г. Красноярск, 2021г.).

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах, среди которых 3 работы в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендуемых в действующем Перечне ВАК, 3 – в международных изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science и Scopus.

1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ

В Разделе 1 рассмотрены варианты постановки задач АГ, а также дан обзор современных методов, применяемых при их решении. Цель АГ (кластерного анализа) состоит в выделении подмножеств в исходных множествах однотипных объектов, таких, чтобы объекты в выделенных подмножествах имели сходство друг с другом, а объекты из разных подмножеств отличались по своим характеристикам. Мерой сходства является близость объектов в многомерном пространстве их характеристик. Решение задачи состоит в разработке алгоритмов, способных выявлять группы сходных объектов в немаркированных предварительно данных.

1.1. Общая постановка задачи автоматической группировки

Способность группировать подобные объекты в категории является чертой, присущей разумным существам. Суть классификации и кластеризации (автоматической группировки) заключается в разделении объектов на группы, имеющие общие характеристики.

Категоризация — это не только важнейшая познавательная функция человечества, но и жизненно важный компонент многочисленных научных областей. В области биологии расположение и идентификация организмов называется таксономией [1]. Современные методы классификации опираются на набор характеристик изучаемых объектов, в отличие от монотетических систем, которые устанавливают классификации на основе единичного признака.

На базовом уровне система классификации может служить полезным инструментом для упорядочивания обширных наборов данных таким образом, чтобы они были более понятными и облегчали поиск информации более эффективно. В ситуациях, когда данные могут быть объединены в несколько отдельных категорий, метки, присвоенные каждой группе, могут дать информацию о различиях и сходствах, присутствующих в данных.

По мере того, как объемы данных в различных областях науки продолжают расти, потребность в обобщении и анализе содержащихся в них данных становится все более актуальной. Кластерный анализ, методы классификации и другие методы многомерного

анализа больших наборов данных рассматриваются как часть более широкой отрасли знаний, известной как интеллектуальный анализ данных [2].

Численные методы классификации возникли в естественных науках (биологии), где они были призваны устранить субъективный характер суждений об объектах классификации, от которого страдали традиционные таксономические системы. Цель численных методов состоит в построении классификаций, одновременно последовательных и объективных.

Для обозначения численных методов в зависимости от области их применения используется несколько терминов. «Числовая таксономия» обычно используется в области биологии, а «Q-анализ» иногда используется в области психологии. Термин «распознавание образов без учителя» преимущественно используется в литературе по искусственному интеллекту, тогда как исследователи рынка часто используют термин «сегментация». Тем не менее, наиболее часто используемые общие термины для методов, определяющих группы в данных, — «кластерный анализ» или «автоматическая группировка» [3].

Основная цель использования кластерного анализа состоит в том, чтобы разделить данные на отдельные группы или кластеры, где каждый объект принадлежит только к одному кластеру, а общее количество объектов учитывается во всех кластерах. Тем не менее, возможный результат кластерного анализа может заключаться в том, что данные вообще не могут быть разделены на группы. Матрица данных X , которая содержит значения переменных, описывающих каждый кластеризуемый объект, является основой для большинства приложений кластерного анализа. Матрица описывает множество P , состоящее из N_p объектов, которые характеризуются N_h признаками.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N_h} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N_h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N_p1} & x_{N_p2} & \cdots & x_{N_pN_h} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Здесь величина x_{ij} — это значение j -й характеристики объекта i .

Конфигурация матрицы, в которой строки и столбцы назначены различным объектам, обычно называется бимодальной. Переменные X могут быть комбинацией

непрерывных, целых, порядковых/категориальных переменных, что может затруднить кластеризацию данных при смешивании с пропущенными значениями.

Некоторые подходы к кластерному анализу используют преобразование матрицы X , в матрицу, заполненную значениями, характеризующими сходство и расстояние между объектами [4]. Эти матрицы называются унимодальными. В некоторых случаях матрица взаимосвязей между объектами может быть получена напрямую, например, если людей просят оценить воспринимаемое сходство или несходство коллекций интересующих объектов (использование экспертных оценок).

Кластерный анализ — это процесс распознавания групп в данных с последующим созданием правил, классифицирующих данные в один из распознанных кластеров (групп) [5, 6].

Формальное определение терминов «класс», «кластер», «группа» не только сложно, но даже может быть неуместным. Боннер [7], например, предположил, что окончательным критерием оценки значения таких терминов является оценочное суждение пользователя (экспертное мнение). Если использование такого термина, как «кластер», дает ценный ответ для исследователя, это все, что требуется. Кормак [8] и Гордон [9] пытаются определить, что именно представляет собой кластер с точки зрения внутренней связности - однородности - и внешней изоляции - разделения. Такие свойства можно проиллюстрировать, по крайней мере, неформально, графически, как на рисунке 1.1. Кластеры, представленные на этом рисунке, будут понятны большинству наблюдателей, даже без попыток дать четкое формальное определение этого термина. В самом деле, этот пример показывает, что ни одно определение не может быть достаточным для всех ситуаций. Это может объяснить, почему попытки сделать концепции однородности и разделения математически точными с точки зрения явных числовых индексов привели к многочисленным и разнообразным критериям.

Не совсем понятно, как кластер распознается при отображении на плоскости, но одна особенность процесса распознавания может включать оценку относительных расстояний между точками.

Попытки ввести формальное определение понятий «класс», «кластер» и «группа» приводят к созданию сложных логических конструкций. Иногда эти попытки вообще лишены смысла. Распространено мнение [7], что окончательным правилом определения значения этих терминов является оценка пользователем их значения (экспертное мнение).

Если слово «кластер» дает исследователю полезный ответ, то этого достаточно. В иных случаях исследователи пытаются определить, что значит быть кластером в отношении внутренней согласованности – единообразия – и внешней изоляции – непохожести [8,9]. Эти свойства можно представить хотя бы приблизительно графически, например, см. рис. 1.1. Здесь кластеры понятны большинству наблюдателей, не пытающихся дать явное определение этому термину. Этот пример демонстрирует, что ни одно определение не подходит для всех ситуаций. Это может быть причиной математического определения концепции единообразия и сегментации в терминах конкретных числовых показателей. Это привело к множеству различных определений.



Рис. 1.1 Примеры кластеров [6]

На рис. 1.2 показана иная группировка двумерных данных. Отдельные точки создают единую недифференцированную группу без какой-либо внутренней кластерной структуры. Можно было бы предположить, что применение метода кластерного анализа к этим данным приведет к аналогичному выводу. Однако многие методы кластерного анализа классифицируют эти данные по «группам», несмотря на отсутствие естественной кластеризации. Хотя такая диссекция подходит не для каждой ситуации, она может быть полезным инструментом в определенных контекстах. Например, если точки на рис. 1.2 представляют собой пространственное распределение жилищ по всему городу, разделение может облегчить создание компактных почтовых районов, содержащих одинаковое или близкое количество жилищ.

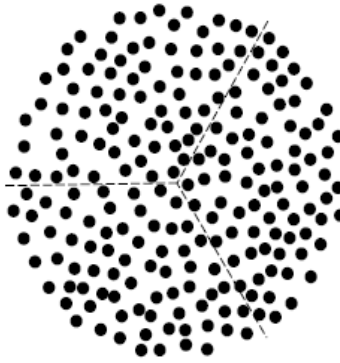


Рис.1.2 Рассечение данных без очевидных кластеров [9].

Проблема с кластерным анализом заключается в том, что в большинстве случаев исследователь заранее не знает о структуре данных (поскольку кластерный анализ направлен на раскрытие любой структуры). Это может привести к риску интерпретации всех решений с точки зрения существования естественных кластеров. При этом можно легко упустить из виду возможность того, что результат кластерного анализа является артефактом метода, и это особенность метода, а не закономерности в данных, накладывающие структуру на данные.

Основная цель кластерного анализа или АГ состоит в том, чтобы распознать кластеры в исходном многомерном наборе данных при их наличии, а не выявить их в любом случае. Кластеры должны содержать объекты, схожие между собой, а также обладающие существенными отличиями по своим характеристикам по сравнению с объектами из других кластеров. Насколько эти различия должны быть существенны, сильно зависит от цели кластеризации.

1.2. Сферы применения методов автоматической группировки

Использование методов АГ получило широкое распространение в различных областях человеческой деятельности. Одной из основных маркетинговых тактик является разделение клиентов на отдельные группы на основе общих характеристик или предпочтений. Это может включать классификацию потребителей, ищущих аналогичные выгоды от продукта, или объединение компаний на основе финансовых показателей, чтобы связать их с результатами фондового рынка. Использование кластерного анализа в

маркетинговых исследованиях восходит к ранним работам Р. Green [10], которые классифицировали поселения на небольшое количество групп на основе 14 переменных, включая размер поселения, тираж газет и доход на душу населения. Ожидалось, что поселения в каждом кластере будут похожи друг на друга, поэтому выбор одного поселения из каждой группы использовался как средство выбора тестовых рынков.

К. Чакрапани [11] иллюстрирует другое использование кластерного анализа в маркетинге. Предполагается, что на покупку спортивного автомобиля влияют не только финансовые возможности или возраст, но и образ жизни покупателя. Поэтому производитель использует кластерный анализ, чтобы по косвенным признакам выявить людей, чей образ жизни больше всего коррелирует с покупкой спортивных автомобилей. Цель состоит в том, чтобы создать целевую маркетинговую кампанию, которая найдет отклик у потенциальных покупателей спорткаров.

В области астрономии [12] метод кластеризации, предложенный Уордом [13], был применен к данным о химическом составе планетарных туманностей. Выделено шесть групп, которые в целом сопоставимы с предыдущими классификациями этих объектов. Однако были обнаружены и некоторые интересные отличия. В [14] модели смеси нормальных распределений использовались для анализа данных о 2370 звездах, описываемых их скоростями относительно галактического ядра и галактическим вращением.

Значительное количество медицинских исследований было проведено на пациентах с диагнозом депрессия, с особым акцентом на существование эндогенных и невротических подтипов. Pilowski [15] использовали подход Уоллеса и Боултона [16] для классификации пациентов по данным их ответов на опросник, а также данных анамнеза: возраста, пола и продолжительности болезни. Кроме того, для классификации лиц, совершивших попытку самоубийства, был использован кластерный анализ, что заложило основу для дальнейшего исследования причин и лечения этой проблемы. Пикел и Рассаби [17] провели исследование 236 человек, которые пытались покончить жизнь самоубийством и связались с главной городской службой экстренной помощи. Из этого пула были отобраны и использованы для анализа 14 информативных признака как наиболее подходящие для классификации, включая возраст, количество предыдущих попыток самоубийства, тяжесть депрессии и враждебности, а также различные характеристики из области демографии.

Использование кластерного анализа для обработки данных об атмосферных явлениях может предложить свежий взгляд на климатологические и экологические тенденции, которые имеют как эмпирическое, так и практическое значение. Литтманн [18] применяет автоматическую группировку погодных явлений Средиземноморья, выявляя 20 кластеров, которые объясняют различия в осадках в различных регионах. Лю и Джордж [19] используют нечеткую кластеризацию k-средних для объяснения пространственно-временного характера данных о погоде в некоторых регионах США. В [20] представлен пример анализа данных о зимней Чехии.

Биоинформатика, объединяя молекулярную биологию, математику, информатику и статистику, демонстрирует стремительный прогресс, что объясняется постоянным расширением геномных и протеомных баз данных, получаемых, например, секвенированием ДНК, измерением экспрессии генов. Статистический анализ сыграл решающую роль в этой научной революции, связанной с изучением экспрессии генов. ДНК каждой клетки содержит все гены для построения белков организма, но, гены по-разному экспрессируются в каждой клетке в зависимости от типа клетки, ткани и факторов окружающей среды. Одним из основных направлений биологических исследований сегодня является понимание избирательного контроля экспрессии генов. Внедрение ДНК-микрочипов [21] резко изменило ландшафт экспериментальной молекулярной биологии, позволив одновременно изучать тысячи генов в различных условиях, тем самым предоставив исследователям обилие данных. Этот тип данных обычно обладает одной фундаментальной чертой: количество переменных на порядки превышает количество наблюдений.

Многие классические статистические методы не могут быть применены к многомерным данным без существенных модификаций. Но кластерный анализ можно использовать для выявления групп генов со схожими паттернами экспрессии, и это может помочь дать ответы на вопросы о том, как на экспрессию генов влияют различные заболевания и какие гены ответственны за конкретные наследственные заболевания. Например, в работе [22] используется кластерный анализ однонуклеотидных полиморфизмов для выявления различий между больными и контрольными людьми в исследованиях случай-контроль, а в [23] авторы используют кластеризацию данных экспрессии по всему геному для определения подтипов рака, связанных с

выживаемостью. Виттен и Тибширани [24] описывают аналогичное применение кластеризации данных по почечно-клеточной карциноме.

При работе с многомерными данными многие классические статистические методы требуют внесения существенных модификаций. Однако кластерный анализ — это метод, который можно использовать для идентификации групп генов со схожими паттернами экспрессии. Это может дать ответы на вопросы о том, как на экспрессию генов влияют различные заболевания, а также какие гены вызывают определенные генетические состояния. Например, в [22] кластерный анализ полиморфизма одиночных нуклеотидов использовался для выявления различий между пациентами из группы «случай-контроль» и контрольной группой. В [23] авторы использовали кластерный анализ данных экспрессии всего генома для выявления подтипов рака, влияющих на выживаемость. Аналогичное использование кластеризации данных при почечно-клеточном раке описано Виттен и Тибширани [24].

Выделение однородных групп объектов в технике и на производстве имеет не меньшее значение.

Рассмотрим актуальную задачу — создание ЭКБ космического применения. В настоящее время в РФ создание ЭКБ категории качества «Spase», т.е. ЭКБ космического применения, возможно только в специализированных ИТЦ. В процессе испытаний в ИТЦ происходит выявление и отбраковка элементов, не обеспечивающих требуемого качества функционирования при активной работе космического аппарата в специфических условиях космического пространства в течение 10-15 лет [25-27].

Важнейшая составляющая испытаний ЭКБ космического применения — разрушающие испытания, при которых с целью определения качества изготовления электронных компонентов осуществляется их вынужденное разрушение. Разрушающие испытания проводятся на специально сформированных из элементов испытываемой партии ЭКБ тестовых выборках с дальнейшим распространением результатов разрушающих испытаний на всю испытываемую партию.

Такой подход правомочен только в том случае, если все испытываемые электронные компоненты принадлежит одной производственной партии: изготовлены из одного сырья, по одной технологии, на одном оборудовании, в одно время. Такое требование предъявляется ко всем испытываемым партиям ЭКБ. На практике в силу определенных объективных и субъективных причин оно выполняется далеко не всегда.

Поэтому возникает насущная необходимость в автономной и независимой проверки принадлежности элементов испытываемой партии ЭКБ одной производственной партии.

При этом, если оказывается, что вся испытываемая партия принадлежит одной производственной партии, то формируется одна тестовая выборка для проведения разрушающих испытаний и результаты этих испытаний распространяются на всю испытываемую партия ЭКБ.

Если оказывается, что испытываемая партия принадлежит нескольким производственным партиям, то необходимо осуществить сортировку элементов испытываемой партии в группы, соответствующие разным производственным партиям и проводить разрушающие испытания на тестовых выборках, сформированных от каждой группы с распространением результатов испытаний только на ту группу элементов, от которой была взята тестовая выборка.

Практические исследования, проведенные автором диссертации, показали, что эту задачу можно решить на базе данных о характеристиках элементов, измеренных в процессе неразрушающих испытаний испытываемой партии ЭКБ с применением специально разработанных алгоритмов, осуществляющих поиск условно оптимального варианта АГ, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы.

1.3. Краткий обзор современных методов автоматической группировки

Анализ методов, предлагаемых для решения задачи (АГ) данных, является сложной задачей в силу их большого разнообразия. Различные методы используют различные меры подобия, различные целевые функции, различные локальные и глобальные методы поиска их экстремумов.

Группы или кластеры можно определить как области высокой плотности в пространстве признаков (характеристик), которые перемежаются с областями низкой плотности. Алгоритмы типа DBSCAN напрямую используют это определение [28] для поиска связанных областей с высокой плотностью, определения связности могут различаться.

Алгоритмы, такие как алгоритм Джарвиса-Патрика, определяют сходство двух точек (объектов в признаковом пространстве), вычисляя количество их общих соседей. В этом расчете соседи определяются как точки, находящиеся в пределах заданного радиуса. В качестве альтернативы для оценки плотности можно использовать метод окна Парзена [29, 30]. Основные оценки плотности могут быть получены с помощью гистограмм и полиграмм [31].

В развитие непараметрических методов оценки плотности внесли свой вклад Э. Парзен, В. А. Епанечников, А. В. Медведев. В их работах введены новые типы оценок, расширяющиеся на гистограмме. Один из этих новых классов называется «оценки ядра» и был предложен Розенблаттом и Парзенем. В работах [35-37] исследовались вопросы обеспечения несмещенности этих оценок, изучалась скорость сходимости отклонений и изучалось влияние формы ядра на точность аппроксимации оценки функцией плотности. Они также исследовали определение параметров алгоритмов восстановления плотности, таких как параметр размытия или сглаживания непараметрических оценок плотности с использованием ядра Гаусса. Кроме того, ими разработаны принципы построения систем АГ даже для задач с большим объемом входных данных, позволяющие обрабатывать данные за один проход [29].

Алгоритмы восстановления плотности, используемые в различных формах, зависят от ряда факторов, включая масштаб, в котором измеряются расстояния, количество точек, которые накапливаются поблизости друг от друга, образуя группу, и максимальное расстояние, на котором точки в группа разделены. Выбор соответствующих параметров является сложной задачей, которая оказывает существенное влияние на точность и адекватность модели АГ. Однако все такие методы сталкиваются с серьезной проблемой из-за «проклятия размерности» [38], которое приводит к экспоненциальному увеличению количества данных, необходимых для эффективной работы алгоритмов восстановления плотности, по мере увеличения размерности пространства. При работе с большим количеством функций и ограниченными данными все объекты находятся примерно на одинаковом расстоянии друг от друга, что делает такие подходы непрактичными для многомерных данных.

Было предложено несколько подходов для работы с вероятностными моделями плотности [39-41]. Среди этих подходов — ненаправленная графическая модель [43] и модель Пачинко [42] из области теории размещения. Хотя эти методы также

чувствительны к выбору параметров, требовательны к вычислительным ресурсам и ограничены размерностью данных, они остаются популярными, особенно те, которые используют непараметрические модели плотности [39] из-за их эффективности в идентификации групп произвольной формы (кластеров).

Когда пространство признаков размерность, превосходящую или сравнимую с количеством сгруппированных объектов (как в задачах обработки данных ДНК), точки данных или объекты в этом пространстве обычно находятся на значительном расстоянии друг от друга. Это затрудняет разработку универсально эффективной процедуры выбора наилучших параметров для этих алгоритмов для эффективного группирования. Чтобы устранить это ограничение, при не слишком большом объеме данных непараметрические алгоритмы можно комбинировать с другими широко используемыми методами, такими как метод k -средних [44].

Одним из наиболее широко исследованных алгоритмов обучения без учителя является метод k -средних, о чем свидетельствуют многочисленные исследования [45]. Этот алгоритм, также известный как MSSC или кластеризация минимума суммы квадратов расстояний, представляет собой метод кластеризации, который группирует объекты данных на основе минимальной суммы квадратов расстояний от объектов до специально сгенерированных точек в признаковом пространстве - центроидов. Рассматриваемый алгоритм, как и другие методы, пытается идентифицировать допустимые группы объектов данных, которые организованы таким образом, что его составляющие в некотором роде схожи [44]. Эти группы соответствуют набору объектов, в некотором отношении «эквивалентных» друг другу, а также виртуальной конструкции – центру или центроиду группы. Задачу АГ можно определить как модель, облегчающую распределение объектов в метрическом d -мерном пространстве по k группам таким образом, чтобы суммарное расстояние от составляющих элементов каждой группы до ее центра было минимальным. Метод k -средних, возможно, является наиболее важным методом обучения без учителя [44; 46]. В [47] приведены потенциальные преимущества использования этого метода и его потенциальная область применения, весьма обширная.

Алгоритм представляет собой итеративный процесс, который включает два основных шага, как описано в [48;49]. Первый шаг включает в себя разделение данных на кластеры вокруг известных центральных точек (центроидов). Каждый объект назначается группе, чей центроид находится ближе всего к нему. Второй шаг включает

переопределение центральных точек каждого кластера. Этот метод также используется в других алгоритмах, таких как алгоритм FOREL [50] и алгоритмы H-means, J-means и др. [51]

Алгоритм k -средних — эффективный и действенный метод, который можно применять для решения широкого круга задач. Однако существуют некоторые ограничения [52,53], которые необходимо учитывать. В частности, необходимо заранее знать количество групп k , на которые должны быть разделены объекты.

Несмотря на некоторые ограничения, алгоритм k -средних служит основой для нескольких алгоритмов АГ, которые устраняют проблему априорного указания заранее определенного количества групп. Среди этих алгоритмов — разнообразные алгоритмы метода жадных эвристик [54] и алгоритм последовательного слияния [55].

Алгоритмы на основе методов теории графов, также нашли широкое применение в АГ. Спектральная кластеризация или теоретико-графовая группировка представляет объекты данных как узлы взвешенного графа. Ребра, соединяющие эти узлы, имеют длину, эквивалентную или обратно пропорциональную расстояниям между объектами. Цель состоит в том, чтобы разделить узлы на два отдельных подмножества A , B таким образом, чтобы минимизировать размер разреза или общую сумму ребер, соединяющих узлы в множествах A , B . Алгоритмы, которые изначально разрабатывались для решения этой задачи, часто приводили к несбалансированному разбиению, поэтому позже было предложено наложить ограничения, такие как ограничение на количество объектов в группе [56] и более сложные ограничения [57].

Задача о p -медиане на сети как задача теории размещения была сформулирована в 1964 году [58]. Цель состояла в том, чтобы найти p узлов сети, минимизирующих сумму взвешенных расстояний от всех узлов до ближайшего из p узлов, выбранных в качестве центров (медиан). В общем случае p -медианные задачи являются NP-трудными [59]. В первых попытках их решения авторы предлагали точные методы, такие как алгоритмы ветвей и границ [60-62], способные решать очень маленькие задачи. Позже было предложено много эвристических подходов для решения более крупных задач. Наиболее простые подходы заключаются в локальном поиске, при котором в качестве окрестности поиска рассматривается множество узлов сети, смежных с узлами текущего промежуточного решения [63, 64].

Алгоритмы, непосредственно основанные на теории графов [65,66] подходят только для очень небольших задач. Агра и др. [67] представили алгоритм декомпозиции для решения задачи о p -медиане на несвязных графах. Использование лагранжевых релаксаций позволяет получить приближенное решение задач среднего размера [68,69], до $N = 90000$. Гокалп [70] применил итерированную жадную метаэвристику, основанную на составном локальном поиске, задачи о p -медиане. Ушаков и Васильев [71] разработали параллельный распределенный эвристический алгоритм, основанный на субградиентном поиске, который решает лагранжеву двойственную задачу. В 2017 г. те же авторы [72] разработали усовершенствованную гибридную последовательную лагранжеву эвристику для задачи и ее параллельную реализацию с общей памятью. Его преимуществом является способность находить решения с узкими нижними границами.

Многие авторы рассматривали и систематизировали различные методы решения p -медианных задач и задачи k -средних [73-75]. Дрезнер, Бримберг, Младенович и Салхи [76-79] представили алгоритмы локального поиска, включая поиск с чередующимися окрестностями (VNS) и концентрический поиск.

Популярны подходы, основанные на уменьшении объема данных [80,81]: упрощение задачи путем случайного (или детерминированного) выбора некоторой части исходного набора данных и использования этих результатов в качестве начального решения на полном наборе данных [82-84,68]. Подобная агрегация аналогична последовательному сокращению числа центров или центроидов кластеров [85,86] до желаемого числа и позволяет решить крупномасштабную задачу за разумное время, однако приводят к снижению точности. Например, Ираван и Салхи [87] предложили многоэтапный гибридный подход, основанный на агрегации данных и использовании эффективной реализации VNS для решения крупномасштабных p -медианных задач.

Алгоритмы локального поиска и основанные на них рандомизированные алгоритмы представлены в большом количестве публикаций для решения таких задач, как задач о p -медиане и k -средних. Например, алгоритмы VNS [88,78] или агломерационные алгоритмы [89,90], а также их комбинации [91] часто демонстрируют хорошие результаты.

Также широко представлены процедуры инициализации для алгоритмов локального поиска, включающие случайное заполнение и оценку распределения объектов [92]. Однако во многих случаях даже многократные запуски простых алгоритмов

локального поиска из различных случайно сгенерированных решений не дают решения задачи, близкого к глобальному оптимуму. Более совершенные алгоритмы позволяют получать значения целевой функции во много раз лучше, чем методы локального поиска [91,93].

Был предложен эвристический метод декомпозиции для решения комбинаторных задач и задач глобальной оптимизации, Variable Neighborhood Decomposition Search (VNDS) [94]. Масоне и др. [95] предложили эвристический подход к декомпозиции, который использует декомпозицию сети на несвязанные компоненты, полученные с помощью алгоритма кластеризации графа. Затем в каждом компоненте решается несколько задач о p -медиане для различных значений p с помощью двойственного лагранжевого алгоритма и алгоритма, основанного на моделировании отжига. Было показано, что для экземпляров среднего размера VNDS не всегда дает удовлетворительные результаты (по сравнению с базовым VNS), но для больших задач может быть полезен.

Многие авторы рассматривают задачу оптимального управления разнообразием (ODMP). ODMP – это частный случай задачи о p -медиане, которая возникает во многих приложениях. В [96,97] рассматривалась задача оптимизации автомобильной промышленности. ODMP можно представить в виде разъединенной сети [71,72] и сформулировать в виде p -медианной задачи. В [98] оценивается сравнительная эффективность поиска решения задач о p -медиане и k -средних в SWAP-окрестностях и AGGL-окрестностях. Авторы определяют AGGL-окрестность как множество возможных результатов после применения жадной агломерационной процедуры к текущему решению и рассматривают зависимость результата поиска от параметров AGGL-окрестностей. По результатам вычислительных экспериментов поиск в AGGL-окрестностях превосходит поиск в SWAP-окрестностях по полученным значениям целевой функции (результаты поиска в AGGL-окрестностях статистически лучше или статистически неразличимы).

Все же наиболее популярна для решения p -медианной задачи и задачи k -средних процедура Alternate Location-Allocation (ALA) [99,100], известная также как стандартная процедура k -средних [101] для задач k -средних и p -медиан, основана на алгоритме, предложенном Ллойдом [102] для дискретных задач p -медиан на сеть. Процедура ALA —

это алгоритм, который последовательно улучшает промежуточное решение, позволяя найти локальный минимум.

В [103] предлагается получение нового представления данных посредством нормализации собственных векторов ядра матрицы графа. Предложение Хофмана и Бухмана, изложенное в [104], представляет собой алгоритм имитации отжига. Задача объединения пар объектов в группы с помощью максимальных доминирующих множеств [106] – непрерывное обобщение клик в графе — была сформулирована в [105]. В [107] авторы исследуют алгоритмы, которые используют различные вероятности и жадные агломеративные эвристические поисковые процедуры для решения задач АГ на сетях (графах), а также задачи р-медоид, которая может быть представлена как задача АГ или множественного размещения на графе.

В советских и российских исследованиях принято выражать задачи, связанные с АГ, в терминах задач целочисленного линейного программирования, независимо от того, расположены ли объекты в непрерывном пространстве или на сетях [108]. Несмотря на то, что эти задачи известны как NP-трудные, разработан целый ряд точных и эффективных методов решения, в первую очередь в работах [50; 109-111].

Применение иерархических методов группировки обширно. Эти методы располагают объекты в непрерывном признаковом пространстве, создавая древовидную структуру. Здесь прослеживается взаимосвязь с методами АГ на графах [112]. Эти методы могут быть использованы в случаях, когда имеется значительный объем данных для группировки. Иерархические алгоритмы АГ рекурсивно извлекают вложенные группы. Это может быть достигнуто либо с помощью агломеративного метода, когда поиск решения начинается с состояния, в котором каждый объект представляет собой отдельную группу, а затем объекты объединяются попарно для формирования иерархии групп, либо с помощью диссоциативного метода, когда все объекты изначально входят в одну группу и рекурсивно делятся на меньшие группы.

Алгоритм X-means [113] состоит из двух приемов: агломеративного и диссоциативного (попарное слияние или разделение групп). Эти приемы позволяют определить оптимальное количество групп k путем оценки таких критериев, как информационный критерий Акаике (AIC) [114] или байесовский информационный критерий (BIC) [115]. В методе р-медоид [116] группировка осуществляется вокруг

центров групп, которые могут быть выбраны исключительно для сгруппированных объектов (т. е. произвольных точек в пространстве признаков).

Метод минимальной энтропии [117] – один из алгоритмов АГ, использующий принципы теории информации. Метод информационного узкого (ИВС) [118-120], работая как алгоритмы сжатия данных с потерями, иницируют группировку, рассматривая каждый объект как отдельный кластер, и постепенно устраняет кластеры, сохраняя при этом максимальную степень сходства, измеряемую концепциями теории информации. Такие модели очень ресурсоемки и требуют значительных вычислительных мощностей.

В настоящее время в теории АГ широкое применение нашли генетические алгоритмы [121]. Как правило, в генетическом алгоритме промежуточные решения («хромосомы») кодируются в виде множеств объектов данных, относящихся к той или иной группе (кластеру), или в виде множества объектов данных, выбранных в качестве начальных центров групп [122,123], которые затем уточняются алгоритмом k -средних (стандартной процедурой k -средних).

1.4. Множества однотипных объектов

Рассматриваемые в диссертации алгоритмы оперируют так называемыми множествами однотипных объектов. Перед введением необходимых моделей и алгоритмов АГ необходимо более подробно остановиться на определении объектов АГ – множеств однотипных объектов.

1.4.1. Характеристики элементов множества однотипных объектов

Пусть задано множество P объектов, состоящее из N_p элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$):

$$P = \{e_1, e_2, \dots, e_{N_p}\} \quad (1.4.1)$$

Пусть свойства объектов множества P определяются набором N_h вещественных числовых характеристик h_j ($j=\overline{1, N_h}$), образующих вектор характеристик V^h :

$$V^h = (h_1, h_2, \dots, h_{N_h}) \quad (1.4.2)$$

Соответственно, каждому элементу e_i ($i=\overline{1, N_p}$) множества P соответствует вектор V_i^h характеристик размерности N_h :

$$V_i^h = (h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iN_h}) \quad (1.4.3)$$

В выражении (1.4.3): h_{ij} – это j -я характеристика ($j=\overline{1, N_h}$) элемента e_i ($i=\overline{1, N_p}$).

Объекты e_i ($i=\overline{1, N_p}$) будем называть *однотипными*, если их свойства определяются заданным вектором вещественных характеристик (1.4.2).

Вектора V_i^h ($i=\overline{1, N_p}$) составляют матрицу M_p^h размерности $N_p \times N_h$ характеристик элементов множества P :

$$M_p^h = \begin{bmatrix} V_1^h \\ V_2^h \\ \dots \\ V_{N_p}^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_h} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N_h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{N_p1} & h_{N_p2} & \dots & h_{N_pN_h} \end{bmatrix} \quad (1.4.4)$$

1.4.2. Нормирование характеристик множества однотипных объектов

Характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$), описывающие свойства однотипных объектов e_i ($i=\overline{1, N_p}$), как правило, имеют разную физическую природу и диапазоны допустимых значения. Так, если в качестве множества однотипных объектов рассматривается партия электронных компонентов, то в качестве характеристик выступают измеряемые тестовые параметры: напряжения, силы токов, коэффициенты усиления.

Для того, чтобы для АГ партий однотипных объектов могли быть применены алгоритмы, основанные на измерении расстояния между векторами V_i^h характеристик элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$), эти характеристики должны быть предварительно преобразованы к соразмерному и безразмерному виду.

Существует большое количество вариантов нормированию исходных данных [124]. Наибольшее распространение получили алгоритмы нормирования, основанные на применении диапазонов нормирования характеристик объектов. В этом случае исходные характеристики h_{ij} преобразуются в соответствующие нормированные характеристики h_{ij}^n ($i=\overline{1, N_p}$), ($j=\overline{1, N_h}$) по следующему алгоритму:

$$h_{ij}^n = \frac{h_{ij} - h_j^{av}}{dn_j} \quad (1.4.5)$$

В формуле (1.4.5):

- dn_j – диапазон нормирования (ДН) j -й характеристики ($j=\overline{1, N_h}$);
- h_j^{av} – среднее по множеству P значение j -й характеристики ($j=\overline{1, N_h}$):
-

$$h_j^{av} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} h_{ij}}{N_p} \quad (1.4.6)$$

Нормированные характеристики h_{ij}^n ($j=\overline{1, N_h}$) элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$) множества P образуют нормированный вектор характеристик V_i^{hn} :

$$V_i^{hn} = (h_{i1}^n, h_{i2}^n, \dots, h_{iN_h}^n) \quad (1.4.7)$$

Нормированные вектора V_i^{hn} ($i=\overline{1, N_p}$) составляют матрицу M_p^{hn} размерности $N_p \times N_h$ нормированных характеристик множества элементов P :

$$M_p^{hn} = \begin{bmatrix} V_1^{hn} \\ V_2^{hn} \\ \dots \\ V_{N_p}^{hn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11}^n & h_{12}^n & \dots & h_{1N_h}^n \\ h_{21}^n & h_{22}^n & \dots & h_{2N_h}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{N_p1}^n & h_{N_p2}^n & \dots & h_{N_pN_h}^n \end{bmatrix} \quad (1.4.8)$$

Величины dn_j ($j=\overline{1, N_h}$) определяются, исходя из выбранного варианта нормирования характеристик объектов.

1) *Использование диапазонов изменения характеристик в качестве диапазонов нормирования.*

При таком подходе величины dn_j ($j=\overline{1, N_h}$) определяются соотношением:

$$dn_j = d_j^{max} - d_j^{min} \quad (1.4.9)$$

В выражении (1.4.9):

- d_j^{max} – максимальное по множеству P значение характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$), определяемое по формуле:

$$d_j^{max} = \max\{h_{ij} (i=\overline{1, N_p})\} \quad (1.4.10)$$

- d_j^{min} – минимальное (по партии P) значение характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$), определяемое по формуле:

$$d_j^{min} = \min\{h_{ij} (i=\overline{1, N_p})\} \quad (1.4.11)$$

К достоинствам данного варианта относится простота исчисления ДН. К недостаткам – большая чувствительность к ошибкам измерения, что может привести к серьезному искажению результатов. В связи с этим, данный вариант нормирования применяется крайне редко.

2) *Определение диапазонов нормирования экспертным путем.*

В этом варианте ДН характеристик объектов формируются экспертным путем, на основе информации о физической сути исследуемых объектов и особенностей измерения их характеристик.

Можно выделить два вида экспертного определения ДН.

а) *Использование диапазонов функционирования в качестве ДН.*

Этот вариант определения ДН возможен, если для исследуемого множества объектов уже определены диапазоны характеристик в определенных технологических режимах.

Пусть для характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$) задан интервальный диапазон функционирования:

$$h_j^{fmin} < h_j < h_j^{fmax} \quad (1.4.12)$$

В выражении (1.4.12): h_j^{fmin} и h_j^{fmax} – максимальная и минимальная величина диапазона функционирования характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$).

В этом случае величины d_j^n ($j=\overline{1, N_h}$) определяются соотношением:

$$d_j^n = d_j^f \quad (1.4.13)$$

В выражении (1.4.13) величина d_j^f ($j=\overline{1, N_h}$), в свою очередь, определяется соотношением:

$$d_j^f = h_j^{fmax} - h_j^{fmin} \quad (1.4.14)$$

Такой вариант формирования ДН возможен, к примеру, для партий электронных компонентов при проведении испытаний с целью формирования ЭКБ космического применения. При проведении испытаний в процессе электротермотренеровки осуществляется контроль дрейфа характеристик электронных компонентов. Для этого задаются допустимые диапазоны дрейфа характеристик. Данные величины можно использовать так же в качестве ДН [125].

Этот вариант определения ДН обладает несомненными достоинствами:

- использование дополнительной информации о физической сущности исследуемых объектов добавляет достоверности процедуре нормирования;
- вариант имеет малую чувствительность к ошибкам измерения.

К сожалению, данный подход, в свою очередь, обладает очень серьезными недостатками, сильно ограничивающими его применение:

- диапазоны функционирования, как правило, задаются не для всех характеристик, а только для его части;
- для некоторых характеристик диапазоны функционирования задаются не в виде закрытых с двух сторон интервалов, а в виде односторонних ограничений: $h_j < h_j^b$, или $h_j > h_j^b$, где: h_j^b – заданное граничное значение характеристики h_j , что приводит к невозможности определения диапазона нормирования по этой характеристике.

Применение данного варианта формирования ДН приводит к необходимости проводить АГ с использованием только части характеристик, для которых существуют интервальные диапазоны функционирования, что сильно уменьшает достоверность полученных результатов.

б) Использование диапазонов значимости в качестве ДН характеристик объектов (ДН=ДЗ).

При данном подходе для каждой характеристики h_j определяется диапазон значимости (ДЗ) - dz_j ($j=\overline{1, N_h}$) как минимальное значимое изменение этой характеристики: если для двух значений характеристики h_{ij} и h_{kj} выполняется условие: $|h_{ij}-h_{kj}|\geq dz_j$, то считается, что характеристики h_{ij} и h_{kj} значимо отличаются между собой, если выполняется условие: $|h_{ij}-h_{kj}|<dz_j$, то считается, что характеристики h_{ij} и h_{kj} не имеют значимых отличий.

ДЗ характеристики определяется экспертным путем исходя из ее физической сути, дискретности и погрешности измерения характеристики.

ДЗ характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$) образуют вектор V_{dz} :

$$V_{dz} = (dz_1, dz_2, \dots, dz_{N_h}) \quad (1.4.15)$$

В случае использования ДЗ в качестве ДН выполняется соотношение:

$$dn_j = dz_j \quad (1.4.16)$$

Этот вариант формирования ДН обладает теми же достоинствами, что и вариант а).

К сожалению, данный вариант определения ДН имеет свои недостатки - при таком нормировании не учитывается величина разброса характеристик. Это может привести к нарушению одного из главных принципов нормирования – соразмерности нормированных характеристик.

Обоснуем это утверждение. Возьмем любые две характеристики h_j и h_k ($i, j=\overline{1, N_h}$) множества однотипных объектов P . Среди всех элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$) множества P существуют два элемента e_{i_1} и e_{i_2} , для которых характеристики h_j и h_k , соответственно, лежат на границе диапазонов их изменения по всем элементам множества P . Следовательно, для элемента e_{i_1} и e_{i_2} выполняются условия:

$$h_{i_1j} = h_j^{av} + d_j^{hmax} \quad (1.4.17)$$

$$h_{i_2k} = h_k^{av} + d_k^{hmax} \quad (1.4.18)$$

В выражениях (1.4.17) и (1.4.18):

- h_j^{av} , h_k^{av} – средние значения характеристик h_j и h_k , определенные по формуле (1.4.6);

- d_j^{hmax} , d_k^{hmax} – величины максимальных по множеству P отклонений характеристик h_j и h_k от средних значений h_j^{av} , h_k^{av} :

$$d_j^{hmax} = \max\{|h_{ij} - h_j^{av}| (i=\overline{1, N_P})\} \quad (1.4.19)$$

$$d_k^{hmax} = \max\{|h_{ik} - h_k^{av}| (i=\overline{1, N_P})\} \quad (1.4.20)$$

Нормирование характеристик h_{i_1j} и h_{i_2k} по формуле (1.4.5) с ДН, определяемой соотношением (1.4.16) приводит к следующим результатам:

$$h_{i_1j}^n = \frac{d_j^{hmax}}{dz_j} \quad (1.4.21)$$

$$h_{i_2k}^n = \frac{d_k^{hmax}}{dz_k} \quad (1.4.22)$$

Для элементов e_{i_1} и e_{i_2} характеристики h_{i_1j} и h_{i_2k} , с качественной точки зрения находятся в одинаковых условиях – лежат на границе диапазонов значений характеристик. Но после нормирования характеристики $h_{i_1j}^n$ и $h_{i_2k}^n$ (в зависимости от соотношения величин $d_{i_1j}^{hmax}/dz_j$ и $d_{i_2k}^{hmax}/dz_k$) могут отличаться значительно. Это может привести к нарушению принципа соразмерности нормированных характеристик.

3) *Определение диапазонов нормирования с применением статистических методов.*

При данном подходе с целью минимизации влияния ошибок измерения ДН определяется статистическим методом – через среднеквадратические отклонения (СКО) характеристик исследуемого множества объектов.

В зависимости от объема используемой информации возможны два варианта определения ДН:

- а) определение ДН на базе исследуемого множества объектов;
- б) определение ДН на базе совокупности множеств данного типа.

Рассмотрим более подробно каждый из этих вариантов.

а) *Определение ДН на базе исследуемого множества однотипных объектов (ДН=3·CKOn).*

В этом варианте ДН j -й характеристики определяются соотношением:

$$dn_j^{st} = 3 \cdot \sigma_j^p \quad (1.4.23)$$

В выражении (1.4.23): σ_j^p ($j=\overline{1, N_h}$) – СКО множества $\{h_{ij}, i=\overline{1, N_p}\}$:

$$\sigma_j^p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} (h_{ij} - h_j^{av})^2}{N_p - 1}} \quad (1.4.24)$$

В выражении (1.4.24) h_j^{av} ($j=\overline{1, N_h}$) – среднее по множеству P значение характеристики h_j , определяемое соотношением (1.4.6).

б) *Определение ДН на базе совокупности множеств данного типа (ДН=3·CKOсм).*

Пусть в нашем распоряжении имеется совокупность Set_p , состоящая из N_s множеств P_k ($k=\overline{1, N_s}$) объектов такого же типа, как объекты исследуемого множества P :

$$Set_p = \{P_1, P_2, \dots, P_{N_s}\} \quad (1.4.25)$$

Каждое множество P_k ($k=\overline{1, N_s}$) состоит из N_k объектов:

$$P_k = \{e_1^k, e_2^k, \dots, e_{N_k}^k\} \quad (1.4.26)$$

Вместе множества объектов P_k ($k=\overline{1, N_s}$), составляющих совокупность Set_p , образуют множество P_s , состоящее из N_s^{sum} объектов:

$$P_s = \bigcup_{k=1}^{N_s} P_k \quad (1.4.27)$$

$$N_s^{sum} = \sum_{k=1}^{N_s} N_k \quad (1.4.28)$$

Таким образом, множество P_s состоит из N_s^{sum} элементов:

$$P_s = \{e_1^s, e_2^s, \dots, e_{N_s^{sum}}^s\} \quad (1.4.29)$$

Каждому элементу e_i^s ($i=\overline{1, N_s^{sum}}$) множества P_s соответствует вектор V_s^{hi} характеристик h_j ($j=\overline{1, N_h}$):

$$V_s^{hi} = (h_{i1}^s, h_{i2}^{ts}, \dots, h_{iN_h}^s) \quad (1.4.30)$$

Величины dn_j^{st} ($j=\overline{1, N_h}$), сформированные на базе совокупность множеств Set_p , определяются соотношением:

$$dn_j^{st} = 3 \cdot \sigma_j^s \quad (1.4.31)$$

В выражении (1.4.31) σ_j^s ($j=\overline{1, N_h}$) – СКО множества $\{h_{ij}^s$ ($i=\overline{1, N_s^{sum}}$)\}:

$$\sigma_j^s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_s^{sum}} (h_{ij}^s - h_j^{sev})^2}{N_s^{sum} - 1}} \quad (1.4.32)$$

В выражении (1.4.32) h_j^{sav} ($j=\overline{1, N_h}$) – среднее по множеству P_s значение характеристики h_j , определяемое соотношением:

$$h_j^{sav} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s^{sum}} h_{ij}^{ts}}{N_s^{sum}} \quad (1.4.33)$$

Достоинством данного варианта является его низкая чувствительность к ошибкам измерения характеристик h_j ($j=\overline{1, N_h}$), для которых выполняется соотношение (1.4.34) для варианта нормирования а) или (1.4.35) для варианта нормирования б):

$$\sigma_j^p \gg \sigma_j^{em} \quad (1.4.34)$$

$$\sigma_j^s \gg \sigma_j^{em} \quad (1.4.35)$$

В выражениях (1.4.34) и (1.4.35):

- σ_j^p, σ_j^s – СКО характеристик h_j ($j=\overline{1, N_h}$), определяемые формулами (2.3.20) для варианта нормирования 1) и (2.3.28) для варианта нормирования 2), соответственно;
- σ_j^{em} – СКО ошибки измерения характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$).

Причем, в связи с тем, что, очевидно, выполняется неравенство: $N_{ts}^{sum} \gg N_p$, вариант формирования ДН по обучающей выборке Set_{ts} с точки зрения минимизации влияния ошибок измерения, является более предпочтительным, чем вариант формирования ДН на базе исследуемой партии.

Недостатком данного варианта является то, что для тех характеристик h_j ($j=\overline{1, N_h}$), для которых не выполняется соотношение (1.4.34) для варианта нормирования а) или (1.4.35) для варианта нормирования б) есть большая вероятность некорректного нормирования: шумовые составляющие инструмента измерения могут оказаться определяющими в нормированной характеристике.

4) *Определение диапазонов нормирования комбинированным способом.*

При данном варианте нормирования определение ДН характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$) осуществляться по формуле:

$$dn_j = \max\{dn_j^{st}, dz_j\} \quad (1.4.36)$$

В выражении (1.4.36):

- dn_j^{st} – диапазон нормирования ДН, определяемый по формуле (1.4.24) или (1.4.32) в зависимости от выбранного варианта нормирования;
- dz_j – диапазон значимости ДЗ характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$) (1.4.15).

Комбинированный вариант определения ДН (1.4.36) обладает такой же низкой чувствительностью к ошибкам измерения, как варианты, использующие СКО характеристик. Вместе с тем он избавлен от недостатков этих алгоритмов – чувствительности к шумам измерения при невыполнении условия (1.4.34) или (1.4.35) в зависимости от выбранного варианта нормирования, так как ограничивает минимальное значение ДН dn_j^{st} величиной dz_j ($j=\overline{1, N_h}$).

В Разделе 4 на практических примерах АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям будет показано, что комбинированный вариант нормирования характеристик элементов (1.4.36) обеспечивает наибольшую эффективность АГ из всех рассмотренных вариантов нормирования.

1.4.3. Дополнительные характеристики элементов множества однотипных объектов

В данном разделе рассмотрим дополнительные характеристики элементов множества однотипных объектов, которые будут использованы алгоритмами АГ с учетом заданной эффективности разделения на группы.

1) Расстояние между объектами.

Пусть задано множество P однотипных объектов, состоящее из N_p элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$): $P = \{e_1, e_2, \dots, e_{N_p}\}$ (1.4.1).

Алгоритмы АГ, рассматриваемые в диссертации, используют в своей работе такую характеристику, как *расстояние между объектами* e_i и e_j - $d(e_i, e_j)$.

С учетом того, что свойства объектов e_i ($i=\overline{1, N_p}$) множества P определяются вектором нормированных характеристик: $V_i^{hn} = (h_{i1}^n, h_{i2}^n, \dots, h_{iN_h}^n)$ (1.4.7), расстояние между объектами $d(e_i, e_j)$ определяется как расстояние между векторами V_i^{hn} и V_j^{hn} .

В предложенных алгоритмах АГ для определения расстояний между векторами используется Евклидова метрика. С учетом этого, получим:

$$d(e_i, e_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_h} (h_{ik}^n - h_{jk}^n)^2} \quad (1.4.37)$$

2) Центр группы однотипных объектов.

Пусть n_g элементов множества P однотипных объектов $P = \{e_1, e_2, \dots, e_{N_p}\}$ образуют группу $G = \{e_{g1}, e_{g2}, \dots, e_{gn_g}\}$ ($e_{gi} \in P$; $i=\overline{1, n_g}$). При этом, каждому элементу e_{gi} ($i=\overline{1, n_g}$) соответствует вектор нормированных характеристик: $V_i^{gn} = (h_{i1}^{gn}, h_{i2}^{gn}, \dots, h_{iN_h}^{gn})$.

Центром группы G однотипных объектов будем называть виртуальный элемент e_g , определяемый вектором нормированных характеристик:

$$C_g = (c_{g1}^n, c_{g2}^n, \dots, c_{gN_h}^n) \quad (1.4.38)$$

В (1.4.38) характеристика c_{gj}^n ($j=\overline{1, N_h}$) определяется соотношением:

$$c_{gj}^n = \frac{\sum_{i=1}^{i=N_g} h_{ij}^{gn}}{N_g} \quad (1.4.39)$$

3) Центр множества однотипных объектов

Центром множества однотипных объектов $P=\{e_1, e_2, \dots, e_{N_p}\}$ будем называть виртуальный элемент e_c , определяемый вектором нормированных характеристик:

$$C_p = (c_{p1}^n, c_{p2}^n, \dots, c_{pN_h}^n) \quad (1.4.40)$$

В (1.4.40) характеристика c_{pj}^n ($j=\overline{1, N_h}$) определяется соотношением:

$$c_{pj}^n = \frac{\sum_{i=1}^{i=N_p} h_{ij}^n}{N_p} \quad (1.4.41)$$

4) Радиус-вектор и радиус элемента

Радиус-вектором элемента e_i ($i=\overline{1, N_p}$) партии P будем называть вектор, определяемый соотношением:

$$\vec{R}_i = V_i^{hn} - C_p \quad (1.4.42)$$

В формуле (1.4.42):

- V_i^{hn} - вектор нормированных характеристик элемента e_i (1.4.7);
- C_p - нормированные характеристики центра e_c партии P (1.4.40).

Радиусом элемента e_i ($i=\overline{1, N_p}$) партии P будем называть величину, определяемую соотношением:

$$R_i = d(V_i^{hn}, C_p) = \sqrt{\sum_{k=1}^{k=N_h} (h_{ik}^n - c_{pk}^n)^2} \quad (1.4.43)$$

1.5. Критерии эффективности кластеризации

Для оценки эффективности АГ множеств однотипных объектов в теории кластеризации разработан целый спектр специальных критериев.

Разработанные в диссертации алгоритмы АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям основаны на применении специально введенных векторов показателей эффективности группировки, в связи с чем, остановимся более подробно на рассмотрении существующих критериях эффективности кластеризации.

1.5.1. Критерий «Силуэт»

Критерий «Силуэт» относится к критериям интерпретации и подтверждения результатов АГ данных и был предложен в работе [116].

Предположим, что множество однотипных объектов было разгруппировано на k групп (кластеров). Для каждого объекта i определяется $a(i)$ – среднее расстояние от объекта i до других объектов того же кластера. Величина $a(i)$ показывает, насколько правомерно объект i отнесен к данному кластеру (чем меньше значение, тем более обосновано отнесение этого объекта к группе).

Будем определять среднее расстояние от объекта i до кластера C как среднее расстояние от объекта i до всех объектов кластера C .

Определим $b(i)$ как наименьшее среднее расстояние от объекта i до любого другого кластера, к которому этот объект не относится. Кластер с наименьшим средним расстоянием будем называть «соседним кластером» к объекту i .

Определим «Силуэт» объекта i следующим образом:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max \{a(i), b(i)\}} \quad (1.5.1)$$

Выражение (1.5.1) можно записать иначе:

$$s(i) = \begin{cases} 1 - \frac{a(i)}{b(i)}, & \text{если } a(i) < b(i) \\ 0, & \text{если } a(i) = b(i) \\ \frac{a(i)}{b(i)} - 1, & \text{если } a(i) > b(i) \end{cases} \quad (1.5.2)$$

Отсюда следует, что:

$$-1 \leq s(i) \leq 1 \quad (1.5.3)$$

Для того, чтобы $s(i)$ было близко к единице, требуется, чтобы $a(i) \ll b(i)$. То есть $s(i)$ близкое к единице означает, что объект i правильно классифицирован. Если же $s(i)$ близко к числу минус единица, то это означает, что правильней было бы отнести объект i к соседнему кластеру. Если $s(i)$ около нуля, то это означает, что объект i находится на грани двух кластеров.

Среднее $s(i)$ по всем объектам кластера является мерой того, насколько плотной является соответствующая группа. Среднее $s(i)$ по всем объектам выборки является мерой того, правильно проведено группирование, в целом. Если при группировании выбрано слишком малое или слишком большое число групп, то этот критерий будет принимать слишком низкое значение. Таким образом, этот критерий может быть выбран в качестве наглядного критерия качества кластеризации.

Недостатком приведенного критерия является то, что его применение требует привлечение значительных вычислительных ресурсов. Поэтому, на практике, целесообразно использовать ускоренный критерий, который вычисляется намного быстрее, но по качеству, как показывает практика, не уступает оригинальному критерию.

При вычислении ускоренного критерия $a(i)$ определяется как расстояние от объекта i до центра кластера, к которому он относится. В свою очередь, $b(i)$ определяется как наименьшее расстояние до центра соседних групп.

В некоторых алгоритмах АГ критерий «Силуэт» успешно применяется в качестве целевой функции поиска оптимального варианта группирования [126].

1.5.2. Критерий локтя

Пусть некое множество S однотипных объектов e разгруппировано на k кластеров: $\{C_i (i=\overline{1, k})\}$, а m_i - центр тяжести C_i (среднее значение для всех выборок в C_i).

Основным показателем критерия локтя является SSE (сумма квадратов ошибок) определяемая соотношением [127].:

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{e \in c_i} (e - m_i)^2 \quad (1.5.4)$$

Основная идея критерия локтя состоит в том, что по мере увеличения числа кластеров k деление множества будет более точным, а степень агрегации каждого кластера будет постепенно увеличиваться, поэтому квадрат ошибок и SSE , естественно, постепенно станут меньше.

Когда k меньше числа истинных кластеров, увеличение k значительно увеличит степень агрегации каждого кластера, поэтому снижение SSE будет большим. При дальнейшем увеличении k степень агрегации быстро становится меньше, поэтому снижение SSE будет резко уменьшаться, а затем будет постепенно сглаживаться, так как значение k продолжает увеличиваться, что означает, что отношения между SSE и k имеют форму колена, и это колено соответствующее значение k является количеством истинных кластеров в данных.

1.5.3. Байесовский информационный критерий

Это критерий выбора модели из класса параметризованных моделей, зависящих от разного числа параметров. Для оценивания модели обычно используется метод нахождения максимума функции правдоподобия, значение которого можно увеличить добавлением дополнительных параметров. Однако, это может вызвать переобучение. Байесовский критерий устраняет проблему переобучения, штрафую увеличение числа параметров модели [115].

Байесовский критерий получается при допущении того, что распределение выборки принадлежит к семейству экспоненциальных распределений.

Пусть: $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ - наблюдаемая часть выборки, где каждый объект характеризуется набором параметров $x_i = x_{i1}, \dots, x_{ik}$, а L - максимальное значение функции правдоподобия наблюдаемой выборки с известным числом параметров.

Тогда байесовский информационный критерий определяется формулой:

$$BIC = -2 \cdot \ln(L) + k \cdot \ln(n) \quad (1.5.5)$$

Таким образом, байесовский критерий является аналогом критерия Акаике с более строгой функцией штрафа (функция штрафа зависит также от размерности модели).

В случае линейной регрессионной модели критерий выражается через SSE - сумму квадратов остатков:

$$BIC = n \cdot \ln\left(\frac{SSE}{n}\right) + k \cdot \ln(n) \quad (1.5.6)$$

В данном случае логарифмируется смещенная оценка дисперсии регрессионных остатков.

Из двух моделей предпочтительно выбрать модель с меньшим значением байесовского критерия.

Байесовский критерий представляет собой возрастающую функцию от числа параметров модели и от остаточной суммы квадратов ошибок модели.

Изменение зависимых переменных и увеличение числа наблюдаемых увеличивает байесовский критерий, в то же время уменьшение критерия означает уменьшение размерности модели. Используется при длинных выборках данных.

1.5.4. Критерий Акаике

Это критерий выбора из класса параметризованных регрессионных моделей. Акаике (Akaike) предложил критерий выбора, оценивающий модели с разным числом параметров [114]. Критерий связан с понятием расстояния Кульбака-Лейблера (Kullback–Leibler), при помощи которого можно оценить расстояние между моделями.

При применении критерия в соответствии с принципом Оккама лучшей считается модель, в достаточной мере полно описывающая данные с наименьшим количеством параметров. Критерий Акаике тесно связан с Байесовским информационным критерием, но в отличие от него содержит функцию штрафа, линейно зависящую от числа параметров.

Расстояние Кульбака-Лейблера между двумя непрерывными функциями f и g есть интеграл:

$$(f, g) = \int f(x) \cdot \frac{f(x)}{g(x|\theta)} dx \quad (1.5.7)$$

Акаике показал, что для оценки расстояния между моделями можно оценить величину $E_{\hat{\theta}}[I(f, \hat{g})]$, где: $\hat{\theta}$ - оценка вектора параметров, в который входят параметры модели и случайные величины, а $\hat{g} = g(x|\hat{\theta})$.

При этом максимум логарифмической функции правдоподобия и оценка математического ожидания связаны следующим выражением:

$$\log(L(\hat{\theta}|y)) - k = \text{Const} - \hat{E}_{\hat{\theta}}[I(f, \hat{g})] \quad (1.5.8)$$

В выражении (1.5.8): k - число параметров модели, а L - максимум логарифмической функции правдоподобия.

Таким образом, вместо вычисления расстояния между моделями можно ввести оценивающий критерий:

$$AIC = 2 \cdot k - 2 \cdot \log(L(\hat{\theta}|y)) \quad (1.5.9)$$

В случае задачи линейной регрессии можно записать критерий Акаике через SSE - сумму квадратов остатков:

$$AIC = 2 \cdot k + n \cdot [\ln(\hat{\delta}^2)] \quad (1.5.10)$$

В выражении (3.4.10):

- n – число объектов исследуемого множества;

- $\hat{\delta}^2$ – дисперсия остатков, определяемая соотношением:

$$\hat{\delta}^2 = \frac{SSE}{n-2} \quad (1.5.11)$$

В свою очередь, в выражении (1.5.11) величина SSE определяется по формуле:

$$SSE = \sum_{i=1}^{i=n} (y_i - f(w_i x_i))^2 \quad (1.5.12)$$

Лучшая модель соответствует минимальному значению критерия Акаике.

1.5.5. Индекс достоверности кластеризации S_Dbw

Индекс достоверности кластеризации S_Dbw базируется на двух основных характеристиках кластеризации [128]:

- а) компактности кластеров (с точки зрения внутрикластерной дисперсии);
- б) плотности между кластерами (с точки зрения межкластерной плотности).

Пусть множество S , состоящее из n однотипных объектов с центром v разбито на c выпуклых кластеров S_i с центрами v_i и количеством элементов n_i :

$$S = \bigcup_{i=1}^{i=c} S_i \quad (1.5.13)$$

Пусть расстояние между двумя элементами x и u определяется функцией $d(x, u)$.

Определим характеристики, на основе которых формируется индекс достоверности кластеризации S_Dbw :

- стандартное отклонение расстояний от элементов до центра множества S :

$$std_S = \sqrt{\frac{\sum_{e \in S} d(e, v)^2}{n - 1}} \quad (1.5.14)$$

- стандартное отклонение расстояний от элементов до центра кластера S_i :

$$std_i = \sqrt{\frac{\sum_{e \in S_i} d(e, v_i)^2}{n_i - 1}} \quad (1.5.15)$$

- среднее стандартное отклонение кластеров:

$$std_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{i=c} std_i}{c} \quad (1.5.16)$$

Для оценки средней плотности в межкластерной области по отношению к плотности кластеров вводится характеристика - межкластерная плотность $Dens_{bw}$, определяемая соотношением:

$$Dens_{bw} = \frac{\sum_{i=1}^{i=c} (\sum_{j=1, j \neq i}^{j=c} (\frac{density(u_{ij})}{\max\{density(v_i), density(v_j)\}}))}{c \cdot (c-1)} \quad (1.5.17)$$

В выражении (1.5.17):

- $density(u)$ - плотность величины u , определяемая соотношением:

$$density(u) = \sum_{l=1}^{l=n_{ij}} f(x_l, u) \quad (1.5.18)$$

- v_i, v_j - центры кластеров c_i, c_j соответственно и u_{ij} - средняя точка отрезка линии, определяемая центрами кластеров v_i, v_j .

- n_{ij} – число объектов, принадлежащих кластерам c_i и c_j , т.е. $x_l \in c_i \cup c_j \subseteq S$ и представляет количество точек в окрестности u .

Окрестность точки данных u определяется как сфера с центром u и радиусом, равным среднему стандартному отклонению кластеров std_{av} , а значит, функция $f(x, u)$ определяется как:

$$f(x, u) = \begin{cases} 0, \text{если: } d(x, u) > std_{ev} \\ 1, \text{если: } d(x, u) \leq std_{ev} \end{cases} \quad (1.5.19)$$

Внутри кластерная дисперсия - среднее рассеяние для кластеров. Среднее рассеяние для кластеров определяется как:

$$Scat = \frac{(\sum_{i=1}^{i=c} std_i)/c}{std_S} \quad (1.5.20)$$

Отсюда индекс достоверности S_Dbw определяется соотношением:

$$S_Dbw = Scat + Dens_{bw} \quad (1.5.21)$$

Определение S_Dbw указывает, что оба критерия “хорошей” кластеризации (т.е. компактность и разделение) должным образом объединены, что позволяет надежно оценивать результаты кластеризации.

Первый член $Scat$ определяет среднее рассеяние внутри кластеров s . Небольшая величина $Scat$ является показателем компактных кластеров.

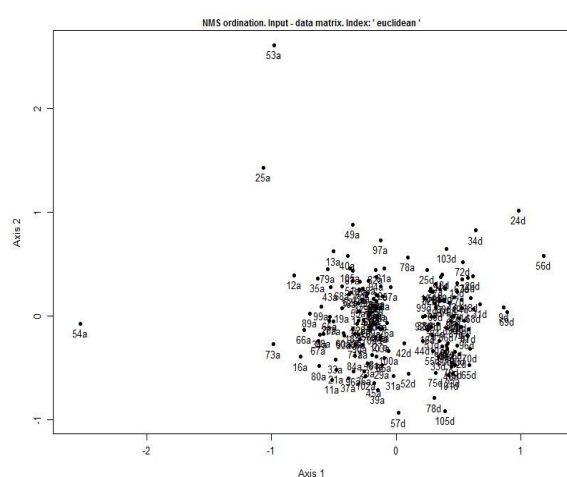
Индекс $Dens_{bw}$ показывает среднее число точек между кластерами s (т. е. показывает плотности между кластерами) по отношению к плотности внутри кластеров. Небольшая величина $Dens_{bw}$ указывает на хорошо разделенные кластеры.

Результаты Раздела 1

В Разделе 1 изложена общая постановка задачи АГ. Описаны сферы применения методов АГ, в частности, приведен актуальный практический пример применения алгоритмов АГ – при проведении испытаний ЭКБ космического применения. Приведен краткий обзор современных методов АГ. Введено понятие множества однотипных объектов, определены характеристики элементов множества однотипных объектов. Проведен обзор критериев эффективности, применяемых для оценки качества результата решения задачи автоматической группировки.

Как показывают исследования, решать эту задачу можно методами АГ на основе информации о характеристиках электронных компонентов, полученных в ходе неразрушающих испытаний в виде измеренных тестовых параметров (ТП). Идея АГ партий ЭКБ базируется на следующем свойстве: электронные компоненты, принадлежащие разным производственным партиям, в пространстве характеристик (ТП) образуют обособленные группы, удовлетворяющие определенному уровню эффективности кластеризации [129, 130].

- 564ЛА7В (КП-70, ДИ-1241) – 153шт



- 140УД25А (КП-895, ДИ-1116) – 97шт +
- 140УД25А (КП-30, ДИ-0951) – 77шт

На Рисунках 2.1, 2.2 применены следующие обозначения: 564ЛА7В, 140УД25А – обозначение типа ЭКБ: логическая микросхема и операционный усилитель, соответственно; КП – код партии; ДИ – код даты изготовления. Рисунки 2.1 и 2.2 построены с применением метода многомерного шкалирования (ММШ), отображающего точки в N_h -мерном пространстве характеристик ЭКБ (для ЭКБ 564ЛА7В: $N_h=134$, для ЭКБ 140УД25А: $N_h=9$) в двумерное пространство.

Согласно Рисунку 2.2, электронные компоненты, принадлежащие разным производственным партиям, в пространстве их характеристик образуют обособленные группы, удовлетворяющие определенному уровню эффективности кластеризации.

С другой стороны, если электронные компоненты принадлежат одной производственной партии (см. Рисунок 2.1), то их невозможно разделить на группы, удовлетворяющие заданному уровню эффективности кластеризации.

Как было отмечено во Введении, решить поставленную задачу существующими методами АГ невозможно, т.к. эти методы либо осуществляют выделение кластеров в любом наборе данных, даже если различия между объектами незначительны, либо задают требования к эффективности кластеризации, не обеспечивающие решение поставленной задачи. В связи с этим, для АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям необходимо разработать алгоритмы АГ, осуществляющие поиск варианта разделения на группы, обеспечивающего заданный уровень эффективности группировки.

Очевидно, что задача поиска варианта АГ элементов множества однотипных объектов, обеспечивающего заданный уровень эффективности кластеризации, актуальна не только для АГ электронных компонентов, но и для других областей науки и техники.

В связи с этим, поиск решения поставленной задачи будет осуществляться в два этапа:

- 1) Разработка метода АГ элементов множеств однотипных объектов, осуществляющего поиск условно оптимального варианта кластеризации, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы.

- 2) На базе метода п. 1 разработка алгоритма АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям.

2.1. Автоматическая группировка элементов множеств однотипных объектов с учетом заданной эффективностью разделения на группы

В данном разделе решается задача разработки метода АГ элементов множеств однотипных объектов, осуществляющего поиск условно оптимального варианта кластеризации, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы. В свою очередь, эта задача распадается на три отдельные подзадачи:

- 1) Введение характеристик эффективности разделения на группы: вектора показателей эффективности разделения на группы и области эффективного деления.
- 2) Разработка алгоритмов АГ с применением характеристик эффективности разделения на группы.
- 3) Определение границ области эффективного деления.

Подходы, примененные к решению данных подзадач, приведены ниже.

2.1.1. Характеристики эффективности разделения на группы

Пусть множество $P = \{e_1, e_2, \dots, e_{N_p}\}$ (1.4.1) однотипных объектов поделено на совокупность G_p , состоящую из N_g непересекающихся групп G_k ($k = \overline{1, N_g}$):

$$G_p = \{G_1, G_2, \dots, G_{N_g}\} \quad (2.1.1)$$

При этом выполняются условия:

$$P = \bigcup_{k=1}^{k=N_g} G_k \quad (2.1.2)$$

$$\bigcap_{k=1}^{k=N_g} G_k = \emptyset \quad (2.1.3)$$

Автором диссертации предлагается способ задания эффективности разделения множества P на совокупность групп G_p , основанный на введении двух характеристик: совокупности (вектора) показателей эффективности разделения на группы и области эффективного деления.

При этом разделение множества P на совокупность групп G_p будет считаться эффективным, если вектор показателей эффективности разделения на группы, соответствующий этому разделению, принадлежит области эффективного деления.

Рассмотрим более подробно каждую из этих характеристик.

а) *Вектор показателей эффективности разделения на группы.*

В Разделе 1 приведены основные критерии или показатели эффективности АГ, применяемые в современной теории кластеризации. Наличие большого количества таких критериев, очевидно, свидетельствует, что не существует какого-либо одного универсального критерия, пригодного для решения всех задач АГ. Это подтверждают не очень удачная попытка решить задачу АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям на базе одного критерия «Силуэт».

В связи с этим, для решения задач АГ с учетом заданной эффективности кластеризации вводится вектор показателей эффективности разделения на группы V_{ed} , объединяющий N_{ed} вещественных показателей - I_j ($j=\overline{1, N_{ed}}$), каждый из которых является характеристикой эффективности разделения множества P на совокупность групп G_p :

$$V_{ed}=(I_1, I_2, \dots, I_{N_{ed}}) \quad (2.1.4)$$

В качестве показателей эффективности разделения на группы I_i ($j=\overline{1, N_{ed}}$) могут быть выбраны как хорошо известные в кластерном анализе показатели (критерии), так и введены новые, исходя из особенностей решаемых задач АГ.

В дальнейшем, значение вектора V_{ed} , соответствующего разделению множества P на совокупность групп G_p , будем определять символом $V_{ed}(G_p)$:

$$V_{ed}(G_p)=(P_1(G_p), P_2(G_p), \dots, P_{N_{ed}}(G_p)) \quad (2.1.5)$$

б) *Область эффективного деления.*

Пусть E_j ($j=\overline{1, N_{ed}}$) – область допустимых значений показателя I_j , тогда E_{ed} – область допустимых значений векторов V_{ed} :

$$E_{ed} = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_{N_{ed}} \quad (2.1.6)$$

В области E_{ed} задается область S_{ed} эффективного разделения множества P на группы G_p . Для того, чтобы вариант разделения множества P на группы G_p соответствовал заданной эффективности разделения, необходимо выполнение условия: $V_{qc}(G_p) \in S_{qd}$.

Пусть S_p - совокупность всех вариантов разделения множества P на непересекающиеся группы с учетом ограничений на число N_g групп $N_g \leq N_p^{max}$:

$$S_p = \{ \{G_k (k=\overline{1, N_g})\} : P = \bigcup_{k=1}^{N_g} G_k; \bigcap_{k=1}^{N_g} G_k = \emptyset; N_g = \overline{1, N_p^{max}} \} \quad (2.1.7)$$

Обозначим символом S_p^{ed} совокупность всех вариантов разделения множества P на непересекающиеся группы, для которых выполняются условия эффективного разделения на группы, задаваемые характеристиками V_{qc} и S_{qd} :

$$S_p^{ed} = \{G_p^{ed} : G_p^{ed} \in S_p; V_{qc}(G_p^{ed}) \in S_{qd}\} \quad (2.1.8)$$

При этом возможны два варианта:

а) совокупность S_p^{ed} является пустой ($S_p^{ed} = \emptyset$), что означает, что вариантов АГ множества P на N_g групп ($N_g \leq N_p^{max}$), обеспечивающих заданную характеристиками V_{qc} и S_{qd} эффективность разделения на группы, нет;

б) совокупность S_p^{ed} – не пустая ($S_p^{ed} \neq \emptyset$), тогда S_p^{ed} представляет совокупность вариантов АГ множества P на N_g групп ($N_g \leq N_p^{max}$), обеспечивающих заданную характеристиками V_{qc} и S_{qd} эффективность разделения на группы.

2.1.2. Алгоритмы автоматической группировки с применением характеристик эффективности разделения на группы

Алгоритмы АГ однотипных объектов с учетом заданной эффективности разделения на группы целесообразно создавать на основе классических алгоритмов АГ, тем самым используя все достоинства этих алгоритмов. При этом классические

алгоритмы должны быть модернизированы с учетом новых требований. Рассмотрим более подробно эту процедуру.

Пусть алгоритм Alg_{AG} – алгоритм, осуществляющий поиск оптимального (в смысле максимума значения целевой функции F_{AG}) варианта АГ элементов множества P однотипных объектов с заданием ограничением на максимальное число N_p^{max} групп деления. Результатом АГ элементов множества P алгоритмом Alg_{AG} является совокупность множеств G_{opt} , состоящая из N_{opt} непересекающихся групп:

$$G_{opt} = \{G_k^{opt} (k=\overline{1, N_{opt}})\} \quad (2.1.9)$$

При этом для совокупности множеств G_{opt} одновременно должны выполняться условия (2.1.10) и (2.1.11):

$$G_{opt} \in S_p \quad (2.1.10)$$

$$F_{AG}(G_{opt}) = \max_{G_p \in S_p} \{F_{AG}(G_p)\} \quad (2.1.11)$$

Алгоритм Alg_{AG}^{ed} , осуществляющий поиск условно оптимального варианта кластеризации G_{opt} , обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы, создается на базе алгоритме Alg_{AG} . Для этого алгоритм Alg_{AG} дополняется последовательными процедурами, осуществляющими для каждого варианта кластеризации G_p , участвующего в поиске максимального значения целевой функции F_{AG} , следующие действия:

а) Расчет вектора показателей эффективности разделения на группы V_{ed} , соответствующего варианту разделения множества P на совокупность групп G_p : $V_{ed}(G_p) = (P_1(G_p), P_2(G_p), \dots, P_{N_{ed}}(G_p))$.

б) Проверку выполнения условия: $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$.

Если условие $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$ выполняется, то вариант разделения множества P на совокупность групп G_p участвует в поиске максимального значения целевой функции F_{AG} , если условие $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$ не выполняется, то вариант кластеризации G_p в поиске не участвует.

в) По завершении процедуры поиска условно оптимального варианта кластеризации G_{opt}^{ed} формирование результат АГ в виде (2.1.12):

$$Alg_{AG}^{ed}(P) = (Pr_{ed}; G_{opt}^{ed}) \quad (2.1.12)$$

В (2.1.12) применены следующие обозначения:

- Pr_{ed} - признак наличия варианта АГ, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы: $Pr_{ed}=1$, если вариант найден; $Pr_{ed}=0$, если вариант не найден;

- G_{opt}^{ed} – условно оптимальный вариант АГ множества P , обеспечивающий максимальное значение целевой функции F_{AG} при условии выполнения ограничений: $V_{ed}(G_{opt}^{ed}) \in S_{ed}$:

$$G_{opt}^{ed} = \{G_k^{ed} (k = \overline{1, N_{opt}^{ed}})\} \quad (2.1.13)$$

Если $Pr_{ed}=0$, то множество P неделимо алгоритмом Alg_{AG}^{ed} на N_g групп ($N_g \leq N_p^{max}$), и в этом случае можно считать: $N_{opt}^{ed}=1$ и $G_{opt}^{ed}=P$.

Если множество P невозможно разделить на группы с обеспечением заданного характеристиками V_{ed} и S_{ed} эффективности разделения, то будем считать, что множество P обладает свойством однородности, задаваемым характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

Наоборот, если множество P делится на группы с обеспечением условия $V_{ed} \in S_{ed}$, будем считать, что множество P обладает свойством неоднородности, задаваемым характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

Если множество P делится на группы G_{opt}^{ed} с обеспечением заданного характеристиками V_{ed} и S_{ed} эффективности разделения, то будем считать, что группы G_{opt}^{ed} обладают свойством различия, заданным характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

Примечание 2.1.1. Веденные свойства однородности (неоднородности) являются условными, так как практическое определение этих свойств основано на применении конкретных реализаций алгоритмов Alg_{AG}^{ed} , осуществляющих поиск варианта кластеризации, обеспечивающего эффективность разделения на группы, заданную характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

Таким образом, алгоритм поиска варианта АГ элементов множества однотипных объектов P , обеспечивающего заданную характеристиками V_{ed} и S_{ed} эффективность разделения на группы, может быть определен как алгоритм, который осуществляет:

- а) Определение свойства однородности (неоднородности) множества P , заданное характеристиками V_{ed} и S_{ed} .
- б) В случае, если определено, что множество P обладает свойством неоднородности, условно оптимальную группировку элементов множества P в группы G_{opt}^{ed} , обладающие свойством различия, заданным характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

2.1.3. Определение границ области эффективного деления с применением размеченных обучающих выборок

Как правило, при решении практических задач определение границ B_{ed} области S_{ed} теоретическими расчетами осуществить не представляется возможным. В связи с этим, для решения этой задачи предлагается использовать метод обучения с частичным привлечением учителя на базе размеченных обучающих выборок (ОВ), состоящих из специально подобранного набора N_{ts} обучающих множеств OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) - объектов заданного типа.

Обучающие множества OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), составляющие ОВ, предназначены для задания характеристик, определяющих свойства различия между группами объектов, в связи с чем, к ним предъявляются следующие требования:

- 1) Каждое OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) обладает свойством однородности, которое предполагается задать характеристиками V_{ed} и S_{ed} .
- 2) Каждая пара OM_i и OM_j ($i, j=\overline{1, N_{ts}}; i \neq j$) обладает свойством различия, которое предполагается задать характеристиками V_{ed} и S_{ed} .

Например, при решении задачи АГ партий ЭКБ в группы, соответствующие разным производственным партиям, характеристиками V_{ed} и S_{ed} предполагается задавать различия между производственными партиями, поэтому OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), входящие в состав ОВ, должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) Каждое OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) состоит из элементов, принадлежащих одной производственной партии.

2) Все OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) принадлежат разным производственным партиям.

Дополнительно, на базе ОВ формируется OB_p - обучающая выборка частей ОМ, состоящая из N_{ts} обучающих множеств OM_{pi} ($i=\overline{1, N_{ts}}$). Каждое OM_{pi} - это часть обучающего множества OM_i , содержащая N_{part} элементов. Число N_{part} определяется соотношением:

$$N_{part} = \text{int}(N_{ev}/2) \quad (2.1.14)$$

В (2.1.14): N_{ev} – среднее число элементов в ОВ.

Порядок формирования OM_{pi} из элементов OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) не имеет принципиального значения.

Примечание 2.1.2. Введение OB_p имеет вполне определенный практический смысл. Как показывает практика, исследуемые множества однотипных объектов, АГ которых предполагается осуществлять с применением алгоритма Alg_{AG}^{ed} , как правило, содержат приблизительно одинаковое число элементов. Выборка OB_p вводится для того, чтобы определение B_{ed} осуществлялось с учетом эффективности АГ алгоритма Alg_{AG}^{ed} в «рабочей точке», имея в виду среднее число элементов исследуемых множеств заданного типа.

Для алгоритма Alg_{AG}^{ed} определение границ B_{ed} области S_{ed} эффективного разделения на группы на базе ОВ осуществляется поиском варианта, обеспечивающего одновременное выполнение условий $U1$ и $U2$:

$U1$. Каждое OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), входящее в состав ОВ, должно быть определено алгоритмом Alg_{AG}^{ed} как однородное.

$U2$. Все парные объединения OM_i и OM_j ($i, j=\overline{1, N_{ts}}; i \neq j$), входящих в состав ОВ, и все парные объединения OM_{pi} и OM_{pj} ($i, j=\overline{1, N_{ts}}; i \neq j$), входящих в состав OB_p , должны быть с максимально возможной эффективностью разделены алгоритмом Alg_{AG}^{ed} на группы, соответствующие составляющим их множествам OM_i и OM_{pi} ($i=\overline{1, N_{ts}}$), соответственно.

Для подтверждения качества группировки, осуществляемой алгоритмом Alg_{AG}^{ed} , применяется тестовая выборка ТВ - специально подобранный набор N_{test} тестовых множеств TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$) - объектов заданного типа. При этом, требования,

предъявляемые к OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), распространяются на TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$). Кроме того, предъявляется дополнительное требование: ОВ и ТВ не должны пересекаться между собой.

Для проведения процедуры тестирования по аналогии с OB_p и OM_{pi} ($i=\overline{1, N_{ts}}$) формируются TB_p и TM_{pi} ($i=\overline{1, N_{test}}$). Чтобы тестирование считалось успешным необходимо выполнение условия $U1t$:

$U1t$. Все TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$), входящие в состав ТВ, были определены алгоритмом Alg_{AG}^{ed} как однородные.

Таким образом, алгоритм определения границ B_{ed} области S_{ed} эффективного разделения на группы на базе ОВ можно представить в следующем виде:

Шаг 1. Задаются ОВ и ТВ из множеств объектов заданного типа.

Шаг 2. На базе ОВ и ТВ формируются OB_p и TB_p .

Шаг 3. Задается вектор V_{qc} показателей эффективности разделения на группы.

Шаг 4. Осуществляется поиск варианта границ B_{ed} области эффективного деления S_{ed} , обеспечивающих одновременное выполнение условий $U1$, $U1t$ и $U2$ с расчетом индекса Рэнда I_R^{OB} , для оценки эффективности группировки парных объединений множеств, входящих в состав ОВ и OB_p .

Шаг 5. Осуществляется тестирование алгоритма Alg_{AG}^{qd} по ТВ с расчетом индекса Рэнда I_R^{TB} для оценки эффективности группировки парных объединений множеств, входящих в состав ТВ и TB_p .

Шаг 6. По формуле: $I_R = \min(I_R^{OB}; I_R^{TB})$ рассчитывается индекс Рэнда I_R , являющийся итоговой оценкой эффективности работы алгоритма Alg_{AG}^{ed} .

2.2. Алгоритмы автоматической группировки электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям

Пусть задана P – партия ЭКБ, состоящая из N_p элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$) заданного типа:

$$P = \{e_i \ (i=\overline{1, N_p})\} \quad (2.2.1)$$

Исходными данными для АГ элементов партии P электронных компонентов являются характеристики (тестовые параметры – ТП) элементов e_i , измеренные в ходе неразрушающих испытаний, образующие вектора V_i^h ($i=\overline{1, N_p}$) характеристик размерности N_h :

$$V_i^h = (h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iN_h}) \quad (2.2.2)$$

Для осуществления АГ по алгоритму (1.4.5) осуществляется предварительное нормирование векторов V_i^h ($i=\overline{1, N_p}$), т.е. преобразование их к безразмерному и соразмерному виду:

$$V_i^{hn} = (h_{i1}^n, h_{i2}^n, \dots, h_{iN_h}^n) \quad (2.2.3)$$

Разработка алгоритма Alg_{AG}^{ed} АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям осуществляется на основе метода АГ, изложенного в Разделе 2.1.

2.2.1. Выбор базового алгоритма автоматической группировки

Алгоритм Alg_{AG}^{ed} создается на базе алгоритма Alg_{AG} – алгоритма, осуществляющего поиск оптимального (в смысле максимума значения целевой функции F_{AG}) варианта АГ элементов множества P однотипных объектов с заданием ограничения на максимальное число N_p^{max} групп деления (кластеров). В качестве алгоритма Alg_{AG} применим разработанный автором алгоритм АГ на базе последовательных слияний, представленный в работе [55], подтвердивший свою эффективность при решении практических задач АГ партий ЭКБ.

В качестве базового алгоритма Alg_{AG} может быть применен любой другой алгоритм АГ, зарекомендовавший себя при решении задач АГ элементов партий ЭКБ. Например, хорошие результаты дает применение в качестве алгоритмов Alg_{AG} эволюционных алгоритмов АГ, разработанных Казаковцевым Л.А. [54].

2.2.2. Выбор вектора показателей эффективности разделения на группы

Состав вектора V_{ed} предложен по результатам большого объема экспериментальных исследований, проведенных на базе данных АО «ИТЦ – НПО ПМ». Формирование вектора V_{ed} осуществлялось последовательным наращиванием числа показателей, входящих в состав вектора V_{ed} по мере выяснения того, что текущий состав вектора V_{ed} поставленную задачу не решает. Исследования начались с использования единственного показателя эффективности деления – критерия «Силуэт», но быстро выяснилось, что такой подход дает неудовлетворительный результат. По завершении нескольких экспериментальных итераций получен окончательный вариант состава вектора V_{ed} .

Рассмотрим подробно состав вектора V_{ed} .

Пусть партия P (2.2.1) ЭКБ заданного типа поделена на совокупность G_p , состоящую из N_g групп:

$$G_p = \{G_k (k=\overline{1, N_g}): \bigcup_{k=1}^{N_g} G_k = P; \bigcap_{k=1}^{N_g} G_k = \emptyset\} \quad (2.2.4)$$

Каждая группа $G_k (k=\overline{1, N_g})$ содержит n_k элементов $e_i^k (i=\overline{1, n_k})$:

$$G_k = \{e_i^k (i=\overline{1, n_k})\} \quad (2.2.5)$$

Очевидно, что справедливы следующие соотношения:

$$\sum_{k=1}^{N_g} n_k = N_p \quad (2.2.6)$$

$$P = \{e_i^k (k=\overline{1, N_g}), (i=\overline{1, n_k})\} \quad (2.2.7)$$

Каждому элементу $e_i^k (i=\overline{1, n_k})$ группы $G_k (k=\overline{1, N_g})$ соответствует вектор нормированных характеристик V_i^{nk} :

$$V_i^{nk} = (h_{i1}^{nk}, h_{i2}^{nk}, \dots, h_{iN_h}^{nk}) \quad (2.2.8)$$

Кроме того, для каждой группы G_k ($k=\overline{1, N_g}$) рассчитывается виртуальный элемент C_k – центр группы G_k с нормированными характеристиками:

$$C_k = (c_1^{nk}, c_2^{nk}, \dots, c_{N_h}^{nk}) \quad (2.2.9)$$

Для оценки эффективности деления партий ЭКБ предлагается вектор показателей эффективности деления V_{ed} следующего состава:

$$V_{ed} = (Pr_{min}^{el}, Pr_{sd}, KS, k_{sep}^{d/r}, k_{sep}^{d/l}) \quad (2.2.10)$$

В (2.2.10):

- Pr_{min}^{el} – признак наличия минимального заданного числа элементов в каждой группе G_k ($k=\overline{1, N_g}$);
- Pr_{sd} – признак наличия значимых отличий между центрами C_k и C_m любых двух групп G_k и G_m ($k, m=\overline{1, N_g}; k \neq m$);
- KS – критерий «Силуэт»;
- $k_{sep}^{d/r}, k_{sep}^{d/l}$ – дополнительные коэффициенты сепарации, определяемые соотношениями:

Признаки Pr_{min}^{el} и Pr_{sd} носят технический характер. Показатели $KS, k_{sep}^{d/r}$ и $k_{sep}^{d/l}$ определяют дополняющие друг друга признаки эффективности группировки.

Как показали исследования, проведенные на данных испытаний ЭКБ космического применения в АО «ИТЦ – НПО ПМ», состав (2.2.10) вектора V_{ed} обеспечивает решение задачи АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям с приемлемой эффективностью.

Рассмотрим подробно алгоритмы формирования каждого из признаков, входящих в состав вектора V_{ed} (2.2.10).

- 1) *Признак наличия минимального заданного числа элементов в группе.*

Наличие в составе вектора V_{ed} признака Pr_{min}^{el} продиктовано практическими соображениями.

Во-первых, АГ электронных компонентов осуществляется на основе их характеристик, измерительными устройствами, обладающими высокой шумовой составляющей. В этом случае вероятно появление одиночных элементов, характеристики которых сильно отличающихся от характеристик основной массы объектов. Чтобы избежать восприятия таких элементов в виде однородной группы, вводится ограничение на минимальное количество элементов группы.

Во-вторых, на практике на число элементов в однородных группах имеется естественное ограничение, т.к. определение однородной группы с числом элементов меньше некоторой минимально заданной величины становится бессмысленным. Так, например, АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям в процессе испытаний при формировании ЭКБ космического применения происходит для того, чтобы, в дальнейшем, сформировать от каждой полученной обособленной группы элементов тестовую выборку для проведения разрушающих испытаний. Очевидно, что в этом случае число элементов в сформированной однородной группе должно быть, как минимум, больше, чем число элементов в тестовой выборке.

В тех случаях, когда применение данного критерия будет считаться избыточным, не теряя общности, можно просто задать минимальное количество элементов в обособленной группе равным единице.

Пусть N_{min}^{elg} - минимальное заданное число элементов в обособленной группе.

Признак Pr_{min}^{el} *наличия минимального количества элементов* в обособленных группах G_k ($k=\overline{1, N_g}$):

$$Pr_{min}^{el} = \begin{cases} 1, & \text{если } N_{min}^{el} \geq N_{min}^{elg} \\ 0, & \text{если } N_{min}^{el} < N_{min}^{elg} \end{cases} \quad (2.2.11)$$

В выражении (2.2.11) N_{min}^{el} – фактическое минимальное число элементов в группах G_k ($k=\overline{1, N_g}$):

$$N_{min}^{el} = \min\{n_k (k=\overline{1, N_g})\} \quad (2.2.12)$$

2) *Признак наличия значимых отличий между центрами любых двух групп.*

Признаком Pr_{sd} задается нижняя граница группировки, т.к. деление элементов на группы, различие характеристик которых меньше диапазона значимости, не имеет практического смысла.

Признак Pr_{sd} определяется следующим образом:

- $Pr_{sd} = 1$, если для любых двух групп G_k и G_m существует характеристика h_j ($j=\overline{1, N_h}$), для которой выполняется условие:

$$|c_j^{nk} - c_j^{nm}| > dz_j / dn_j \quad (2.2.13)$$

- $Pr_{sd} = 0$, если для любых двух групп G_k и G_m не существует характеристики h_j ($j=\overline{1, N_h}$), для которой выполняется условие (2.2.13).

В выражении (2.2.13): c_j^{nk} , c_j^{nm} - значения нормированной j -ой характеристики центров групп G_k и G_m , соответственно; dz_j и dn_j - диапазон значимости и диапазон нормирования j -ой характеристики.

3) *Критерий «Силуэт».*

Критерий «Силуэт» [67] - известный и часто применяемый в теории кластеризации признак эффективности группирования.

KS – критерий «Силуэт», определяется по формуле:

$$KS = \frac{\sum_{i=1}^{i=N_p} (1 - a_i / b_i)}{N_p} \quad (2.2.14)$$

В (2.2.14) применены обозначения:

- a_i – расстояние от элемента e_i до центра группы, которой он принадлежит;
 - b_i – расстояние от элемента e_i до ближайшего центра группы, которой он не принадлежит.

4) *Дополнительные коэффициенты сепарации.*

При отработке алгоритмов АГ на базе данных АО «ИТЦ – НПО ПМ» оказалось, что трех показателей эффективности деления Pr_{min}^{el} , Pr_{sd} и KS недостаточно для качественного деления электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям.

Введение дополнительных коэффициентов сепарации позволило повысить результативность разрабатываемых алгоритмов АГ до уровня, приемлемого для практического применения.

Коэффициенты сепарации $k_{sep}^{d/r}$ и $k_{sep}^{d/l}$ являются признаками эффективности группировки, дополняющие критерий «Силуэт» KS .

Коэффициенты сепарации $k_{sep}^{d/r}$, $k_{sep}^{d/l}$ определяются соотношениями:

$$k_{sep}^{d/r} = \min_{k,m=1,N_g; k \neq m} \{k_{km}^{sep.d/r}\} \quad (2.2.15)$$

$$k_{sep}^{d/l} = \min_{k,m=1,N_g; k \neq m} \{k_{km}^{sep.d/l}\} \quad (2.2.16)$$

Здесь: $k_{km}^{sep.d/r}$, $k_{km}^{sep.d/l}$ – коэффициенты сепарации групп G_k и G_m , определяемые по формулам:

$$k_{km}^{sep.d/r} = D_{km}^{sep} / R_k^{sep} \quad (2.2.17)$$

$$k_{km}^{sep.d/l} = D_{km}^{sep} / L_k^{min.av} \quad (2.2.18)$$

В (2.2.17), (2.2.18):

- D_{km}^{sep} - диапазон разделения групп G_k и G_m ;
- R_k^{sep} - радиус группы G_k по линии, соединяющей центры этих групп C_k и C_k ;
- $L_k^{min.av}$ - среднее значение расстояний между элементами группы G_k .

Параметры D_{km}^{sep} , R_k^{sep} , R_m^{sep} определяются на базе проекций радиус-векторов $\overrightarrow{R_{kl}}$ и $\overrightarrow{R_{mj}}$ элементов $e_i \in G_k$ и $e_j \in G_m$ на линию, соединяющую центры этих групп C_k и C_k (см. Рисунок 2.2.1).

На рис. 2.2.1 изображено:

- G_k – обособленная группа однотипных объектов множества P ;
- G_m – обособленная группа однотипных объектов множества P ;
- C_k – центр группы G_k ;
- C_m – центр группы G_m ;
- R_k^{sep} – расстояние между C_k и границей группы G_k по линии, соединяющей C_k и C_m ;
- R_m^{sep} – расстояние между C_m и границей группы G_m по линии, соединяющей C_k и C_m ;
- D_{km}^{sep} – расстояние между границами групп G_k и G_m .

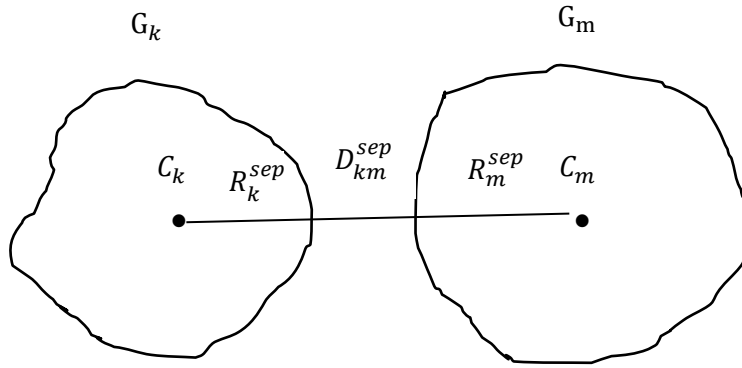


Рисунок 2.2.1 Определение параметров D_{km}^{sep} , R_k^{sep} , R_m^{sep}

Для уменьшения влияния шумовых составляющих измерения характеристик объектов параметры D_{km}^{sep} , R_k^{sep} , R_m^{sep} , $L_k^{min.av}$, $L_m^{min.av}$ определяются с применением статистических методов.

Рассмотрим подробнее алгоритмы формирования параметров D_{km}^{sep} , R_k^{sep} , R_m^{sep} , $L_k^{min.av}$, $L_m^{min.av}$.

а) *Определение величин R_k^{sep} , R_m^{sep} , D_{km}^{sep} .*

Для каждого элемента e_i^k ($i=\overline{1, n_k}$) группы G_k ($k=\overline{1, N_g}$) рассчитывается радиус-вектор $\overrightarrow{R}_i^k$:

$$\overrightarrow{R}_i^k = (r_1^{ki}, r_2^{ki}, \dots, r_{N_h}^{ki}) \quad (2.2.19)$$

В соответствии с (1.4.42) радиус-вектор $\overrightarrow{R}_l^k$ ($i=\overline{1, n_k}$), ($k=\overline{1, N_g}$) определяется соотношением:

$$\overrightarrow{R}_l^k = V_i^{nk} - C_k \quad (2.2.20)$$

С учетом (2.2.8) и (2.2.9) координаты r_j^{ki} ($j=\overline{1, N_h}$) вектора R_i^{ck} рассчитываются по формуле:

$$r_j^{ki} = h_{ij}^{nk} - c_j^{nk} \quad (2.2.21)$$

Аналогично, для каждого элемента e_i^m ($i=\overline{1, n_m}$) группы G_m ($m=\overline{1, N_g}$) рассчитывается радиус-вектор $\overrightarrow{R}_l^m$:

$$\overrightarrow{R}_l^m = (r_1^{mi}, r_2^{mi}, \dots, r_{N_h}^{mi}) \quad (2.2.22)$$

В соответствии с (1.4.42) радиус-вектор $\overrightarrow{R}_l^m$ ($i=\overline{1, n_m}$), ($m=\overline{1, N_g}$) определяется соотношением:

$$\overrightarrow{R}_l^m = V_i^{nm} - C_m \quad (2.2.23)$$

Координаты r_j^{mi} ($j=\overline{1, N_h}$) вектора $\overrightarrow{R}_l^m$ рассчитываются по формуле:

$$r_j^{mi} = h_{ij}^{nm} - c_j^{nm} \quad (2.2.24)$$

Формируются вектора $\overrightarrow{C}_{km} = (c_1^{km}, c_2^{km}, \dots, c_{N_h}^{km})$ и $\overrightarrow{C}_{mk} = (c_1^{mk}, c_2^{mk}, \dots, c_{N_h}^{mk})$:

$$\overrightarrow{C}_{km} = C_m - C_k \quad (2.2.25)$$

$$\overrightarrow{C}_{mk} = C_k - C_m \quad (2.2.26)$$

Координаты c_j^{km} и c_j^{mk} ($j=\overline{1, N_h}$) векторов C_{km} и C_{mk} , соответственно, рассчитываются по формулам:

$$c_j^{km} = h_j^{nm} - h_j^{nk} \quad (2.2.27)$$

$$c_j^{mk} = h_j^{nk} - h_j^{nm} \quad (2.2.28)$$

Для каждого элемента e_i^k ($i=\overline{1, n_k}$) группы G_k рассчитывается проекция вектора $\overrightarrow{R_l^k}$ на вектор $\overrightarrow{C_{km}}$:

$$p_{ki} = \frac{\overrightarrow{R_l^k} \cdot \overrightarrow{C_{km}}}{\|\overrightarrow{C_{km}}\|} \quad (2.2.29)$$

В (2.2.29):

- $\overrightarrow{R_l^k} \cdot \overrightarrow{C_{km}}$ - скалярное произведение векторов $\overrightarrow{R_l^k}$ и C_{km} , определяемое соотношением:

$$\overrightarrow{R_l^k} \cdot \overrightarrow{C_{km}} = \sum_{j=1}^{j=N_h} (r_j^{ki} \cdot c_j^{km}) \quad (2.2.30)$$

- $\|\overrightarrow{C_{km}}\|$ - модуль вектора $\overrightarrow{C_{km}}$, с учетом применяемой для расчетов Евклидовой метрики определяемый соотношением:

$$\|\overrightarrow{C_{km}}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=N_h} (c_j^{km})^2} \quad (2.2.31)$$

Аналогично, для каждого элемента e_i^m ($i=\overline{1, n_m}$) группы G_m рассчитывается проекция вектора $\overrightarrow{R_l^m}$ на вектор $\overrightarrow{C_{mk}}$:

$$p_{mi} = \frac{\overrightarrow{R_l^m} \cdot \overrightarrow{C_{mk}}}{\|\overrightarrow{C_{mk}}\|} \quad (2.2.32)$$

В (2.2.32):

- $\overrightarrow{R_l^m} \cdot \overrightarrow{C_{mk}}$ - скалярное произведение векторов $\overrightarrow{R_l^m}$ и C_{mk} , определяемое соотношением:

$$\overrightarrow{R_l^m} \cdot \overrightarrow{C_{mk}} = \sum_{j=1}^{j=N_h} (r_j^{mi} \cdot c_j^{mk}) \quad (2.2.32)$$

- $\|\overrightarrow{C_{mk}}\|$ - модуль вектора $\overrightarrow{C_{mk}}$, с учетом применяемой для расчетов Евклидовой метрики определяемый соотношением:

$$\|\overrightarrow{C_{mk}}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=N_h} (c_j^{mk})^2} \quad (2.2.33)$$

Величины p_{ki} ($i=\overline{1, n_k}$) образуют множество P_k :

$$P_k = \{p_{ki} \ (i=\overline{1, n_k})\} \quad (2.2.34)$$

Из множества элементов P_k выделяется подмножество P_k^+ , состоящее из n_k^+ элементов, имеющих положительное значение:

$$P_k^+ = \{p_{ki}^+ \ (i=\overline{1, n_k^+})\} \quad (2.2.35)$$

То есть множество P_k^+ составляют элементы множества P_k , для которых выполняется условие:

$$\begin{cases} p_{ki}^+ \in P_k; \\ p_{ki}^+ > 0; \end{cases} \quad (2.2.36)$$

Здесь n_k^+ - число элементов множества P_k^+ .

Аналогично, величины p_{mi} ($i=\overline{1, n_m}$) образуют множество P_m :

$$P_m = \{p_{mi} \ (i=\overline{1, n_m})\} \quad (2.2.37)$$

Из множества элементов P_m выделяется подмножество P_m^+ , состоящее из n_m^+ элементов, имеющих положительное значение:

$$P_m^+ = \{p_{mi}^+ (i=\overline{1, n_m^+})\} \quad (2.2.38)$$

То есть множество P_m^+ составляют элементы множества P_m , для которых выполняется условие:

$$\begin{cases} p_{mi}^+ \in P_m; \\ p_{mi}^+ > 0; \end{cases} \quad (2.2.39)$$

Здесь n_m^+ - число элементов множества P_m^+ .

На базе множества $P_k^+ = \{p_{ki}^+ (i=\overline{1, n_k^+})\}$ определяется величина R_k^{sep} по формуле:

$$R_k^{sep} = \min \{p_k^{max+}, p_k^{SD}\} \quad (2.2.40)$$

В выражении (2.2.40) величины p_k^{max+} , p_k^{SD} определяются соотношениями:

$$p_k^{max+} = \max \{p_{ki}^+ (i=\overline{1, n_k^+})\} \quad (2.2.41)$$

$$p_k^{SD} = p_k^{av} + 2 \cdot \sigma_k^{SD} \quad (2.2.42)$$

Величины p_k^{av} и σ_k^{SD} , в свою очередь, определяются соотношениями:

$$p_k^{av} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_k^+} (p_{kj}^+)}{n_k^+} \quad (2.2.43)$$

$$\sigma_k^{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j=n_k^+} (p_{kj}^+ - p_k^{av})^2}{n_k^+ - 1}} \quad (2.2.44)$$

Аналогичным образом, на базе множества $P_m^+ = \{p_{mi}^+ (i=\overline{1, n})\}$ вычисляется величина R_m^{sep} :

$$R_m^{sep} = \min \{p_m^{max+}, p_m^{SD}\} \quad (2.2.45)$$

В выражении (2.2.45) величины p_m^{max+} , p_m^{SD} определяются соотношениями:

$$p_m^{max+} = \max \{p_{mi}^+ (i=\overline{1, n_m^+})\} \quad (2.2.46)$$

$$p_m^{SD} = p_m^{av} + 2 \cdot \sigma_m^{SD} \quad (2.2.47)$$

Величины p_m^{av} и σ_m^{SD} , в свою очередь, определяются соотношениями:

$$p_m^{av} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_m^+} (p_{mj}^+)}{n_m^+} \quad (2.2.48)$$

$$\sigma_m^{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j=n_m^+} (p_{mj}^+ - p_m^{av})^2}{n_m^+ - 1}} \quad (2.2.49)$$

Величина D_{km}^{sep} определяется соотношением:

$$D_{km}^{sep} = \|\vec{C_{km}}\| - R_k^{sep} - R_m^{sep} \quad (2.2.50)$$

Итого, величины R_k^{sep} , R_m^{sep} и D_{km}^{sep} определяются соотношениями (2.2.40), (2.2.45) и (2.2.50), соответственно.

б) *Определение величин $L_k^{min.av}$ и $L_m^{min.av}$.*

Для каждого элемента e_i^k ($i=\overline{1, N_k}$) группы G_k определяется величина l_{ki}^{min} минимального расстояния до других элементов группы G_k :

$$l_{ki}^{min} = \min_{e_j^k \in G_k (j \neq i)} \{d(e_i^k, e_j^k)\} \quad (2.2.51)$$

В (2.2.51) $d(e_i^k, e_j^k)$ - расстояние между элементами e_i^k и e_j^k , определяемое по формуле:

$$d(e_i^k, e_j^k) = \sqrt{\sum_{l=1}^{l=N_h} (h_{il}^{nk} - h_{jl}^{nk})^2} \quad (2.2.52)$$

В выражении (2.2.52): h_{il}^{nk} и h_{jl}^{nk} – нормированные j -е ($j=\overline{1, N_h}$) характеристики (2.2.8) элементов e_i^k и e_j^k , соответственно.

Величины $l_{ki}^{min}(i=\overline{1, n_k})$ образуют множество L_k^{min} :

$$L_k^{min} = \{l_{ki}^{min}(i=\overline{1, n_k})\} \quad (2.2.53)$$

Из элементов множества L_k^{min} формируется подмножество $L_k^{min.\sigma}$ элементов:

$$L_k^{min.\sigma} = \{l_{ki}^{min.\sigma}(i=\overline{1, n_k^\sigma})\} \quad (2.2.54)$$

Для каждого элемента $l_{ki}^{min.\sigma}(i=\overline{1, n_k^\sigma})$ выполняется условие:

$$\begin{cases} l_{ki}^{min.\sigma} \in L_k^{min}; \\ l_{ki}^{min.\sigma} \leq L_k^{min.av.\sigma} + 2 \cdot \sigma_k; \end{cases} \quad (2.2.55)$$

Здесь n_k^σ – число элементов множества $L_k^{min.\sigma}$.

В выражении (2.2.55) величины $L_k^{min.av.\sigma}$ и σ_k определяются соотношениями:

$$L_k^{min.av.\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_k} l_{ki}^{min}}{n_k} \quad (2.2.56)$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{k=n_k} (l_{ki}^{min} - L_k^{min.sr.\sigma})^2}{n_k - 1}} \quad (2.2.57)$$

Параметр $L_k^{min.av}$ определяется как среднее значение по множеству $L_k^{min.\sigma}$:

$$L_k^{min.av} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_k^\sigma} l_{ki}^{min.\sigma}}{n_k^\sigma} \quad (2.2.58)$$

Аналогичным образом, для каждого элемента e_i^m ($i=\overline{1, n_m}$) группы G_m определяется величина l_{mi}^{min} минимального расстояния до других элементов группы G_m :

$$l_{mi}^{min} = \min_{e_j^m \in G_m (j \neq i)} \{d(e_i^m, e_j^m)\} \quad (2.2.59)$$

В (2.2.59) $d(e_i^m, e_j^m)$ – расстояние между элементами e_i^m и e_j^m , определяемое по формуле:

$$d(e_i^m, e_j^m) = \sqrt{\sum_{l=1}^{l=N_h} (h_{il}^{nm} - h_{jl}^{nm})^2} \quad (2.2.60)$$

В выражении (2.2.60): h_{il}^{nm} и h_{jl}^{nm} – нормированные j -е ($j=\overline{1, N_h}$) характеристики (2.2.8) элементов e_i^m и e_j^m , соответственно.

Величины l_{mi}^{min} ($i=\overline{1, n_m}$) образуют множество L_m^{min} :

$$L_m^{min} = \{l_{mi}^{min} (i=\overline{1, n_m})\} \quad (2.2.61)$$

Из элементов множества L_m^{min} формируется подмножество $L_m^{min.\sigma}$ элементов:

$$L_m^{min.\sigma} = \{l_{mi}^{min.\sigma} (i=\overline{1, n_m^\sigma})\} \quad (2.2.62)$$

Для каждого элемента $l_{mi}^{min.\sigma}$ ($i=\overline{1, n_m^\sigma}$) выполняется условие:

$$\begin{cases} l_{mi}^{min.\sigma} \in L_m^{min}; \\ l_{mi}^{min.\sigma} \leq L_m^{min.av.\sigma} + 2 \cdot \sigma_k; \end{cases} \quad (2.2.63)$$

Здесь n_m^σ – число элементов множества $L_m^{min.\sigma}$.

В выражении (2.2.63) величины $L_m^{min.av.\sigma}$ и σ_m определяются соотношениями:

$$L_m^{min.av.\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_m} l_{mi}^{min}}{n_m} \quad (2.2.64)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{k=n_k} (l_{mi}^{min} - L_m^{min.sr.\sigma})^2}{n_m - 1}} \quad (2.2.65)$$

Параметр $L_m^{min.av}$ определяется как среднее значение по множеству $L_m^{min.\sigma}$:

$$L_m^{min.av} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_m^\sigma} l_{mi}^{min.\sigma}}{n_m^\sigma} \quad (2.2.66)$$

Итого, величины $L_k^{min.av}$ и $L_m^{min.av}$ определяются соотношениями (2.2.58) и (2.2.66), соответственно.

2.2.3. Задание границ области эффективного деления

Задание границ B_{ed} области эффективного деления S_{ed} .

Для заданного вектора V_{ed} (2.2.10) область эффективного деления S_{ed} имеет вид [131]:

$$S_{ed} = (Pr_{min}^{el} = B_{el}^{min}; Pr_{sd} = B_{sd}; KS \geq B_{KS}; k_{sep}^{d/r} \geq B_{sep}^{d/r}; k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}) \quad (2.2.67)$$

Границы области S_{ed} задаются вектор B_{qd} :

$$B_{qd} = (B_{el}^{min}, B_{sd}, B_{KS}, B_{sep}^{d/r}, B_{sep}^{d/l}) \quad (2.2.68)$$

Вектор B_{qd} определяются следующим образом.

а) Задание граничных значений B_{el}^{min} и B_{sd} .

Исходя из физического смысла параметров Pr_{min}^{el} и Pr_{sd} , граничные значения B_{el}^{min} и B_{sd} определяются соотношением:

$$B_{el}^{min} = B_{sd} = 1 \quad (2.2.69)$$

б) Задание граничного значения B_{KS} .

Граничное значение B_{KS} параметра KS определяется следующими соотношениями:

$$B_{KS} = \begin{cases} KS_{max}^{lim}, & \text{если: } KS_{min}^c \geq KS_{max}^{lim} \\ KS_{min}^c, & \text{если: } KS_{min}^{lim} > KS_{min}^c > KS_{max}^{lim} \\ KS_{min}^{lim}, & \text{если: } KS_{min}^c \leq KS_{min}^{lim} \end{cases} \quad (2.2.70)$$

В соотношении (2.2.70):

- KS_{min}^{lim} и KS_{max}^{lim} - заданные минимальное и максимальное значение величины KS_{min} ;

- KS_{min}^c - величина, определяемая соотношением:

$$KS_{min}^c = \begin{cases} KS_{min}^*, & \text{если: } k_{sep}^{d/r} < k_{sep,ks}^{d/r} \\ \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*, & \text{если: } k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep,ks}^{d/r} \end{cases} \quad (2.2.71)$$

В выражении (2.2.71):

- $k_{sep,ks}^{d/r}$ - заданное пороговое значение коэффициента сепарации $k_{sep}^{d/r}$;

- λ_{ks} - заданный коэффициент уменьшения величины KS_{min}^c ;

- KS_{min}^* - величина, определяемая соотношением:

$$KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_P \quad (2.2.72)$$

В формуле (2.2.72):

- β_{ks} , α_{ks} - заданные коэффициенты;

- N_P - количества элементов партии P .

в) Задание граничных значений $B_{sep}^{d/r}$ и $B_{sep}^{d/l}$.

Граничные значения $B_{sep}^{d/r}$ и $B_{sep}^{d/l}$ параметров $k_{sep}^{d/r}$ и $k_{sep}^{d/l}$ являются постоянными величинами:

$$B_{sep}^{d/r} = \text{const} \quad (2.2.73)$$

$$B_{sep}^{d/l} = \text{const} \quad (2.2.74)$$

Параметры $N_{min}^{el.g}, KS_{min}^{lim}, KS_{max}^{lim}, \lambda_{ks}$ – имеют постоянное значение для всех типов ЭКБ и задаются, исходя из опыта работы с ЭКБ.

Параметры $\beta_{ks}, \alpha_{ks}, B_{sep}^{d/r}, B_{sep}^{d/l}, k_{sep.ks}^{d/r}$ для каждого типа ЭКБ определяются в процессе обучения по ОВ в соответствии с приведенной в Разделе 2.1.3 методикой.

Предложенная система уравнений, задающих границы B_{ed} области эффективного деления S_{ed} , является результатом большого объема экспериментальной работы, в ходе которой был определен ряд закономерностей, в частности необходимости введения обратной линейной зависимости граничного значения критерия «Силуэт» от количества элементов в партии. Для иллюстрации изложенного в главе материала, в Разделе 4 приведены примеры определения границ B_{ed} области эффективного деления S_{ed} с применением ОВ для 4-х типов ЭКБ.

Результаты Раздела 2

Раздел 2 посвящен решению двух задач: Задача 1 и Задача 2.

Задача 1. Разработка метода АГ множеств однотипных объектов с учетом заданной эффективности деления на группы.

Задача 2. На базе разработанного при решении Задачи 1 метода разработка алгоритмов АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям.

В свою очередь, Задача 1, распадается на три подзадачи: Задача 1а, Задача 1б и Задача 1в.

Задача 1а. Введение характеристик, обеспечивающих заданную эффективность АГ множеств однотипных объектов.

Для решения Задачи 1а, в диссертации предложено ввести две характеристики:

а) Вектор показателей эффективности разделения на группы $V_{ed} = (I_1, I_2, \dots, I_{N_{ed}})$, объединяющий N_{ed} дополняющих друг друга вещественных показателей I_j ($j = \overline{1, N_{ed}}$) эффективности кластеризации объектов заданного типа.

б) В области E_{ed} допустимых значений векторов V_{ed} задается область S_{ed} эффективного разделения множества P на группы.

Для того, чтобы вариант разделения множества однотипных объектов P на совокупность групп G_p удовлетворял заданной эффективности необходимо, чтобы выполнялось условие: $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$.

Задача 1б. Разработка алгоритмов АГ с применением характеристик V_{ed} и S_{ed} эффективности разделения на группы.

Предложенные в диссертации алгоритмы Alg_{AG}^{ed} , обеспечивающие поиск варианта АГ, обеспечивающего заданную эффективность кластеризации, могут создаваться на базе классических алгоритмах АГ Alg_{AG} , зарекомендовавших себя при решении задач кластеризации однотипных объектов заданного типа.

Для этого алгоритм Alg_{AG} дополняется последовательными процедурами, осуществляющими для каждого варианта кластеризации G_p , участвующего в поиске максимального значения целевой функции F_{AG} , следующие действия:

а) Расчет вектора показателей эффективности разделения на группы V_{ed} , соответствующего варианту кластеризации G_p

б) Проверку выполнения условия: $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$.

Если условие $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$ выполняется, то вариант разделения множества P на совокупность групп G_p участвует в поиске максимального значения целевой функции F_{AG} , если условие $V_{ed}(G_p) \in S_{ed}$ не выполняется, то вариант кластеризации G_p в поиске не участвует.

Задача 1в. Определение границ B_{ed} области S_{ed} эффективного разделения на группы.

Для решения этой задачи предлагается использовать метод обучения с частичным привлечением учителя на базе размеченных обучающих выборок (ОВ), состоящих из специально подобранного набора N_{ts} обучающих множеств OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) - объектов заданного типа.

Задача 2.

Основываясь на большом объеме проведенных экспериментальных исследований, в диссертации предложен вариант вектора показателей эффективности разделения на

группы V_{ed} (2.2.10) и области эффективного деления S_{ed} (2.2.67), обеспечивающих решение Задачи 2.

Для определения границ B_{ed} области эффективного деления S_{ed} предлагается использовать метод обучения с частичным привлечением учителя на базе размеченных обучающих выборок (ОВ), состоящих из специально подобранного набора N_{ts} обучающих множеств OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) – партий ЭКБ заданного типа.

Для иллюстрации работоспособности предложенных алгоритмов в Разделе 4.4 приведены примеры АГ элементов партий четырех видов электронных компонентов: операционных усилителей 140УД25А, диодных сборок 2ДШ2150АС9, микросхем 1526ЛА10 и микросхем 564ЛА7В.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЭЛЕМЕНТОВ

Раздел 3 настоящей диссертации посвящен разработке алгоритмов определения элементов-выбросов (ЭВ) партий ЭКБ, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта от суммарных отклонений отдельных характеристик элементов от их средних по партии значений.

Для поиска параметров алгоритмов, обеспечивающих наиболее эффективное определение ЭВ, применяется размеченная обучающая выборка ОВ.

3.1. Алгоритмы определения элементов-выбросов партии электронных компонентов

Пусть задана партия P электронных компонентов, состоящая из N_p элементов e_i : $P = \{e_i \ (i=\overline{1, N_p})\}$.

В общем виде алгоритм определения ЭВ можно представить следующим образом:

$$Alg_{EV}(P) = M_{EV}^P \quad (3.1.1)$$

В (3.1.1): M_{EV}^P - множество ЭВ, выявленных алгоритмами Alg_{EV} :

$$M_{EV}^P = \begin{cases} \emptyset \text{ (пустое множество), если } Alg_{EV} \text{ не обнаружил ЭВ} \\ \{e_1^{ev}, e_2^{ev}, \dots, e_{N_{EV}}^{ev}\}, \text{ если } Alg_{EV} \text{ обнаружил ЭВ} \end{cases} \quad (3.1.2)$$

Работа предложенных алгоритмов основана на общем подходе к определению ЭВ как элементов ЭКБ, суммарные отклонения характеристик которых от их средних по партии значений превышает некий предельный расчетный уровень.

Исходными данными для определения ЭВ являются введенные в введенные в Разделе 1 характеристики:

- C_P – центр партии P (1.4.40);

- $\vec{R}_i$ – радиус-вектора элементов $e_i \ (i=\overline{1, N_p})$ (1.4.42);

- R_i – радиусы элементов e_i ($i=\overline{1, N_p}$) (1.4.43).

ЭВ будет считаться элемент, радиус которого превышает некое расчетное по партии P пороговое значение радиуса R_{EV} . Правомочность такого подхода основана на исследованиях, проведенных Сташковым Д.В., которые показали, что отдельные характеристики электронных компонентов имеют распределения, близкие к нормальному или экспоненциальному. Алгоритмы Alg_{EV} отличаются друг от друга способом формирования величины R_{EV} .

В данной работе рассматриваются три алгоритма $Alg_{EV} : Alg_{EV1}, Alg_{EV2}$ и Alg_{EV3} , зарекомендовавшие себя как наиболее эффективные алгоритмы определения ЭВ партий ЭКБ.

Алгоритм 1 (Alg_{EV1}).

Работа алгоритма Alg_{EV1} : элемент $e_i \in P$ ($i=\overline{1, N_p}$) будет определен как ЭВ, если выполняется условие:

$$R_i > R_{EV} \quad (3.1.3)$$

В неравенстве (3.1.3):

- R_i – радиус элемента e_i , определенный по формуле (1.4.43);

- R_{EV} – пороговое (для определения ЭВ) значение радиусов элементов партии P .

Величина R_{EV} определяется соотношением:

$$R_{EV} = R_{av} + k_R \cdot \sigma_R \quad (3.1.4)$$

В уравнении (3.1.4):

- R_{av} – среднее значение радиусов R_i всех элементов $e_i \in P$ ($i=\overline{1, N_p}$):

$$R_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} R_i}{N_p} \quad (3.1.5)$$

- σ_R – среднеквадратическое (стандартное) радиусов R_i всех элементов $e_i \in P$ ($i=\overline{1, N_p}$):

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_P} (R_i - R_{av})^2}{N_P - 1}} \quad (3.1.6)$$

- k_R – коэффициент применения σ_R (на практике, как правило: $2 \leq k_R \leq 3$).

Алгоритм 2 (Alg_{EV2}).

Определение элемент e_i ($i=\overline{1, N_P}$) как ЭВ при использовании алгоритма Alg_{EV}^2 осуществляется аналогичным образом, как и при использовании Alg_{EV}^1 – выполнением условия (3.1.3). При этом, Alg_{EV}^2 отличается от Alg_{EV}^1 только способом определения величины R_{EV} .

Радиусы R_i элементов e_i ($i=\overline{1, N_P}$) образуют множество R_P радиусов элементов партии P :

$$R_P = \{R_1, R_2, \dots, R_{N_P}\} \quad (3.1.7)$$

На базе множества R_P формируется ранжированная по возрастанию последовательность R_P^r радиусов R_i элементов e_i ($i=\overline{1, N_P}$) множества P :

$$R_P^r = \{R_1^r, R_2^r, \dots, R_{N_P}^r\} \quad (3.1.8)$$

Элементы R_i^r ($i=\overline{1, N_P}$) последовательности R_P^r удовлетворяют условиям:

$$\begin{cases} R_i^r \in R_P \\ R_i^r \leq R_{i+1}^r (i = \overline{1, N_P - 1}) \end{cases} \quad (3.1.9)$$

На базе последовательности R_P^r формируется последовательность относительных приращений ранжированных по возрастанию радиусов R_i элементов e_i ($i=\overline{1, N_P}$) множества P :

$$dR_P^r = \{dR_1^r, dR_2^r, \dots, dR_{N_P-1}^r\} \quad (3.1.10)$$

Каждый элемент dR_i^r ($i=\overline{1, N_p - 1}$) последовательности dR_p^r определяется соотношением:

$$dR_i^r = \frac{R_i^r - R_{i+1}^r}{R_{i+1}^r} \quad (3.1.11)$$

Определяется величина dR_{EV} :

$$dR_{EV} = \max(dR_{EV}^{min}, dR_{EV}^c) \quad (3.1.12)$$

В выражении (3.1.12):

- dR_{EV}^{min} – минимальное заданное граничное значение относительных приращений радиусов элементов dR_{EV} для определения ЭВ (на практике, как правило: $dR_{EV}^{min} \geq 0,10$);

- dR_{EV}^c – расчетное значение относительных приращений радиусов элементов $\{dR_i^r (i=\overline{1, N_p - 1})\}$:

$$dR_{EV}^c = dR_{av} + 3 \cdot \sigma_{dr} \quad (3.1.13)$$

В выражении (3.1.13):

- dR_{av} – среднее значение элементов множества $\{dR_i^r (i=\overline{1, N_p - 1})\}$:

$$dR_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N_p-1} dR_i^r}{N_p - 1} \quad (3.1.14)$$

- σ_{dr} – среднеквадратическое (стандартное) отклонение величин dR_i^r ($i=\overline{1, N_p - 1}$) от их среднего значения dR_{av} :

-

$$\sigma_{dr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N_p-1} (dR_i^r - dR_{av})^2}{N_p - 2}} \quad (3.1.15)$$

На базе последовательности (3.1.10) определяется номер k_{EV} как максимальный номер k ($k = \overline{1, N_{dr}}$), для которого выполняется условие:

$$dR_k^r \geq dR_{EV} \quad (3.1.16)$$

Число N_{dr} определяется соотношением:

$$N_{dr} = \text{int}(\lambda_{dr} \cdot N_P) \quad (3.1.17)$$

В выражении (3.1.17):

- $\text{int}(\alpha)$ – функция определения целой части числа α ;
- λ_{dr} – заданное число (на практике: $0,25 \leq \lambda_{dr} \leq 0,3$).

Величина R_{EV} определяется соотношением:

$$R_{EV} = R_{k_{EV}}^r \quad (3.1.18)$$

В том случае, если нет номера k_{EV} , для которого выполняется условие $dR_k^r \geq dR_{EV}$, то у множества P нет ЭВ.

Алгоритм 3 (Alg_{EV3}).

Алгоритм Alg_{EV3} работает аналогично Alg_{EV2} . Но при этом, между ними имеется существенное отличие. Алгоритм Alg_{EV2} определяет ЭВ на базе последовательности радиусов элементов R_i ($i = \overline{1, N_P}$) без учета пространственного направления соответствующих радиус-векторов $\vec{R}_i$. В отличие от Alg_{EV2} алгоритм Alg_{EV3} определяет ЭВ с учетом пространственного направления радиус-векторов $\vec{R}_i$ элементов e_i партии P .

Пусть из элементов множества $R_P = \{R_1, R_2, \dots, R_{N_P}\}$ (3.1.7) сформирована ранжированная по возрастанию последовательность R_P^r радиусов элементов e_i ($i = \overline{1, N_P}$): $R_P^r = \{R_1^r, R_2^r, \dots, R_{N_P}^r\}$ (3.1.8).

Пусть так же по формуле (3.1.1) определено число N_{dr} .

Для каждого радиуса R_i^r ($i = \overline{1, N_{dr}}$) ранжированной последовательности R_P^r (3.1.8) определяется множество M_{EVi}^P – множество ЭВ по проекции на вектор $\vec{R}_i^r$, для чего осуществляется шесть последовательных шагов:

Шаг 1. Для каждого элемента e_j ($j=\overline{1, N_P}$) определяется проекция радиус-векторов $\vec{R}_j$ на радиус-вектор $\vec{R}_i^r$:

$$p_{ij} = \frac{\vec{R}_j \cdot \vec{R}_i^r}{\|\vec{R}_i^r\|} \quad (3.1.19)$$

В выражении (3.1.19):

- $\vec{R}_j \cdot \vec{R}_i^r$ – скалярное произведение векторов $\vec{R}_j$ и $\vec{R}_i^r$;
- $\|\vec{R}_i^r\|$ - модуль вектора $\vec{R}_i^r$.

Шаг 2. На базе множества проекций $\{p_{ij}\}$ ($j=\overline{1, N_P}$) формируется ранжированная по убыванию последовательность p_i^r элементов:

$$p_i^r = \{p_{i1}^r, p_{i2}^r, \dots, p_{iN_P}^r\} \quad (3.1.20)$$

Для каждого элемента p_{ij}^r ($j=\overline{1, N_P - 1}$) последовательности p_i^r справедливо соотношение:

$$p_{ij}^r \geq p_{ij+1}^r \quad (3.1.21)$$

Ранжированной по убыванию последовательности p_i^r соответствует ранжированная последовательность элементов множества P :

$$E^r = \{e_1^r, e_2^r, \dots, e_{N_P}^r\} \quad (3.1.22)$$

Шаг 3. На базе последовательности p_i^r формируется положительная последовательность P^{r+} :

$$p_i^{r+} = \{p_{i1}^{r+}, p_{i2}^{r+}, \dots, p_{iN_P}^{r+}\} \quad (3.1.23)$$

Каждый элемент p_{ij}^{r+} ($j=\overline{1, N_P}$) определяется соотношением:

$$p_{ij}^{r+} = p_{ij}^r - e_{N_p}^r \quad (3.1.24)$$

Шаг 4. На базе последовательности p_i^{r+} формируется последовательность dp_i^r относительных приращений элементов p_{ij}^{r+} :

$$dp_i^r = \{dp_{i1}^r, dp_{i2}^r, \dots, dp_{iN_{dr}}^r\} \quad (3.1.25)$$

Каждый элемент dp_{ij}^r ($j=\overline{1, N_{dr}}$) последовательности dp_i^r определяется соотношением:

$$dp_{ij}^r = \frac{p_{ij}^{r+} - p_{ij+1}^{r+}}{p_{ij+1}^{r+}} \quad (3.1.26)$$

Шаг 5. Для каждого элемента dp_{ij}^r ($j=\overline{1, N_{dr}}$) последовательности dp_i^r формируется граница определения ЭВ:

$$dp_{ij}^{EV} = \max(dp_{EV}^{min}, dp_{ij}^c) \quad (3.1.27)$$

В формуле (3.1.27):

- dp_{EV}^{min} – минимальная величина границы определения ЭВ, определенная опытным путем;

- dp_{ij}^c – расчетное значение границы определения ЭВ:

$$dp_{ij}^c = dp_{ij}^{ev} + 3 \cdot \sigma_{ij}^{dp} \quad (3.1.28)$$

В формуле (3.1.28):

- dp_{ij}^{ev} – величина, рассчитываемая по формуле:

$$dp_{ij}^{ev} = \frac{\sum_{k=1, k \neq j}^{k=N_{dr}} dp_{ik}^r}{N_{dr}-1} \quad (3.1.29)$$

- σ_{ij}^{dp} – величина, рассчитываемая по формуле:

$$\sigma_{ij}^{dp} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1, k \neq j}^{k=N_{dr}} (dp_{ik}^r - dp_{ij}^{ev})^2}{N_{dr}-2}} \quad (3.1.30)$$

Шаг 6. На базе последовательности (3.1.25) определяется номер k_{EV} как максимальный номер k ($k = \overline{1, N_{dr}}$), для которого выполняется условие:

$$dp_{ik}^r \geq dp_{ik}^{EV} \quad (3.1.31)$$

Если номера k_{EV} , для которого выполняется условие (3.1.31) не существует, то ЭВ по проекции на вектор r_i у множества P нет (множество M_{EVi}^P - ЭВ по проекции на вектор r_i пустое). В противном случае множество M_{EVi}^P определяется соотношением:

$$M_{EVi}^P = \{e_1^r, e_2^r, \dots, e_{k_{EV}}^r\} \quad (3.1.32)$$

В выражении (3.1.32) элементы e_k^r ($k = \overline{1, k_{EV}}$) множества M_{EVi}^P – элементы с соответствующими номерами ранжированной последовательности элементов E^r (3.1.22).

Множество M_{EV}^P ЭВ, выявляемых алгоритмом Alg_{EV3} , определяется соотношением:

$$M_{EV}^P = \bigcup_{i=1}^{i=N_{dr}} M_{EVi}^P \quad (3.1.33)$$

3.2. Выбор параметров алгоритмов определения элементов-выбросов с применением размеченных обучающих выборок

Предложенные в Разделе 3.1 алгоритмы определения ЭВ содержат параметры, требующие уточнения их значений при применении алгоритмов для ЭКБ заданного типа. Ввиду сложности определения этих параметров теоретическими методами, на

сегодняшний момент существует один способ решения этого вопроса – экспериментальными исследованиями.

Для этого в диссертации предложен метод, основанный на использовании ОБ - специально подобранного набора N_{ts} обучающих множеств OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), каждое из которых, представляющих из себя партию ЭКБ заданного типа:

$$ОВ = \{OM_i (i=\overline{1, N_{ts}})\} \quad (3.2.1)$$

Все OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), входящие в состав ОБ (3.2.1), должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к ОМ, используемым для обучения алгоритмов АГ. Помимо этого, предъявляется дополнительное требование: OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$) должны быть экспертным путем определены как не имеющие в своем составе ЭВ. В связи с этим, в качестве OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$), могут быть выбраны ОМ, используемые для обучения алгоритмов АГ, из состава которых удалены элементы, экспертно определенные как ЭВ.

Определение параметров алгоритма Alg_{EV} (обучение алгоритма Alg_{EV}) основано на идее использования в качестве ЭВ элементов, принадлежащих другой производственной партии и оценке эффективности работы алгоритма Alg_{EV} , осуществляя определение ЭВ по ОМ, к которым добавляется определенное количество элементов, принадлежащих другому ОМ.

Для этого для каждого OM_i формируется множество дополняющих элементов OM_i^d , состоящее из N_d наиболее репрезентативных элементов OM_i , в качестве которых выбираются элементы с наименьшим разбросом характеристик (ТП) от их средних значений по OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$).

На базе OM_i и OM_j^d ($i, j=\overline{1, N_{ts}}$) формируется дополненная обучающая выборка (ДОВ), состоящая из N_{dov} элементов ($N_{dov}=N_{ts} \cdot (N_{ts}-1)$):

$$ДОВ = \{OM_{ij}^d = OM_i \cup OM_j^d (i, j=\overline{1, N_{ts}}; i \neq j)\} \quad (3.2.2)$$

Для оценки эффективности обучения алгоритма Alg_{EV} вводятся следующие показатели: Pc_{ER}^{OB} – средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОБ и ДОВ; Pc_{EV}^{OB} – средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ.

Для подтверждения эффективности работы алгоритма Alg_{EV} определения ЭВ применяется ТВ - некоторый специально подобранный набор N_{test} тестовых множеств TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$) – партий ЭКБ заданного типа:

$$ТВ = \{TM_i \ (i=\overline{1, N_{test}})\} \quad (3.2.3)$$

К TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$), входящим в состав ТВ (3.2.3), предъявляются те же требования, что и к OM_i ($i=\overline{1, N_{ts}}$). При этом, ОВ и ТВ не должны пересекаться между собой: $ОВ \cap ТВ = \emptyset$. В качестве ТВ может быть выбрана ТВ, применяемая для обучения алгоритмов АГ.

Для каждого TM_i формируется множество дополняющих элементов TM_i^d , состоящее из N_d наиболее репрезентативных элементов TM_i , в качестве которых выбираются элементы, имеющие наименьший разброс характеристик (ТП) от их средних значений по TM_i ($i=\overline{1, N_{test}}$).

На базе TM_i и TM_j^d ($i, j=\overline{1, N_{test}}$) формируется дополненная тестовая выборка (ДТВ), состоящая из N_{dtv} элементов ($N_{dtv} = N_{test} \cdot (N_{test} - 1)$):

$$ДТВ = \{TM_{ij}^d = TM_i \cup TM_j^d \ (i, j=\overline{1, N_{test}}; i \neq j)\} \quad (3.2.4)$$

Для оценки эффективности обучения алгоритма Alg_{EV} вводятся следующие показатели: PC_{ER}^{TB} - средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ТВ и ДТВ; PC_{EV}^{TB} – средняя доля верно определенных ЭВ по ДТВ.

Предлагается следующий метод определения параметров алгоритма Alg_{EV} , обеспечивающих определения ЭВ с наибольшей эффективностью для партий ЭКБ заданного типа с применением ОВ и ТВ:

Шаг 1. Задаются ОВ и ТВ из множеств объектов заданного типа.

Шаг 2. Формируются ДОВ и ДТВ.

Шаг 3. Задается предельное значение процента ошибочно определенных ЭВ - PC_{ER}^{max} .

Шаг 4. Определяются параметры алгоритма Alg_{EV} , осуществляющего определение ЭВ множеств, принадлежащих ОБ и ДОВ с максимальной эффективностью Pc_{EV}^{OB} при условии выполнения ограничения U_{OB} :

$$U_{OB}: Pc_{ER}^{OB} \leq N_{ER}^{max} \quad (3.2.5)$$

Шаг 5. Осуществляется тестирование алгоритма Alg_{EV} по ТВ и ДТВ. Определяются параметры: Pc_{EV}^{TB} и Pc_{ER}^{TB} .

Шаг 6. Определяется выполнение условие U_{TB} :

$$U_{TB}: Pc_{ER}^{OB} \leq N_{ER}^{max} \quad (3.2.6)$$

Если условие U_{TB} выполняется, то переходим к Шагу 7. Если условие U_{TB} не выполняется, то ослабляются требования к ошибочному определению ЭВ, для чего увеличивается значение параметра Pc_{ER}^{max} и осуществляется переход к Шагу 4.

Шаг 7. Параметры алгоритма Alg_{EV} определены. Рассчитываются результирующие показатели эффективности работы алгоритма Alg_{EV} :

- Pc_{EV} - средняя доля верно определенных ЭВ:

$$Pc_{EV} = \min(Pc_{EV}^{OB}, Pc_{EV}^{TB}) \quad (3.2.7)$$

- Pc_{ER} - средняя доля ошибочно определенных ЭВ:

$$Pc_{ER} = \max(Pc_{ER}^{OB}, Pc_{ER}^{TB}) \quad (3.2.8)$$

Параметры Pc_{EV} и Pc_{ER} могут также быть применены для сравнения эффективности различных алгоритмов Alg_{EV} определения ЭВ. В Разделе 4 приведены примеры применения изложенного метода для выбора наиболее эффективного алгоритма Alg_{EV} определения ЭВ для 4-х типов ЭКБ, используемых для иллюстрации обучения алгоритмов АГ.

Результаты Раздела 3

В Разделе 3 рассмотрены алгоритмы определения элементов-выбросов (ЭВ) партий ЭКБ, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта от суммарных отклонений отдельных характеристик элементов от их средних по партии значений, на основе анализа многомерных данных о характеристиках элементов.

В разделе приведены три алгоритма определения ЭВ, зарекомендовавших себя при определении ЭВ партий ЭКБ.

Для определения параметров алгоритмов, а также для определения наиболее эффективного алгоритма определения ЭВ в разделе метод на базе ОВ - специально подобранного набора обучающих множеств, каждое из которых, представляющих из себя партию ЭКБ заданного типа.

Рассмотренные в данном разделе алгоритмы предназначены для использования в технологическом процессе испытания ЭКБ космического применения в качестве алгоритмов выявления потенциально ненадежных элементов.

Для иллюстрации изложенного в данном разделе материала в Разделе 4 приведены примеры выбора алгоритмов определения ЭВ для четырех типов электронных компонентов: 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

4.1. Формирование электронной компонентной базы космического применения в испытательных технических центрах

Постоянное расширение объема решаемых космическими аппаратами (КА) задач, увеличение сроков их активного существования до 10-15 лет и более, не ремонтпригодность аппаратуры, находящейся на орбите, постоянное повышение стоимости изготовления и затрат на запуск, достигающее суммарно сотен миллионов долларов предъявляют особые требования к надежности функционирования всех систем КА.

Современный КА – это сложнейшее электронное устройство, содержащее порядка 100-200 тысяч электронных компонентов. Отсюда, очевидно, базовым требованием надежности КА является обеспечение длительной безотказной работы ЭКБ, входящей в состав бортовой аппаратуры [25-27].

В космической отрасли США, Западной Европы, Японии и Китая организовано специализированное производство изделий ЭКБ космического применения (так называемой, категории качества «Space»).

В бывшем СССР с начала 1980-х годов предпринимались попытки по организации специализированного производства электронных компонентов для космической техники, однако, в связи с экономическими трудностями и распадом СССР, эти попытки не были реализованы.

В нашей стране в настоящих экономических условиях создание специализированного производства ЭКБ категории качества «Space» представляется экономически нецелесообразным по причине его специфической мелко серийности для космической отрасли России, составляющей около 2% от всего объема производства изделий ЭКБ, а также по причине высоких материальных и интеллектуальных затрат [132].

Таким образом, в нашей стране в настоящее время комплектация космической аппаратуры высоконадежными изделиями ЭКБ возможна только через *испытательные технические центры* (ИТЦ), которые выступают в качестве *связующего звена* между заводами изготовителями изделий ЭКБ и их потребителями в космической отрасли [133].

ИТЦ формируют партии ЭКБ космического применения посредством проведения дополнительных испытаний (ДИ) электронных компонентов общего военного назначения с целью отбраковки элементов, содержащих дефекты, которые могут проявить себя при длительном функционировании в космическом пространстве [26].

ДИ включают в себя три вида испытаний [134]:

- 1) Неразрушающие испытания.
- 2) Выборочный разрушающий физический анализ (РФА).
- 3) Испытания на радиационную стойкость.

Неразрушающие испытания – это испытания, не наносящие вреда испытуемым элементам, позволяющие выбрать образцы, обеспечивающие надежную и качественную работу в течение заданного срока функционирования КА. Для обеспечения максимального качества неразрушающим испытаниям подвергаются 100% элементов испытываемой партии.

Неразрушающие испытания, в свою очередь, состоят из двух групп операций:

- а) Контроль технологии изготовления неразрушающими методами.
- б) Параметрический анализ.

Контроль технологии изготовления неразрушающими методами включает в себя:

- контроль наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве элементов;
- контроль герметичности корпуса элементов.

Параметрический анализ – это контроль, основанный на измерениях электрических параметров элементов. Параметрический анализ включает в себя:

- контроль электрических параметров по ужесточенным нормам;
- электротермотренировка (ЭТТ) с контролем электрических параметров по ужесточенным нормам до и после ЭТТ;
- расчет дрейфа электрических параметров в процессе ЭТТ и контроль величины этого дрейфа;
- диагностические испытания (контроль вольт-амперных характеристик, побитовых токов, m-характеристик, токов потребления по шинам питания в момент переключения и пр.).

По результатам проведения неразрушающих испытаний вся партия элементов делятся на три группы:

- а) группа элементов, годных для космического применения;
- б) группа бракованных элементов;
- в) группа потенциально ненадежных элементов (ПН-элементов).

Группу годных для космического применения элементов составляют элементы, прошедшие неразрушающие испытания без замечаний.

В группу бракованных элементов входят элементы, для которых значения электрических параметров выходят за пределы границ, указанных в технических условиях (ТУ) на данный тип ЭКБ.

Группу ПН-элементов составляют элементы, электрические параметры которых соответствуют ТУ, но в то же самое время, не выполнившие какое-либо дополнительное требование в процессе неразрушающих испытаний. Это может быть нарушением указанных выше технологических требований (наличие посторонних частиц в подкорпусном пространстве, нарушение герметичности корпуса) или параметрических требований (выход электрических параметров или их дрейфов за пределы ужесточенных границ и т.п.).

РФА – испытания, которые необходимы для оценки качества изготовления ЭКБ, приводящие к разрушению испытуемых элементов. Соответственно, испытания такого рода могут проводиться только над специально сформированными тестовыми выборками (ТВ) элементов с последующим распространением результатов испытаний на всю партию ЭКБ.

РФА содержит следующие операции:

- а) Контроль содержания паров воды и анализ газов в подкорпусном пространстве ЭКБ.
- б) Плазмохимическое травление и вскрытие пластмассовых корпусов.
- в) Энергодисперсионный микроанализ поверхности кристаллов и различных загрязнений.
- г) Внутренний визуальный осмотр с помощью растровой электронной микроскопии.
- д) Контроль прочности внутренних соединений, испытания на сдвиг кристалла.
- е) Контроль прочности крепления внешних выводов.
- ж) Контроль качества изготовления с использованием рентгеновского оборудования.

Для подтверждения характеристик радиационной стойкости партии электронных компонентов, проводятся специальные радиационные испытания. Такого рода испытания проводятся по специальной программе (с дискретным облучением и измерением электрических характеристик) в специализированных организациях, имеющих лицензию на проведение таких работ [135].

Очевидно, что эти работы относятся к разрушающим испытаниям т.к. элементы, над которыми был проведен эксперимент, непригодны для дальнейшей эксплуатации. В связи с этим, испытания на радиационную стойкость проводят на сформированной из элементов партии ТВ с последующим распространением результатов испытаний на всю партию ЭКБ.

В соответствии с методикой ДИ формирование ТВ для РФА и испытаний на радиационную стойкость производится из состава испытываемой партии случайным образом. Далее параллельно (для ускорения процесса) проводятся неразрушающие испытания, РФА и (в случае необходимости) испытания на радиационную стойкость.

По результатам РФА и радиационных испытаний принимается окончательное решение о судьбе партии ЭКБ. Если эти испытания дали положительный результат, то элементы, прошедшие неразрушающие испытания без замечаний, составляют партию ЭКБ, годную для космического применения. В случае отрицательных результатов разрушающего анализа вся партия ЭКБ признается негодной для космического применения.

Приведенная методика ДИ является плодом многолетнего опыта и хорошо зарекомендовала себя на практике в течение 20 лет. С другой стороны, постоянное усложнение применяемых на КА электронных устройств, очевидно, требует совершенствования и самой методологии испытаний [136].

В настоящее время наиболее перспективным направлением считается формирование ЭКБ космического применения по технологии «специальных партий» [137]. Как известно, «специальная партия» – это совместный продукт ИТЦ и завода-изготовителя, совместно и в согласованных пропорциях осуществляющих проведения мероприятий, необходимых для формирования партий ЭКБ космического применения.

4.2. Автоматическая группировка электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям

Важной составляющей ДИ ЭКБ космического применения являются разрушающие испытания, к которым относятся РФА и испытания на радиационную стойкость. Разрушающие испытания производятся на специально сформированной из элементов партии ТВ. Результаты разрушающих испытаний распространяются на всю партию испытываемых электронных компонентов.

Такой подход имеет смысл в том случае, если все испытываемые элементы принадлежат одной производственной партии. Такое требование является обязательным для поставщиков ЭКБ. К сожалению, на практике это выполняется не всегда.

Во-первых, существует так называемый человеческий фактор. Везде, включая заводы-изготовители, работают живые люди, способные ошибаться или руководствоваться своими сиюминутными интересами.

Во-вторых, существуют системные разночтения в понятии «производственная партия». ГОСТы электронной промышленности РФ позволяют изготовителям ЭКБ формировать производственные партии, используя в качестве основы до четырех разных кристалльных кремневых партий. При этом, хорошо известно, что характеристики электронных компонентов в значительной степени определяются характеристиками кремниевой основы, на которой изготовлены эти компоненты.

В-третьих, эта проблема актуальна для ЭКБ импортного производства, особенно при современных логистических схемах.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что порядка 5% партий ЭКБ, поступивших в АО «ИТЦ – НПО ПМ» для формирования ЭКБ космического применения, по факту составлены из элементов, принадлежащих разным производственным партиям [91].

Таким образом, в текущих условиях имеется определенная вероятность поступления в ИТЦ для формирования ЭКБ космического применения партий электронных компонентов, состоящих из элементов, принадлежащих разным производственным партиям. С учетом миниатюрных габаритных характеристик, информацию о происхождении электронного компонента разместить на корпусе, практически, невозможно. Поэтому элементы одного типа, принадлежащие разным производственным партиям, в большинстве случаев, внешне выглядят совершенно одинаково.

В связи с этим, независимая и автономная группировка электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям является наиважнейшей задачей для повышения достоверности результатов ДИ.

Как показывают исследования [138-141], эта задача успешно решается на базе информации о характеристиках (ТП) элементов, измеренных в ходе неразрушающих испытаний, с применением специальных алгоритмов АГ, изложенных в Разделе 2 настоящей диссертации.

Результаты практических исследований, приведенные в Разделе 4.4 диссертации, показали, что предложенные алгоритмы позволяют осуществить группировку электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям со средней эффективностью по индексу Рэнда - 0,898, что дает основание рекомендовать применение этих алгоритмов в технологическом процессе формирования ЭКБ космического применения.

4.3. Применение алгоритмов определения элементов-выбросов для выявления потенциально ненадежных элементов

В процессе испытаний ЭКБ космического применения выявляются элементы, имеющие существенные отличия характеристик от средних их значений по партии. Такие отклонения с большой вероятностью свидетельствуют о наличии у элемента скрытых дефектов, которые могут привести к его отказу в ходе эксплуатации. Такие элементы называются потенциально ненадежными или ПН-элементами и не допускаются к космическому применению.

По существующей технологии испытаний ЭКБ космического применения выявление ПН-элементов осуществляется по каждой характеристике в отдельности.

Предложенные в диссертации алгоритмы осуществляют выявление ПН-элементов партий ЭКБ, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта от суммарных отклонений отдельных характеристик элементов от их средних по партии значений с учетом многомерного анализа характеристик [142].

Как показывают исследования, результаты которых приведены в Разделе 4.5 диссертации, применение этих алгоритмов в дополнение к существующим алгоритмам позволяет повысить среднюю эффективность определения ПН-элементов на 8,6%, что дает основание рекомендовать применение этих алгоритмов в технологическом процессе формирования ЭКБ космического применения.

4.4. Примеры автоматической группировки элементов партий электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям

В данном разделе приведены примеры АГ элементов партий электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям для

4-х типов ЭКБ: операционные усилители 140УД25А, диодные сборки 2ДШ2150АС9, логические микросхемы: 1526ЛА10 и 564ЛА7В. В качестве характеристик элементов партий ЭКБ используются ТП, измеренные в процессе тестовых испытаний в АО «ИТЦ – НПО ПМ».

Данные примеры выбраны случайным образом. С единственной оговоркой: количество используемых ТП в этих партиях разное и покрывает, практически, весь спектр возможных вариантов: 140УД25А – 9 ТП, 2ДШ2150АС9 – 14 ТП, 1526ЛА10 – 60 ТП, 564ЛА7В – 134 ТП.

Определение алгоритмов АГ элементов партий ЭКБ заданного типа в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям осуществляется в два этапа:

- а) Определение параметров (обучение) алгоритма АГ с применением ОВ.
- б) Тестирование обученного алгоритма АГ на ТВ.

4.4.1. Определения параметров алгоритмов автоматической группировки элементов партий электронных компонентов

В данном разделе приведены примеры определения параметров (обучения) алгоритма АГ в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям (Alg_{AG}^{ed}) для четырех типов ЭКБ.

Для определения наиболее эффективного варианта нормирования характеристик (ТП) элементов все расчеты приведены для трех основных способов нормирования (см. раздел 1.4.2):

- а) Для каждого ТП в качестве ДН выбирается его ДЗ (ДН=ДЗ).
- б) Определение ДН комбинированным способом с использованием СКО ТП ОВ (ДН=3·СКО_{ОВ}*).
- в) Определение ДН комбинированным способом с использованием СКО ТП партии ЭКБ (ДН=3·СКО_{ОВ}*).

В качестве вектора показателей эффективности деления V_{ed} принимается вектор: $V_{ed} = (Pr_{min}^{el}, Pr_{sd}, KS, k_{sep}^{d/r}, k_{sep}^{d/l})$ (2.2.10).

Для заданного вектора V_{ed} область эффективного деления S_{ed} имеет вид: $S_{ed} = (Pr_{min}^{el} = B_{el}^{min}; Pr_{sd} = B_{sd}; KS \geq B_{KS}; k_{sep}^{d/r} \geq B_{sep}^{d/r}; k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l})$ (2.2.67).

Границы области S_{ed} задаются вектором B_{ed} : $B_{ed} = (B_{el}^{min}, B_{sd}, B_{KS}, B_{sep}^{d/r}, B_{sep}^{d/l})$ (2.2.68), параметры которого определяются алгоритмами (2.2.69)-(2.2.74).

В качестве базового алгоритма Alg_{AG} для алгоритма АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям Alg_{AG}^{ed} применяется разработанный автором алгоритм АГ на базе последовательных слияний, представленный в работе [51], где оптимальный вариант АГ соответствует варианту максимально значения целевой функции, в качестве которой выступает критерий «Силуэт» KS.

В соответствии с методикой, изложенной в Разделе 2.1.3, определение параметров алгоритмов АГ Alg_{AG}^{ed} для каждого типа ЭКБ осуществляется с применением ОВ и OB_p .

Каждая ОВ состоит из восьми обучающих множеств ОМ - партий ЭКБ заданного типа, прошедших ДИ в АО «ИТЦ – НПО ПМ». Каждое OM_p , входящее в состав OB_p – это часть соответствующего ОМ, входящего в состав ОВ, определенная в соответствии с методикой, приведенной в Разделе 2.1.3.

ОМ, входящие в состав ОВ, удовлетворяют следующим требованиям:

- экспертно определены как однородные;
- принадлежат разным производственным партиям.

Выполнение второго условия обеспечивается выбором ОМ, имеющих максимально отличные друг от друга даты изготовления.

Параметры $N_{min}^{el.g}$, KS_{min}^{lim} , KS_{max}^{lim} , λ_{ks} и $B_{sep}^{d/r}$ алгоритмов (2.2.69)-(2.2.74) определения границ B_{ed} области качественного деления S_{ed} имеют постоянное значение для всех типов ЭКБ и задаются, исходя из опыта работы: $N_{min}^{el}=10$; $KS_{min}^{lim}=0,3$; $KS_{max}^{lim}=0,8$; $\lambda_{ks}=0,6$; $B_{sep}^{d/r}=0,1$.

Параметры β_{ks} , α_{ks} , $B_{sep}^{d/l}$ $k_{sep.ks}^{d/r}$ алгоритмов (2.2.69) - (2.2.74) для каждого типа ЭКБ определяются в процессе обучения в соответствии с приведенной в Разделе 2.1.3 методикой.

Для подтверждения эффективности работы обученных алгоритмов АГ Alg_{AG}^{ed} используются ТВ, состоящие из четырех ТМ - партий ЭКБ заданного типа, прошедших ДИ в АО «ИТЦ – НПО ПМ». Все ТМ, входящие в состав ТВ, соответствуют требованиям, предъявляемым ОМ, входящим в состав ОВ. Дополнительно должно выполняться условие: ОВ и ТВ – не должны пересекаться.

В таблицах, указывающих сведения о партиях ОВ и ТВ, используются следующие обозначения:

- п.н. – порядковый номер;
- Инд – обозначение партии (введен для удобства);

- КП – код партии – номер партии, выдаваемый заводом-изготовителем;
- ДИ – дата изготовления: первые две цифры – год изготовления, вторые две цифры – порядковый номер недели (от начала года) изготовления партии;
- КВИ – код вида испытания;
- КРРИ – номер карты регистрации результатов испытаний;
- ДИсп – дата испытаний партии ЭКБ;
- $N_{эл}$ – количество элементов в испытываемой партии.

В таблицах, содержащих результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p , параметры KS , $k_{sep}^{d/r}$ и $k_{sep}^{d/l}$ соответствует оптимальному варианту АГ. Так же в этих таблицах применяются следующие обозначения:

- П – обозначение ОМ, OM_p или парных объединений этих множеств;
- О/НО – признак, определяющий результат АГ партии П: О – партия П определена как однородная, НО – партия П определена как неоднородная;
- I_R – индекс Рэнда, исчисляемый для оценки эффективности АГ;
- X_q – OM_p , являющееся частью ОМ, имеющим обозначение X.

Результаты обучения алгоритмов АГ для ЭКБ 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В приведены в Приложениях А-Г, соответственно.

4.4.2. Сравнительный анализ результатов автоматической группировки разных типов электронных компонентов

В Таблице 4.4.1 приведены сводные результаты обучения алгоритмов АГ четырех типов ЭКБ: 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В при индивидуальной для каждого типа ЭКБ подборе параметров алгоритма.

Таблица 4.4.1 - Сводные результаты обучения алгоритма АГ по ОВ

Тип ЭКБ	Кол. ТП	Индекс Рэнда - I_R^{OB}		
		ДН=ДЗ	ДН=3·СКО _{ов} *	ДН=3·СКО _п *
140УД25А	9	0,533	0,735	0,819
2ДШ2150АС9	14	0,755	0,849	0,851
1526ЛА10	60	0,882	0,873	0,921
564ЛА7В	134	0,853	0,945	0,946
Ср. знач.	54	0,756	0,851	0,884

В Таблице 4.4.2 приведены сводные результаты обучения и тестирования алгоритма АГ по ОВ и ТВ при ДН=3·СКОп*.

Таблица 4.4.2 - Сводные результаты обучения и тестирования алгоритма АГ по ОВ и ТВ при ДН=3·СКОп*

Тип ЭКБ	Кол. ТП	I_R^{OB}	I_R^{TB}	$I_R = \min(I_R^{OB}, I_R^{TB})$
140УД25А	9	0,819	0,931	0,819
2ДШ2150АС9	14	0,851	0,891	0,851
1526ЛА10	60	0,921	1,000	0,921
564ЛА7В	134	0,946	1,000	0,946
Ср. знач.	54	0,884	0,956	0,884

Далее проведем сравнение результатов, полученных с применением разработанного в диссертации алгоритма АГ - Alg_{AG}^{ed} , с результатами, полученными с применением предшествующих методов. Для этого в диссертации проведены расчеты АГ ОВ и ТВ исследуемых партий ЭКБ алгоритмом Alg_{AG}^{KS} , где вектор V_{ed} показателей эффективности разделения на группы состоит из одного показателя KS - критерия «Силуэт», а область S_{ed} эффективного разделения на группы определяется соотношением: $KS \geq KS_{min}$. Здесь: KS_{min} – пороговое значение параметра KS, определенное из условия определения ОМ и ТМ, входящих в состав ОВ и ТВ, соответственно, как однородных множеств. В Таблице 4.4.3 представлено сравнение результатов АГ, полученных алгоритмами Alg_{AG}^{KS} и Alg_{AG}^{ed} .

Таблица 4.4 3 - Сравнение результатов АГ, полученных алгоритмами Alg_{AG}^{KS} и Alg_{AG}^{ed}

Тип ЭКБ	$I_R(Alg_{AG}^{KS})$	$I_R(Alg_{AG}^{ed})$	$\Delta = I_R(Alg_{AG}^{ed}) - I_R(Alg_{AG}^{KS})$
140УД25А	0,662	0,819	0,157
2ДШ2150АС9	0,341	0,851	0,510
1526ЛА10	0,585	0,921	0,336
564ЛА7В	0,607	0,946	0,339
Ср. значение	0,549	0,884	0,336

На основании данных Таблиц 4.4.1-4.4.3 можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

1) Наибольшая эффективность АГ обеспечивается при нормировании характеристик (ТП) ЭКБ комбинированным способом (ДН=3·СКОп*).

2) Алгоритмы АГ при ДН=3·СКОп* обеспечивают АГ электронных компонентов в группы, соответствующие разным производственным партиям, с эффективностью от 0,819 (для операционных усилителей 140УД25А) до 0,946 (для микросхем 564ЛА7В). При этом, средняя эффективность АГ по исследуемым типам ЭКБ составляет 0,884.

3) Применение предложенных в диссертации алгоритмов АГ приводит к увеличению среднего значения эффективности группировки по индексу Рэнда с 0,549 до 0,884.

4.4.3. Автоматическая группировка электронных компонентов с применением универсальных коэффициентов алгоритмов

На практике далеко не всегда есть возможность осуществлять обучение алгоритмов АГ по ОБ, в первую очередь, по причине их отсутствия. В этом случае АГ можно осуществлять с применением универсальных значений расчетных коэффициентов α_{ks} , β_{ks} , $B_{sep}^{d/l}$, $k_{sep.ks}^{d/r}$, в качестве которых можно использовать их средние значения, приведенные в Таблице 4.4.4.

Таблице 4.4.4 - Расчет средних значений коэффициентов алгоритма АГ при ДН=3·СКОп

Тип ЭКБ	Кол. ТП	α_{ks}	β_{ks}	$B_{sep}^{d/l}$	$k_{sep.ks}^{d/r}$
140УД25А	9	0,0015	0,55	0,3	0,3
2ДШ2150АС9	14	0,0015	0,75	0,7	0,35
1526ЛА10	60	0,0015	0,75	0,7	0,35
564ЛА7В	134	0,0015	0,75	0,7	0,35
Ср. значения	54	0,0015	0,7	0,6	0,34

В Таблице 4.4.5 приведены сравнительные результаты АГ при расчетных коэффициентах и универсальных коэффициентах алгоритмов.

Таблица 4.4.5 - Сравнение результатов АГ партий ЭКБ при применении расчетных и универсальных коэффициентов алгоритмов АГ

Тип ЭКБ	Кол ТП	Расчетные коэффициенты			Универсальные коэффициенты		
		I_R^{OB}	I_R^{TB}	I_R	I_R^{OB}	I_R^{TB}	I_R
140УД25А	9	0,819	0,931	0,819	0,588	0,745	0,588
2ДШ2150АС9	14	0,851	0,891	0,851	0,848	0,891	0,848
1526ЛА10	60	0,921	1,000	0,921	0,869	1,000	0,869
564ЛА7В	134	0,946	1,000	0,946	0,931	1,000	0,931

На основе данных Таблицы 4.4.5 можно сделать вывод:

1) При наличии большого числа характеристик – ТП (не менее 14), АГ в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям без существенного снижения эффективности можно осуществить с применением универсальных коэффициентов.

Впрочем, требуется дальнейшее более детальное изучение этого вопроса.

4.5. Примеры определения потенциально-ненадежных элементов партий электронных компонентов

Алгоритмы Alg_{EV} определения ЭВ множеств однотипных объектов, подробно рассмотренные в Разделе 3, могут использоваться в технологии тестирования ЭКБ космического применения в качестве алгоритмов выявления потенциально ненадежных элементов (ПН-элементов).

Для иллюстрации применения алгоритмов определения ЭВ для определения ПН-элементов используются электронные компоненты четырех типов: операционные усилители 140УД25А, диодные сборки 2ДШ2150АС9, микросхемы 1526ЛА10 и микросхемы 564ЛА7В. В качестве характеристик элементов партий ЭКБ используются ТП, измеренные в процессе тестовых испытаний в АО «ИТЦ – НПО ПМ».

Данные примеры выбраны случайным образом. С единственной оговоркой: количество используемых ТП в этих партиях разное и покрывает, практически, весь спектр возможных вариантов: 140УД25А – 9 ТП, 2ДШ2150АС9 – 14 ТП, 1526ЛА10 – 60 ТП, 564ЛА7В – 134 ТП.

Выбор алгоритмов определения ЭВ партий ЭКБ заданного типа осуществляется в два этапа:

- а) Выбор алгоритмов и их параметров (обучение) обеспечивающих наиболее эффективное определение ЭВ с применением ОБ.
- б) Тестирование обученных алгоритмов определения ЭВ на ТВ.

4.5.1. Выбор алгоритмов определения элементов-выбросов

В данном Разделе приведены примеры выбора наиболее эффективного алгоритма определения ЭВ и его параметров для партий 4-х типов ЭКБ: 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В.

Для определения ЭВ применяются алгоритмы Alg_{EV} , приведенные в Разделе 3:

- Алг.1($3\sigma_R$) – это Алгоритм 1 при $k_R=3$;
- Алг.1($2\sigma_R$) – это Алгоритм 1 при $k_R=2$;
- Алг.2 – это Алгоритм 2 Вариант Б;
- Алг.3 – это Алгоритм 3.

Настройка параметров алгоритмов Alg_{EV} и оценка их эффективности проводится в соответствии с приведенной в Разделе 3 методикой с проведением процедуры обучения на базе обучающей выборки - ОВ и дополненной обучающей выборки - ДОВ.

ОВ состоит из восьми обучающих партий, ДОВ состоит из 56-и дополненных партий - партии ОВ, дополненных пятью элементами других партий ОВ.

Партии ОВ должны обладать следующими свойствами:

Все партии ОВ должны быть определены экспертным путем как не содержащие ЭВ.

Партии ОВ должны быть подобраны так, чтобы они принадлежали разным производственным партиям.

Выполнение второго условия достигается выбором партий ОВ с максимально удаленными датами изготовления.

В качестве ОВ может быть приняты ОВ, используемые для определения однородности партий ЭКБ. При этом, для обеспечения свойства 1) партии ОВ должны пройти предварительную процедуру редуцирования, т.е. исключения из их состава элементов, определенных как ЭВ экспертным путем.

Суть процедуры обучения заключается в том, чтобы алгоритмы Alg_{EV} определяли партиях ОВ как партии, в которых отсутствуют ЭВ, а в дополненных партиях ОВ_д выявляли в качестве ЭВ подмешанные элементы других партий ОВ с максимальной эффективностью.

Пять элементов партий ОВ, предназначенных для дополнения в партии ОВ_д выбираются из окрестности центра партий (с минимальными значениями радиусов R_i элементов).

Для оценки эффективности обучения алгоритма Alg_{EV} вводятся показатели эффективности обучения алгоритма определения ЭВ: Pc_{ER}^{OB} – средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОВ и ДОВ; Pc_{EV}^{OB} – средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ.

В процессе обучения, исходя из условия максимальной эффективности работы алгоритма, определяется также минимальное значение параметра dR_{EV} для Алг.2 - dR_{EV}^{min} и минимальное значение параметра dp_{EV} для Алг.3 - dp_{EV}^{min} .

Для подтверждения эффективности работы алгоритма Alg_{EV} определения ЭВ применяется ТВ - некоторый специально подобранный набор партий ЭКБ заданного типа. К партиям ТВ предъявляются те же требования, что и к партиям ОВ. При этом, ОВ и ТВ не должны пересекаться между собой. В качестве ТВ для тестирования алгоритмов

определения ЭВ применяется ТВ, используемая для тестирования алгоритмов АГ. В соответствии с методикой, изложенной Разделе 3, на базе ТВ формируется ДТВ.

ТВ состоит из четырех тестовых партий, ДТВ состоит из 12-и дополненных партий - партии ТВ, дополненных пятью элементами других партий ТВ.

Для оценки эффективности обучения алгоритма Alg_{EV} вводятся показатели: Pc_{ER}^{TB} - средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ТВ и ДТВ; Pc_{EV}^{TB} - средняя доля верно определенных ЭВ по ДТВ.

В таблицах, содержащих результаты определения ЭВ партий ОВ и ДОВ, применяются следующие обозначения:

A, B, C, D, F, H, I, K (A, B, B, G, D, E, Ж, K) – индекс, введенный для обозначения партий ОВ;

L_J – обозначение партий, принадлежащих ДОВ: L – индекс партии ОВ, J – индекс партии ОВ, пятью элементами которой дополнена партия L;

$N_{эл}$ – количество элементов соответствующей партии;

R_{max} – максимальное значение радиусов R_i элементов e_i соответствующей партии;

R_{EV} – граничное значение радиусов R_i элементов e_i при определении ЭВ алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг 1($2\sigma_R$);

dR_{max} – максимальное значение приращения радиусов dR_i элементов e_i соответствующей партии при определении ЭВ алгоритмом Алг.2;

dp_{max} – максимальное значение приращения проекции радиусов dp_i элементов e_i при определении ЭВ алгоритмом Алг.3;

dR_{EV} – граничное значение приращения радиусов dR_i элементов e_i при определении ЭВ алгоритмом Алг.2;

dp_{EV} – минимальное значение приращения проекций радиусов dp_i элементов e_i при определении ЭВ алгоритмом Алг.3;

Pc_{ERp}^{OB} – доля ошибочно определенных ЭВ для партии, принадлежащей ОВ или ДОВ (%);

Pc_{ER}^{OB} – средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОВ или ДОВ (%);

Pc_{EVp}^{OB} – доля верно определенных ЭВ для партии, принадлежащей ОВ или ДОВ (%);

Pc_{EV}^{OB} – средняя доля верно определенных ЭВ по ОВ или ДОВ (%).

Результаты обучения алгоритмов определения ЭВ для ЭКБ 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В приведены в Приложениях А-Г, соответственно.

4.5.2. Сравнительный анализ результатов определения элементов-выбросов партий электронных компонентов

В Таблицах 4.5.1-4.5.3 представлены сводные результаты обучения и тестирования алгоритмов определения ЭВ для партий ЭКБ: 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В.

Таблица 4.5.1 - Результаты обучения алгоритмов определения ЭВ по ОВ

Тип ЭКБ	Алг.1($k_R=3\sigma_R$)		Алг.1($k_R=2\sigma_R$)		Алг.2		Алг.3	
	P_{ER}^{OB}	P_{EV}^{OB}	P_{ER}^{OB}	P_{EV}^{OB}	P_{ER}^{OB}	P_{EV}^{OB}	P_{ER}^{OB}	P_{EV}^{OB}
140УД25А	0,0	16,1	0,6	55,4	0,1	37,5	0,0	69,6
2ДШ2150АС9	0,1	68,9	1,1	82,9	0,1	73,9	0,0	75,0
1526ЛА10	0,3	65,7	1,2	87,1	0,6	67,9	0,1	85,7
564ЛА7В	0,0	89,3	0,2	96,8	0,0	91,1	0,0	92,9
Ср. значение	0,2	60,0	4,0	80,6	0,2	67,9	0,03	80,8

Таблица 4.5.2 - Результаты тестирования алгоритмов определения ЭВ:
Алг.1($k_R=3\sigma_R$) и Алг.1($k_R=2\sigma_R$) по ТВ

Тип ЭКБ	Алг.1($k_R=3\sigma_R$)		Алг.1($k_R=2\sigma_R$)	
	P_{ER}^{TB}	P_{EV}^{TB}	P_{ER}^{TB}	P_{EV}^{TB}
140УД25А	0,0	37,7	2,4	75,0
2ДШ2150АС9	0,0	50,0	1,4	55,0
1526ЛА10	0,0	98,0	3,3	100,0
564ЛА7В	0,0	60,0	1,1	100,0
Ср. значение	0,0	61,4	2,1	82,5

Таблица 4.5.3. - Результаты тестирования алгоритмов определения ЭВ:
Алг.2 и Алг.3 по ТВ

Тип ЭКБ	Алг.2		Алг.3	
	P_{ER}^{TB}	P_{EV}^{TB}	P_{ER}^{ev}	P_{EV}^{ev}
140УД25А	0,1	66,7	0,0	75,0
2ДШ2150АС9	0,0	75,0	0,0	100,0
1526ЛА10	0,0	100,0	0,2	100,0
564ЛА7В	0,0	100,0	0,0	100,0
Ср. значение	0,03	85,4	0,04	93,8

По результатам обучения алгоритмов определения ЭВ партий ОВ ЭКБ 140УД25А, 2ДШ2150АС9, 1526ЛА10 и 564ЛА7В можно сделать следующие выводы:

1) Наилучший по эффективности выявления ЭВ результат дает Алгоритм 3, для которого средняя доля выявления ЭВ составляет 80,8%, при средней доле ошибочно определенных ЭВ - 0,03%.

2) Второй по эффективности выявления ЭВ результат дает Алгоритм 2, для которого средняя доля выявления ЭВ составляет 67,9%, при средней доле ошибочно определенных ЭВ - 0,2%.

3) Алгоритм 1($k_R=2\sigma_R$) несмотря на то, что дает хорошую среднюю долю выявления ЭВ - 80,6%, сильно уступает Алгоритмам 2 и 3 по средней доле ошибочно определенных ЭВ – 0,8%.

4) Алгоритм 3 более чувствителен к настройкам, чем Алгоритм 2, поэтому, если нет возможности проведения процедуры обучения по ОБ, то целесообразно применять Алгоритм 2.

Предложенные в работе алгоритмы Alg_{EV} определения ЭВ предполагается использовать в качестве дополнительных алгоритмов к алгоритму Alg_{EV}^{TP} , применяемому в технологии испытаний ЭКБ космического применения, который осуществляет определения ЭВ, по каждой характеристике (ТП), в отдельности.

В Таблице 4.5.4 приведен расчет эффекта от применения алгоритма Alg_{EV} .

В Таблице 4.5.4 применяются следующие обозначения: Alg_{EV}^{SUM} – алгоритм определения ЭВ, состоящий из совместного использования алгоритмов Alg_{EV}^{TP} и алгоритма Alg_{EV} , Δ - дополнительная доля (в %) определения ЭВ, полученный за счет дополнительного применения алгоритма Alg_{EV} .

Таблица 4.5.4 - Результаты применения алгоритмов определения ЭВ

Тип ЭКБ	Процент верно определенных ЭВ - Pc_{EV}			
	Alg_{EV}^{TP}	Alg_{EV}	Alg_{EV}^{SUM}	Δ
140УД25А	62,5	69,6	82,1	19,6
2ДШ2150АС9	79,3	75,0	89,3	10,0
1526ЛА10	88,9	85,7	92,1	3,2
564ЛА7В	97,5	92,9	98,9	1,4
Ср. значение	82,1	80,8	90,6	8,6

На основании данных Таблицы 4.5.4 можно сделать следующий ВЫВОД:

Применение предложенных в диссертации алгоритмов определения ЭВ в дополнение к существующим алгоритмам определения ЭВ для заданных 4-х типов ЭКБ повышает долю выявленных ЭВ в среднем на 8,6%.

Результаты Раздела 4

Раздел 4 посвящен применению разработанных в диссертации алгоритмов в технологическом процессе дополнительных испытаний ЭКБ космического применения.

Предложенные алгоритмы использоваться для АГ элементов партий ЭКБ в обособленные группы, соответствующие разным производственным партиям. Такая процедура имеет наиважнейшее значение при проведении разрушающих испытаний. Разрушающие испытания – это составная часть дополнительных испытаний ЭКБ космического применения, проводимая с целью с целью оценки качества изготовления элементов.

Разрушающие испытания основаны на нарушении целостности испытываемых элементов, что приводит к невозможности их дальнейшего использования. В связи с этим, разрушающие испытания проводятся на специально сформированных из элементов испытываемых партий ЭКБ тестовых выборках, с дальнейшим распространением результатов разрушающих испытаний на всю партию. Эта процедура правомочна, если вся испытываемая партия ЭКБ принадлежит одной производственной партии.

Если же испытываемая партия электронных компонентов делится на две и более группы, соответствующие разным производственным партиям, то разрушающие испытания должны проводиться для каждой такой группы в отдельности, с распространением полученных результатов только на соответствующую группу элементов.

К сожалению, по факту, в силу определенных объективных и субъективных причин, элементы поступающих в ИТЦ партий ЭКБ далеко не всегда принадлежат одной производственной партии. В связи с чем, возникает необходимость в процедуре предварительной группировки электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям. Предложенные автором алгоритмы АГ позволяют осуществить эту процедуру с заданной эффективностью.

Разработанные автором алгоритмы определения ЭВ применяются при проведении дополнительных испытаний ЭКБ космического применения в качестве дополнительных алгоритмов определения потенциально ненадежных элементов, что приводит к повышению эффективности выявления этих элементов.

Для подтверждения работоспособности предложенных алгоритмов АГ в Разделе 4 приведены примеры их применения для четырех типов ЭКБ: операционных усилителей 140УД25А, диодных сборок 2ДШ2150АС9, микросхем 1526ЛА10 и микросхем 564ЛА7В. Приведенные примеры подтвердили работоспособность предложенных алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цели диссертации достигнуты путем решения поставленных задач, а именно:

Разработан новый метод АГ элементов множеств однотипных объектов, осуществляющий поиск условно оптимального варианта кластеризации, обеспечивающего заданную эффективность разделения на группы.

В соответствии с этим методом требования по эффективности кластеризации задаются специально введенными характеристиками - вектором показателей эффективности разделения на группы и областью эффективного деления, границы которой определяются с применением размеченных обучающих выборок.

С целью определения групп, для каждой из которых необходимо проведение выборочных разрушающих испытаний, на базе метода п.1 разработан новый алгоритм АГ электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям, основанный на анализе внутрикластерных расстояний в многомерном пространстве характеристик элементов.

Внедрение данного алгоритма в технологический процесс испытаний ЭКБ космического применения позволяет осуществлять разделение элементов испытываемых партий электронных компонентов на группы в соответствии с принадлежностью к разным производственным партиям, с целью дальнейшего проведения выборочных разрушающих испытаний для каждой группы в отдельности. Решение этой задачи с применением предложенного алгоритма приводит к повышению обоснованности интерпретации результатов выборочных разрушающих испытаний, т.к., как показывают исследования, условие принадлежности всех элементов испытываемой партии ЭКБ одной производственной партии, в силу определенных субъективных и объективных причин, выполняется далеко не всегда, а других способов независимой верификации этого условия нет.

Для подтверждения работоспособности предложенного алгоритма в диссертации приведены примеры АГ электронных компонентов в группы, соответствующие разным производственным партиям для 4-х типов ЭКБ. Анализ полученных результатов показал, что разработанные алгоритмы обеспечивают АГ электронных компонентов в группы, соответствующие разным производственным партиям с минимальной эффективностью по индексу Рэнда 0,846. При этом, средняя эффективность алгоритма АГ составила 0,898, что значительно эффективнее алгоритма АГ, использующего одиночный показатель эффективности деления – критерий «Силуэт» - 0,549.

Разработаны новые алгоритмы определения элементов-выбросов, как элементов, являющихся носителями накопительного (кумулятивного) эффекта от суммарных отклонений характеристик элементов от их средних по партии значений, которые используются для выявления в составе партии ЭКБ потенциально ненадежных элементов. Определение параметров алгоритмов, обеспечивающих их максимальную эффективность, осуществляется с применением размеченных обучающих выборок.

Для подтверждения работоспособности разработанной методики в диссертации приведены примеры определения элементов-выбросов для 4-х типов ЭКБ. Как показывают проведенные в диссертации исследования, применение разработанных алгоритмов в дополнение к действующему в настоящее время алгоритму выявления элементов-выбросов по каждому тестовому параметру в отдельности, позволяет повысить суммарную эффективность выявления элементов-выбросов в среднем на 8,6%.

Результаты, изложенные в диссертации, имеют непосредственное практическое применение: приведенные алгоритмы в настоящее время проходят экспериментальную отработку в АО «ИТЦ – НПО ПМ» г. Железногорск с дальнейшим внедрением их в технологический процесс испытаний ЭКБ космического применения. В перспективе предполагается внедрить эту методику во всех ИТЦ, входящих в состав Госкорпорации «Роскосмос».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sokal, R. R. Principles of Numerical Taxonomy / R. R. Sokal, P. H. Sneath // - Freeman, London. - 1963. - P. 359
2. Liu, B. Web Data Mining. - 2nd ed./ B. Liu // - Berlin: Springer - 2011. - P. 624
3. Бериков, В.Б. Современные тенденции в кластерном анализе / В.Б. Бериков, Г.С. Лбов // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы". Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН.- 2008.- С.26. [Электронный ресурс] Режим доступа URL <http://www.ict.edu.ru/ft/005638/62315e1-st02.pdf> (дата обращения 21.07.2014).
4. Ким, Дж.-Л. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У.Р. Клекка, М.С. Олдендерфер, Р.К. Блэшфилд, - М.: Финансы и статистика. -1989.- С.- 215.
5. Hand, D. J.: Discrimination and Classification. John Wiley & Sons, / D. J. Hand // Chichester. -1981. - P. 218.
6. McLachlan, G. J. Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition: McLachlan/Discriminant Analysis & Pattern Recog. / G. J. McLachlan //- Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., - 1992. - P. 526.
7. Bonner, R. E. On Some Clustering Techniques / R. E. Bonner // IBM Journal of Research and Development. - 1964. - Vol.8, iss. 1. - P. 22-32.
8. Cormack, R. M. A Review of Classification / R. M. Cormack // Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General). - 1971. - Vol.134, iss. 3. - P. 321.
9. Gordon, A. D. Classification (2nd edn). / R. M. Gordon // Chapman and Hall/CRC. - 1999.- P. 272.
10. Green, P. E. Cluster Analysis in Test Market Selection / P. E. Green, R. E. Frank., P. J. Robinson // Management Science. - 1967. - Vol. 13, iss. 8. - P. 387-400.
11. Chakrapani, C. Statistics in Market Research. / C. Chakrapani // Arnold, London. - 2004.- P. 630.
12. Faundez-Abans, M. Classification of planetary nebulae by cluster analysis and artificial neural networks / M. Faundez-Abans, M. I. Ormeno, M. de Oliveira-Abans // Astronomy and Astrophysics Supplement Series. - 1996. - Vol.116, iss. 2. - P. 395-402.

13. Ward, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function (англ.) / J. H. Ward // Journal of the American Statistical Association. - 1963. - Vol. 58, iss. 301. - P. 236-244.
14. Celeux, G. A classification EM algorithm for clustering and two stochastic versions / G. Celeux, G. Govaert // Computational Statistics and Data Analysis. - Vol.4. - P.315-332.
15. Pilowsky, I. The Classification of Depression by Numerical Taxonomy / I. Pilowsky, S. Levine, D. M. Boulton // British Journal of Psychiatry. - 1969. - Vol. 115, iss. 525. - P. 937-945.
16. Wallace, C. R. An Information Measure for Classification / C. R. Wallace, D. M. Boulton // The Computer Journal. - 1968. - Vol. 11, iss. 2. - P. 185-194.
17. Paykel, E. S. Classification of Suicide Attempters by Cluster Analysis / E. S. Paykel, E. Rassaby // British Journal of Psychiatry. - 1978. - Vol. 133, iss. 1. - P. 45-52.
18. Littmann, T. An empirical classification of weather types in the Mediterranean Basin and their interrelation with rainfall / T. Littmann // Theoretical and Applied Climatology. - 2000. - Vol. 66, iss. 3-4. - P. 161-171.
19. Liu, S. Mining Weather Data Using Fuzzy Cluster Analysis / S. Liu, R. George // Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems / Frederick E. Petry, Vincent B. Robinson, Maria A. Cobb. - Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. -2005. - P. 105-119.
20. Huth, R. Weather categorization based on the average linkage clustering technique: An application to European mid-latitudes / R. Huth, I. Nemesova, N. Klimperova // International Journal of Climatology. - 1993. - Vol. 13, iss. 8. - P. 817-835.
21. The array of today: biomolecule arrays become the 21st century test tube / J. D. Cortese // The Scientist. - 2000. - Vol.14. - P.25.
22. Selinski, S. Cluster Analysis of Genetic and Epidemiological Data in Molecular Epidemiology / S. Selinski, K. Ickstadt // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. - 2008. - Vol. 71, iss. 11-12. - P. 835-844.
23. Eisen, M. B. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns / M. B. Eisen, P. T. Spellman, P. O. Brown, P. O. Botstein // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 1998. - Vol. 95, iss. 25. - P. 14863-14868.
24. Witten, D. M. Supervised multidimensional scaling for visualization, classification, and bipartite ranking / D. M. Witten, R. Tibshirani // Computational Statistics & Data Analysis. - 2011. - Vol. 55, iss. 1. - P. 789-801.
25. Горлов, М. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надежности партий ИС. / М. Горлов, Л. Ануфриев, А. Строгонов // Chip News. №5.

- 2001 [Эл. ресурс] Режим доступа: URL
http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01_05/stat-5.htm, 21.11.2022.
26. Федосов, В.В. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах / В.В. Федосов, В.Е. Патраев, // Авиакосмическое приборостроение. - 2006. - № 10. - С. 50-55.
 27. Орлов, В.И. Качество электронной компонентной базы – залог длительной работоспособности космических аппаратов / В.И. Орлов, В.В. Федосов // Решетневские чтения. - 2013. - Т.1, №17. - С.238-241.
 28. Ester, M. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise / M.A. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, X. Xu // Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). AAAI Press. - 1996.- P. 226-231.
 29. Ester M. Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise / M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, X. Xu // KDD-96 Proceedings. [s. 1.] : [s. n.], - 1996.- P. 226-231.
 30. Frank I. E. Data Analysis / I. E. Frank, R. Todeschini //Handbook. [s. 1.] : Elsevier Science Inc. -1994.- P. 227-228.
 31. Справочник по прикладной статистике / под ред. Ллойда, Э. / Э. Ллойда, У. Ледермана, С.А. Айвазяна и др //М.: Финансы и статистика. -1989.- Т.1.- С. 510.
 32. Parzen, E. On Estimation of a Probability Density, Function and Mode / E. Parzen // IEEE Transactions on Information Theory. - 1982.- Vol. 4, № 6. - P. 663-666.
 33. Епанечников, В.А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности / В.А. Епанечников // ТВиП. - 1969.- Т. 14 - С. 156-161.
 34. Медведев, А. В. Непараметрические оценки плотности вероятности и ее производных / А.В. Медведев // Автоматизация промышленного эксперимента. Фрунзе: Илим. - 1973.- С. 22-31.
 35. Иванова, Н. В. Определение параметров сглаживания в непараметрических оценках функции плотности по выборке. Математическая статистика и ее приложения. / Н.В. Иванова, К.Т. Протасов // Томск: Изд-во Томск. Гос. ун-та. - 1982.- Вып. 8.- С. 50-65.
 36. Надарая, Э. А. Об оценке регрессии / Э.А. Надарая // ТВиП. -1964.- Т.9, №1. - С. 157-159.

37. Sage A. P. System Identification / A. P. Sage, J. L. Melsa.// [s 1.] : Chu I. - 1971.- P.221.
38. Bellman R. E. Dynamic Programming. NJ, Princeton: Princeton University Press. - 1957.- P. 392.
39. Коплярова, Н. В. О непараметрических моделях в задаче диагностики электрорадиоизделий / Н. В. Коплярова, В. И. Орлов, Н. А. Сергеева, В. В. Федосов // Заводская лаборатория: диагностика материалов. - 2014.- №80(7) - С. 37-77.
40. Рубан, А. И. Идентификация и чувствительность сложных систем. / А.И. Рубан // Томск : Изд-во Томск. Гос. ун-та. - 1982. - С. 302.
41. Blei, D. M. Latent dirichlet allocation / D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan // J. Machine Learn. Res. -2003.- Vol. 3.- P. 993-1022.
42. Li, W. Pachinko allocation: Dag-structured mixture models of topic correlations / W. Li, A. McCallum // Proc. 23rd Internat. Conf. on Machine Learning. [s.1.] : [s.n.]. - 2006.- P. 577-584.
43. Welling, M. Exponential family harmoniums with an application to information retrieval / M. Welling, M. Rosen-Zvi, J. Hinton // Adv. Neural Inform. Process. Systems. - 2005.- Vol. 17. - P. 1481-1488.
44. Mohd W. M. An Improved Parameter less Data Clustering Technique based on Maximum Distance of Data and Lloyd k-means Algorithm / W. M. B. W. Mohd, A. H. Beg, T. Herawan, K. F. Rabbi // First World Conference on Innivation and Computer Science (INCODE 2011). [s. 1.] : [s. n.]. - 2012.- Vol. 1. - P 367-371. DOI:10.1016/j-protcy. 2012.02.076.
45. Долгушев, А. В. К вопросу об алгоритмической сложности одной задачи кластерного анализа / А. В. Долгушев, А. В. Кельманов // Дискретный анализ и исследование операций. -2010. -Т. 17, №2. -С. 39-45.
46. Bandyopadhyay S. An evolutionary technique based on K-Means algorithm for optimal clustering / S. Bandyopadhyay, U. Maulik // Information sciences. -2002. -Vol. 146.- P. 221-237.
47. Zhou, H. Accurate integration of multi-view range images using k-means clustering / H. Zhou, Y. Liu // Pattern Recognition. - 2008. - Vol. 41.- P. 152-175.
48. Dunham, M. H. Data Mining: Introductory and advance topics / M. H. Dunham // New York: Prentice Hall, -2003.- P 315.
49. Lloyd, S. P. Least Squares Quantization in PCM / S. P. Lloyd // IEEE Transactions on Information Theory. -1982. -Vol. 28.- P. 129-137.

50. Загоруйко, Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. / Н. Г. Загоруйко // Новосибирск: ИМ СО РАН. -1999.- С. 270.
51. Belacel, N. Fuzzy, J-Means: a new heuristic for fuzzy clustering / N. Belacel, P. Hansen, N. Mladenovic // Pattern Recognition.- 2002.- Vol.35.- P. 2193-2200
52. Chiang, M. A time-efficient pattern reduction algorithm for k-means clustering / M. Chiang, C. Tsai, C. Yang // Information Sciences. - 2011.- Vol. 181. - P. 716-731.
53. Xu, R. Survey of clustering algorithms / R. Xu, D. Wunsch // IEEE Transaction on Neural Networks. - 2005.- Vol. 16, iss. 3. - P. 645-678.
54. Kazakovtsev, L. A. Greedy heuristic algorithm for solving series of EEE components classification problems / L. A. Kazakovtsev, A. N. Antamoshkin, V. V. Fedosov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. -2016. - Vol. 122. Article ID 012011. - P.7. DOI:10. 1088/1757-899X/122/1/012011.
55. Golovanov, S.M. Sequential agglomerative procedure for sorting a production batch of electronic radio devices into homogeneous groups. / S.M. Golovanov, V.I. Orlov, L.A. Kazakovtsev, V.V. Fedosov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 734, II International Scientific Conference "Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering" - MIST: Aerospace - 2019 18–21 November 2019, Krasnoyarsk, Russia. Article ID 012013, DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012013.
56. Hagen, L. New spectral methods ratio cut partitioning and clustering / L. Hagen, A. B. Kahng // IEEE Trans. Comput. Aid. Des. Integrated Circuits Systems. - 1992. - Vol. 11, iss. 9. - P. 1074-1085.
57. Shi, J. Normalized cuts and image segmentation / J. Shi, J. Malik // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. -2000.- Vol. 22. - P. 888-905.
58. Hakimi, S.L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph / S.L. Hakimi. // Operations Research.- 1964.- Vol. 12, issue 3.- P.450-459.
59. Masuyama, S. The Computational Complexity of the m-Center Problems on the Plane / S. Masuyama, T. Ibaraki, T. Hasegawa // The Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan.- 1981.- Vol. 64E.- P. 57-64.
60. Kuenne, R. E. Exact and Approximate Solutions to the Multisource Weber Problem / R.E. Kuenne, R.M. Soland // Math. Program. - 1972.- Vol 3.- P. 193-209.
61. Ostresh, L. The Stepwise Location-Allocation Problem: Exact Solutions in Continuous and Discrete Spaces / L. Ostresh, // Geogr. Anal. - 1978. -Vol. 10. - P. 174-185.

62. Rosing, K. E. An Optimal Method for Solving the (Generalized) Multi-Weber Problem / K. E. Rosing // *Eur. J. Oper. Res.* - 1992. - Vol.58, - P. 414-426.
63. Resende, M.G.C. Metaheuristic hybridization with Greedy Randomized Adaptive Search Procedures / M.G.C. Resende // *TutORials in Operations Research/ Zhi-Long Chen and S. Raghavan [eds.]*.- INFORMS.- 2008.- P. 295-319
64. Resende, M.G.C. Scatter search and pathrelinking: Fundamentals, advances, and applications / M.G.C. Resende, C.C. Ribeiro, F.Glover, R. Marti // *Handbook of Metaheuristics [2nd Edition] / M. Gendreau and J.-Y. Potvin [eds.]*.- [s.l.]: Springer.- 2010.- P. 87-107
65. Rabbani, M. A Novel Approach for Solving a Constrained Location Allocation Problem // *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 2013. Vol. 4(2), P. 203–214.
66. Fathali, J. The p-Median and p-Center Problems on Bipartite Graphs / J.Fathali, N.J. Rad, S.R. Sherbaf // *Iran. J. Math. Sci. Inform.* – 2014. Vol. 9(2), P. 37–43.
67. Agra, A. A. Decomposition Approach for the p-Median Problem on Disconnected Graphs / A. Agra, J.O. Cerdeira, C. Requejo // *Computers & Operations Research.* - 2017. - Vol. 86. -P. 79-85.
68. Avella, P. An Aggregation Heuristic for Large Scale p-median Problem / P. Avella, M. Boccia, S. Salerno, I. Vasilyev // *Computers & Operations Research.*- 2012.- Vol. 39, issue 7.- P. 1625- 1632, DOI: 10.1016/j.cor.2
69. Avella, P. Computational Study of Large-Scale p-Median Problems / P. Avella, A. Sassano, I. Vasilyev // *Mathematical Programming.*- 2007.- Vol. 109, issue 1.- P. 89-114, DOI: 10.1007/s10107-005-0700-6.
70. Gokalp, O. An Iterated Greedy Algorithm for the Obnoxious p-Median Problem / O. Gokalp // *Eng. Appl. Artif. Intell.* - 2020.- Vol. 92. - P. 103674.
71. Ushakov, A. V. Near-Optimal Large-Scale k-Medoids Clustering / A.V. Ushakov, I. Vasilyev // *Inf. Sci.* -2021. - Vol. 545. - P. 344–362.
72. Vasilyev, I. A Shared Memory Parallel Heuristic Algorithm for the LargeScale p-Median Problem / I. Vasilyev, A. Ushakov // *Optimization and Decision Science: Methodologies and Applications.* – 2017.- Springer International Publishing, Cham. - P. 295- 302.
73. Farahani, R. Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies / R. Farahani and M. Hekmatfar // *Berlin Heidelberg:Springer-Verlag.*- 2009.- P.549.
74. Mladenovic, N. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches / N. Mladenovic, J. Brimberg, P. Hansen, A. Moreno-Perez // *European Journal of Operational Research.* - 2007.- Vol. 179, issue 3.- P.927-939.

75. Reese, J. Solution Methods for the p-Median Problem: An Annotated Bibliography / J. Reese // Networks. -2006. - Vol. 48(3). - P. 125–142.
76. Brimberg, J. A New Local Search for Continuous Location Problems / J. Brimberg, Z. Drezner, N. Mladenovic, S. Salhi // Eur. J. Oper. Res. - 2014. - Vol. 232(2). - P. 256-265.
77. Drezner, Z. New Heuristic Algorithms for Solving the Planar p-Median Problem / Z. Drezner, J. Brimberg, N. Mladenovic, S. Salhi // Comput. Oper. Res. - 2015.- Vol. 62. - P. 296-304.
78. Drezner, Z. Solving the Planar p-Median Problem by Variable Neighborhood and Concentric Searches / Z. Drezner, J. Brimberg, N. Mladenovic, S. Salhi // J. Glob. Optim. -2015. - Vol. 63. - P. 501- 514.
79. Mladenovic, N. Less is more approach: basic variable neighborhood search for the Obnoxious p-Median Problem / M. Mladenovic, A. Alkandari, J. Pei, R. Todosijevic, P.M. Pardalos // Intl. Trans. in Op. Res. - 2018.- Vol. 27(1). - P. 480-493.
80. Mishra, N. Sublinear Time Approximate Clustering / N. Mishra, D. Oblinger, L. Pitt // 12th SODA. – 2001.- P. 439-447.
81. Mu, V. On Solving Large p-Median Problems / V. Mu, D. Tong // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. - 2020. - Vol. 47(6). - P. 981-996.
82. Kaufman, L. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis / L. Kaufman, P.J. Rousseeuw // - New York: Wiley.- 1990.- P.368
83. Eisenbrand, F. Approximating connected facility location problems via random facility sampling and core detouring / F. Eisenbrand, F. Grandoni, T. Rothvoss, G. Schafer // Proceedings of the 19th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2008) - New York: ACM.- 2008.- P. 1174-1183.
84. Jaiswal, R. A Simple D2-Sampling Based PTAS for k-Means and Other Clustering Problems / R. Jaiswal, A. Kumar, S. Sen // Algorithmica. - 2014.- Vol. 70, issue 1.- P. 22-46, DOI: 10.1007/s00453-013-9833-9.
85. Francis, R. L. Aggregation Error for Location Models: Survey and Analysis / R. Francis, T.J. Lowe, M.B. Rayco, A. Tamir // Ann. Oper. Res. - 2009.- Vol. 167. - P. 171-208.
86. Irawan, C. A. Solving Large p-Median Problems by a Multistage Hybrid Approach Using Demand Points Aggregation and Variable Neighbourhood Search / C.A. Irawan, S. Salhi // Journal of Global Optimization. -2014.- Vol. 63. - P. 537-554.
87. Irawan, C. A. An Adaptive Multiphase Approach for Large Unconditional and Conditional p-Median Problems / C.A. Irawan, S. Salhi, M.P. Scaparra // Eur. J. Oper. Res. - 2015.- Vol. 237. - P. 590-605.

88. Hansen, P. Variable Neighborhood Search / P. Hansen, N. Mladenovic // Search Methodology / E.K. Bruke, G. Kendall [eds.].- Springer US.- 2005.- P. 211-238, doi: 10.1007/0-387-28356-0_8 Hansen, P. Variable Neighborhood Search / P. Hansen, N. Mladenovic // Search Methodology / E.K. Bruke, G. Kendall [eds.].- Springer US.- 2005.- P. 211-238, doi: 10.1007/0-387-28356-0_8.
89. Still, S. Geometric Clustering Using the Information Bottleneck Method/ S. Still, W. Bialek, L. Bottou // Advances In Neural Information Processing Systems. - 2004.- Vol. 16. - P.1-120.
90. Sun, Zh. A Parallel Clustering Method Combined Information Bottleneck Theory and Centroid Based Clustering / Zh. Sun, G. Fox, W. Gu, Zh. Li // The Journal of Supercomputing.- 2014.- Vol. 69, No. 1.- P.452-467, DOI: 10.1007/s11227-014-1174-1.
91. Rozhnov, I. P. VNS-Based Algorithms for the Centroid-Based Clustering Problem / , I.P. Rozhnov, V.I. Orlov, L.A. Kazakovtsev // Facta Universitatis Series: Mathematics and Informatics. -2019.- Vol. 34(5). - P. 957-972
92. Arthur, D. k-Means++:R[14]C The Advantages of Careful Seeding /D. Arthur and S. Vassilvitskii// Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete algorithms [SODA '07].- SIAM.- 2007.- P.1027-1035.
93. Baldassi, C. Recombinator-k-Means: Enhancing k-Means++ by Seeding from Pools of Previous Runs. / C. Baldassi // arXiv.org. - 2020. [Электронный ресурс] Режим доступа URL <https://arxiv.org/abs/1905.00531>
94. Hansen, P. Variable neighborhood search: principles and applications / P. Hansen, N. Mladenovic // Eur. J. Oper. Res.- 2001.- Vol.130.- P.449-467.
95. Masone, A. A Graph Clustering Based Decomposition Approach for Large Scale p-Median Problems / A. Masone, A. Sforza, C. Sterle, I. Vasilyev // International Journal of Artificial Intelligence. - 2018.- Vol. 16.- P. 116-129.
96. Agra, A. Solving Huge Size Instances of the Optimal Diversity Management Problem / A. Agra, D. Cardoso, J. Cerdeira, M. Miranda, E. Rocha // J. Math. Sci. - 2009.- Vol. 161. - P. 956-960.
97. Agra, A. Using Decomposition to Improve Greedy Solutions of the Optimal Diversity Management Problem / A. Agra, J.O. Cerdeira, C. Requejo // International Transactions in Operational Research. – 2013. Vol. 20(5), P. 617–625.
98. Kazakovtsev, L.A. Comparative Study of Local Search in SWAP and Agglomerative Neighbourhoods for the Continuous p-Median Problem / L.A. Kazakovtsev, I.P.

Rozhnov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2021.- Vol. 1047(1). - P. 012079.

99. Cooper, L. Location-allocation problem / L. Cooper // Operations Research.- 1964.- Vol. 11.- P. 331-343.
100. Jiang, J. L. A Heuristic Algorithm for Constrained Multi-Source Weber Problem - the Variational Inequality Approach / J.L.Jiang, X.M. Yuan // Eur. J. Oper. Res. - 2007. - Vol. 187(2). - P. 357-370.
101. MacQueen, J.B. Some Methods of Classification and Analysis of Multivariate Observations / J.B. MacQueen // Proceedings of the 5th Berkley Symposium on Mathematical Statistics and Probability.- 1967.- Vol.1.- P.281–297.
102. Lloyd, S.P. Least Squares Quantization in PCM / S.P. Lloyd // IEEE Transactions on Information Theory. - 1982.- Vol. 28.- P. 129-137
103. Ng, A. Y. On spectral clustering: Analysis and algorithm / A. Y. Ng, M. I. Jordan, Y. Weiss // Adv. Neural Inform. Process. Systems. [s.1.]: MIT Press. - 2001.- Vol. 14.- P. 849-856.
104. Hofmann, T. Pairwise data clustering by deterministic annealing / T. Hofmann, J. M. Buhmann // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. -1997. - Vol. 19, iss. 1. - P. 1-14.
105. Pavan, M. Dominant sets and pairwise Clustering / M. Pavan, M. Pelillo // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.- 2007.- Vol. 29, iss. 1. - P. 167-172.
106. Motzkin, T. S. Maxima for graphs and a new proof of a theorem of Turan / T. S. Motzkin, E. G. Straus // Canadian J. Math. -1965.- Vol. 17. - P. 533-540.
107. Казаковцев, Л.А. Разработка алгоритмического обеспечения анализа однородности партий электрорадиоизделий для комплектации радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов / Л. А. Казаковцев, И. С. Масич, В. И. Орлов, В. В. Проценко, В.В. Федосов // Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск. - 2016.- С. 164.
108. Сергиенко, И. В. Математические модели и методы решения задач целочисленной оптимизации. / И.В. Сергиенко // 2-е изд., доп. и перераб. Киев: Наук. Думка. - 1988. - С.472.
109. Агеев, А. А. Полиномиальный алгоритм решения задачи размещения на цепи с одинаковыми производственными мощностями предприятий / А. А. Агеев, Э.Х. Гимаев, А.А.Курочкин // Дискретный анализ и исследование операций. -2009.- Т. 16, №5.- С.3-18.

110. Васильев, И. Л. Новые нижние оценки для задач размещения с предпочтениями клиентов / И.Л. Васильев, К.Б. Климентова, Ю.А. Кочетков // Журнал вычислительной математики и математической физики. -2009. - Т. 49., вып. 6.- С. 1055-1066.
111. Гимади, Э. Х. Эффективные алгоритмы для решения многоэтапной задачи размещения на цепи /Э.Х. Гимади // Дискретный анализ и исследование операций. - 1995. - Т. 2, №4 - С. 130-131.
112. Ganti, V. Clustering large datasets in arbitrary metric spaces / V. Ganti, R. Ramakrishnan, J. Gehrke, A. Powell, J. French // Proc. 15th Int. Conf. Data Engineering. [s. 1.] : [s. n.]. -1999.- P. 502-511.
113. Pelleg, D. X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters / D. Pelleg, A. Moore // Seventeenth Internat. Conf. on Machine Learning. - 2000. - P. 727-734.
114. Критерий Акаике - [Электронный ресурс] - URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%BA%D0%B0%D0%B8%D0%BA%D0%B5
115. Байесовский информационный критерий – [Электронный ресурс] - URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=byieskrit>
116. Kaufman, L. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. / L. Kaufman, P.J. Rousseeuw // New York: Wiley. - 1990.- P368.
117. Roberts, S. J. Minimum-entropy data clustering using reversible jump Markov chain Monte Carlo / S. J. Roberts, C. Holms, D. Denison // Proc. Internat. Conf. Artificial Neural Networks, [s. 1.] : [s. n.].- 2001.- P. 103-110.
118. Slonim, N. Document clustering using word clusters via the information bottleneck method / N. Slonim, N.Tishby // ACM SIGIR 2000.- 2000. -P. 208-215.
119. Still, S. Geometric Clustering using the Information Bottleneck method / S.Still, W.Bialek, L.Bottou //Advances In Neural Information Processing Systems 16 / Eds. : S. Thrun, L. Saul and B. Scholkopf. Cambridge: MIT Press. - 2004. [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://papers.nips.cc/paper/2361-geometric-clustering-using-the-information-bottleneck-method.pdf>. 20.03.2022г.
120. Tishby, N. The information bottleneck method / N.Tishby, F. C. Pereira, W. Bialek // Proc. 37th Allerton Conf. on Communication. Control and Computing. Monticello. - [s. n.].- 1999. - P. 368-377.

121. Chang, D. A genetic algorithm with gene rearrangement for K-means clustering / D. Chang, D. Xian, W. Chang // Pattern Recognition. - 2009. - Vol. 42.- P. 1210-1222.
122. Lim, A. A fixed-length subset genetic algorithm for the p-median problem / A. Lim, Z. Xu // Lecture notes in computer science.- 2003.- 2724. - P. 1596-1597.
123. Sheng, W. A genetic k-medoids clustering algorithm / W. Sheng, X. Liu // Journal of Heuristics. 12. - P. 447-466. DOI:10.1007/s10732-006-7284-z.
124. Федосов, В.В. Задача нормировки исходных данных испытаний электрорадиоизделий космического применения для алгоритма автоматической группировки /В.В. Федосов, Л.А.Казаковцев, М.Н.Гудыма // Информационные технологии моделирования и управления. - 2016. - №4. - С. 263-268.
125. Федосов, В.В. Метод нормировки исходных данных испытаний электрорадиоизделий космического применения для алгоритма автоматической группировки /В.В. Федосов, Л.А. Казаковцев, И.С. Масич // Системы управления и информационные технологии. - 2016.- Т. 65. № 3.- С. 92-96.
126. Golovanov, S.M. Recursive clustering algorithm based on silhouette criterion maximization for sorting semiconductor devices by homogeneous batches. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. / S. M. Golovanov, V. I. Orlov, L. A. Kazakovtsev, A M Popov //Material Science and Aerospace Technology. - 2019.- Volume 537, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/2/022035>.
127. Метод локтя и критерий силуэта - [Электронный ресурс] - URL: <https://habr.com/ru/company/jetinfosystems/blog/467745/>. 20.03.2022г.
128. Муравьев, С.Б. Система автоматического выбора и оценки алгоритмов кластеризации и их параметров. / С.Б.Муравьев // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. - 2019.- С. 135-136.
129. Голованов, С. М. Об определении групп однородных элементов методами интеллектуальной обработки данных при высокотехнологическом производстве / С. М. Голованов, Л. А. Казаковцев, Г. Ш. Шкаберина // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): Сборник трудов IV Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции и XIX сетевой конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 ноября 2021 года. -Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. - 2021. - С. 83-85. - DOI 10.18720/IEP/2021.3/19. - EDN FLSYNT.
130. Голованов, С.М. О качественных характеристиках результата деления электрорадиоизделий на однородные группы. / С.М. Голованов // Системы

- управления и информационные технологии. - №4(86) -2021.- С. 31-37. DOI: 10.36622/VSTU.2021.86.4.007
131. Golovanov, S.M. Determination of the Homogeneity of a Set of Elements on the Basis of the Quality Characteristics of the Division of a Set into Groups / S.M. Golovanov, V.L. Kazakovtsev, G.Sh. Shkaberina. // The Tenth International Workshop on Mathematical Models and their Applications, Krasnoyarsk, the Russian Federation, November 16-18, 2021 (IWMMA 2021). [Электронный ресурс] - URL: <https://doi.org/10.1063/5.0137416>.
 132. Данилин, Н.С. Информационные технологии и сертификация элементной базы новых российских космических телекоммуникаций. / Н.С. Данилин // Учебно-методическое пособие. - М.: РИО РТА. - 2000. – С.76
 133. Орлов, В. И. Качество электронной компонентной базы - залог длительной работоспособности космических аппаратов / В. И. Орлов, В. В. Федосов // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 1. – С. 238-241.
 134. Программа дополнительных испытаний электрорадиоизделий в испытательных технических центрах для обеспечения комплектации бортовой аппаратуры КА по заказам Генерального заказчика. Железногорск. - 2008.
 135. Орлов, В.И. Исследование стойкости интегральных схем к воздействию ионизирующих излучений космического пространства с применением комплексного параметрического анализа / В.И. Орлов, В.В. Федосов, С.А. Белов, С.М. Голованов // Решетневские чтения: Материалы XXII междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГУ. - 2018. - Ч. 1 - С. 317-319.
 136. Орлов, В. И. Фирменный стиль: надежность и качество / В.И. Орлов, В.В. Федосов// Петербургский журнал электроники. - 2010. - Вып. 1(62), - С. 55-62.
 137. Ку克林, В. И. Создание спецпартий как путь повышения надежности электронной компонентной базы космического применения / В.И. Ку克林, В.И. Орлов, В.В. Федосов // Авиакосмическое приборостроение. -2020.- № 11.- С. 3-8.
 138. Орлов, В.И. Применение итеративного алгоритма максимизации критерия силуэта для формирования однородных групп электронной компонентной базы / В.И. Орлов, В.В. Федосов, С.М. Голованов // Решетневские чтения: Материалы XXIII междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГУ, 2019. - Ч. 1. - С.366-368.
 139. Голованов, С.М. Использование понятий однородности при проведении дополнительных испытаний электронной компонентной базы космического

- применения. / С.М. Голованов, В.И. Орлов, В.В. Федосов // Космические аппараты и технологии. - 2020.- Том 4. №4(34) - С. 209-218. [Электронный ресурс] - URL: http://journal-niss.ru/archive_view.php?num=235.
140. Голованов, С.М. Определение однородности партии элементов как способ повышения качества тестирования электронной компонентной базы космического применения. / С.М. Голованов, В.И. Орлов, В.В. Федосов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. - 2021.- Выпуск 4 (263) - С.52-68.
141. Голованов, С.М. О некоторых практических аспектах использования понятий однородности при испытаниях электронной компонентной базы космического применения / С.М. Голованов, В.И. Орлов, В.В. Федосов // Решетневские чтения: Материалы XXV междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГУ, 2021. - Ч. 1. - С.352-354.
142. Голованов, С. М. Использование понятия однородности 2-го рода при испытаниях электронной компонентной базы космического применения. / С.М. Голованов, В.И. Орлов, В.В. Федосов // Решетневские чтения: Материалы XXVI междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГУ, 2022. - Ч. 1. - С.370-373.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ 140УД25А

В данном Приложении приведен пример определения параметров алгоритма АГ для партий ЭКБ 140УД25А – прецизионных малошумящих операционных усилителей производства Калужского радиозавода (АО «Восход – КЛРЗ»).

В Таблице А.1 представлены сведения о партиях ОВ и ТВ, используемых для определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 140УД25А.

Таблица А.1 - Сведения о партиях ОВ и ТВ ЭКБ 140УД25А

п.н.	Инд	КП	ДИ	КВИ	КРРИ	ДИсп	$N_{эл}$
ОВ							
1	А	895	1116	005	010808	09.04.2012	97
2	В	1580	1134	005	011231	30.07.2012	64
3	С	150	1103	005	008721	31.03.2011	94
4	Д	30	09.51	005	000846	21.04.2010	77
5	Е	2659	08.42	005	004465	05.02.2009	66
6	Н	1604	07.33	005	004142	21.11.2008	56
7	И	126	05.08	005	001396	18.06.2007	59
8	К	259	07.07	005	002115	16.11.2007	29
ТВ							
1	Е	893	1116	005	011249	06.08.2012	84
2	М	1604	07.33	005	004142	21.11.2008	56
3	Р	1211	08.20	005	003402	07.07.2008	28
4	С	124	07.03	005	001100	11.05.2007	34

В Таблице А.2 представлены сведения о ТП и соответствующие им ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 140УД25А.

Таблица А.2 - Сведения о ТП и ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 140УД25А

ТП	Пар.	Ед. изм.	ДЗ	Наименование электрического параметра
T_1	$I_{пот-}$	мА	0,05	Ток потребления отрицательной полярности
T_2	$I_{пот+}$	мА	0,05	Ток потребления отрицательной полярности
T_3	I_i	мА	0,000001	Входной ток
T_4	I_{i0}	мА	0,000001	Разность входных токов
T_5	U_{0max-}	В	0,1	Максимальное выходное напряжение отрицательной полярности
T_6	U_{0max+}	В	0,1	Максимальное выходное напряжение положительной полярности

Продолжение Таблицы А.2

ТП	Пар.	Ед. изм.	ДЗ	Наименование электрического параметра
T_7	U_{i0}^{cp}	В	0,00001	Среднее значение напряжения смещения нуля U_{i0} на интервале измерения 100с с замерами через 10с
T_8	ΔU_{i0}	В	0,000002	Разброс напряжения смещения нуля U_{i0} на интервале 100с
T_9	$1/A_u$	1/ДБ	0,005	Величина, обратная коэффициенту усиления A_u

1) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ

В Таблицах А.3–А.5 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ ЭКБ 140УД25А при ДН=ДЗ.

Таблица А.3 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 140УД25А при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	97	0,468	0,555	0,555	0,175	0,1	0,229	0,25	О
В	64	0,442	0,604	0,604	0,108	0,1	0,093	0,25	О
С	94	0,547	0,559	0,559	0,105	0,1	0,165	0,25	О
Д	77	0,470	0,585	0,585	0,150	0,1	0,212	0,25	О
Е	66	0,531	0,601	0,601	0,345	0,1	0,421	0,25	О
Н	56	0,486	0,616	0,616	0,321	0,1	0,415	0,25	О
И	59	0,502	0,612	0,612	0,268	0,1	0,426	0,25	О
К	29	0,466	0,657	0,657	0,269	0,1	0,455	0,25	О

Таблица А.4 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 140УД25А при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А∪В	161	0,430	0,459	0,459	0,058	0,1	0,099	0,25	О	0,361
А∪С	191	0,453	0,414	0,414	0,040	0,1	0,071	0,25	О	0,257
А∪Д	174	0,456	0,439	0,300	0,495	0,1	0,656	0,25	НО	0,932
А∪Е	163	0,410	0,456	0,456	0,149	0,1	0,205	0,25	О	0,353
А∪Н	153	0,424	0,471	0,471	0,051	0,1	0,087	0,25	О	0,400
А∪И	156	0,503	0,466	0,466	0,057	0,1	0,102	0,25	О	0,385
А∪К	126	0,578	0,511	0,307	0,350	0,1	0,481	0,25	НО	0,937
В∪С	158	0,452	0,463	0,463	0,085	0,1	0,123	0,25	О	0,352
В∪Д	141	0,539	0,489	0,489	0,179	0,1	0,295	0,25	НО	0,930
В∪Е	130	0,407	0,505	0,505	0,049	0,1	0,072	0,25	О	0,256
В∪Н	120	0,406	0,520	0,520	0,188	0,1	0,248	0,25	О	0,216
В∪И	123	0,459	0,516	0,516	0,145	0,1	0,238	0,25	О	0,269
В∪К	93	0,470	0,561	0,561	0,121	0,1	0,152	0,25	О	0,471

Продолжение Таблицы А.4

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	O/HO	I_R
CUD	171	0,600	0,444	0,300	0,525	0,1	1,086	0,25	HO	0,965
CUF	160	0,438	0,460	0,460	0,077	0,1	0,122	0,25	O	0,344
CUH	150	0,456	0,475	0,475	0,310	0,1	0,470	0,25	O	0,391
CUI	153	0,434	0,471	0,471	0,125	0,1	0,191	0,25	O	0,376
CUK	123	0,451	0,516	0,516	0,097	0,1	0,160	0,25	O	0,583
DUF	143	0,574	0,486	0,300	0,718	0,1	1,054	0,25	HO	1,000
DUH	133	0,447	0,501	0,501	0,214	0,1	0,196	0,25	O	0,342
DUI	136	0,499	0,496	0,496	0,269	0,1	0,423	0,25	HO	0,942
DUK	106	0,728	0,541	0,325	3,003	0,1	3,212	0,25	HO	1,000
FUH	122	0,427	0,517	0,517	0,144	0,1	0,192	0,25	O	0,291
FUI	125	0,523	0,513	0,513	0,089	0,1	0,161	0,25	O	0,277
FUK	95	0,537	0,558	0,558	0,337	0,1	0,303	0,25	O	0,480
HUI	115	0,475	0,528	0,528	0,207	0,1	0,313	0,25	O	0,235
HUK	85	0,634	0,573	0,344	2,080	0,1	2,148	0,25	HO	1,000
IUK	88	0,460	0,568	0,568	0,259	0,1	0,365	0,25	O	0,447
Среднее значение индекса I_R по ОВ (I_R^{OB})										0,528

Таблица А.5 Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ

140УД25А при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	O/HO	I_R
$A_q \cup B_q$	70	0,440	0,595	0,595	0,150	0,1	0,192	0,25	O	0,246
$A_q \cup C_q$	70	0,468	0,595	0,595	0,086	0,1	0,131	0,25	O	0,246
$A_q \cup D_q$	70	0,494	0,595	0,357	1,02	0,1	0,941	0,25	HO	0,971
$A_q \cup F_q$	70	0,491	0,595	0,357	0,485	0,1	0,472	0,25	HO	0,340
$A_q \cup H_q$	70	0,499	0,595	0,595	0,095	0,1	0,175	0,25	O	0,246
$A_q \cup I_q$	70	0,524	0,595	0,595	0,164	0,1	0,263	0,25	O	0,246
$A_q \cup K_q$	64	0,562	0,604	0,362	0,429	0,1	0,629	0,25	HO	0,938
$B_q \cup C_q$	70	0,434	0,595	0,595	0,289	0,1	0,350	0,25	O	0,246
$B_q \cup D_q$	70	0,533	0,595	0,595	0,278	0,1	0,335	0,25	O	0,246
$B_q \cup F_q$	70	0,445	0,595	0,595	0,084	0,1	0,093	0,25	O	0,246
$B_q \cup H_q$	70	0,403	0,595	0,595	0,143	0,1	0,188	0,25	O	0,246
$B_q \cup I_q$	70	0,469	0,595	0,595	0,209	0,1	0,309	0,25	O	0,246
$B_q \cup K_q$	64	0,482	0,604	0,604	0,197	0,1	0,284	0,25	O	0,295
$C_q \cup D_q$	70	0,628	0,595	0,357	0,819	0,1	1,299	0,25	HO	1,000
$C_q \cup F_q$	70	0,462	0,595	0,595	0,172	0,1	0,215	0,25	O	0,246
$C_q \cup H_q$	70	0,480	0,595	0,357	0,462	0,1	0,522	0,25	HO	0,758
$C_q \cup I_q$	70	0,443	0,595	0,595	0,178	0,1	0,155	0,25	O	0,246
$C_q \cup K_q$	64	0,435	0,604	0,362	0,350	0,1	0,463	0,25	HO	0,684
$D_q \cup F_q$	70	0,611	0,595	0,357	1,005	0,1	1,398	0,25	HO	1,000
$D_q \cup H_q$	70	0,428	0,595	0,595	0,113	0,1	0,163	0,25	O	0,246
$D_q \cup I_q$	70	0,561	0,595	0,357	0,519	0,1	0,692	0,25	HO	0,758
$D_q \cup K_q$	64	0,727	0,604	0,362	2,807	0,1	3,116	0,25	HO	1,000

Продолжение Таблицы А.5

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	O/НО	I_R
$F_q \cup H_q$	70	0,443	0,595	0,357	0,458	0,1	0,534	0,25	НО	0,758
$F_q \cup I_q$	70	0,517	0,595	0,595	0,226	0,1	0,365	0,25	О	0,246
$F_q \cup K_q$	64	0,503	0,604	0,362	0,428	0,1	0,530	0,25	НО	0,878
$H_q \cup I_q$	70	0,492	0,595	0,357	0,392	0,1	0,516	0,25	НО	0,528
$H_q \cup K_q$	64	0,632	0,604	0,362	2,302	0,1	2,379	0,25	НО	1,000
$I_q \cup K_q$	64	0,432	0,604	0,362	0,758	0,1	0,809	0,25	НО	0,938
Среднее значение индекса I_R по $OB_p (I_R^{OB_p})$										0,537

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks}

На Рисунке А.1 представлена зависимость критерия «Силуэт» KS от количества элементов в партиях ОВ и их парных объединениях.

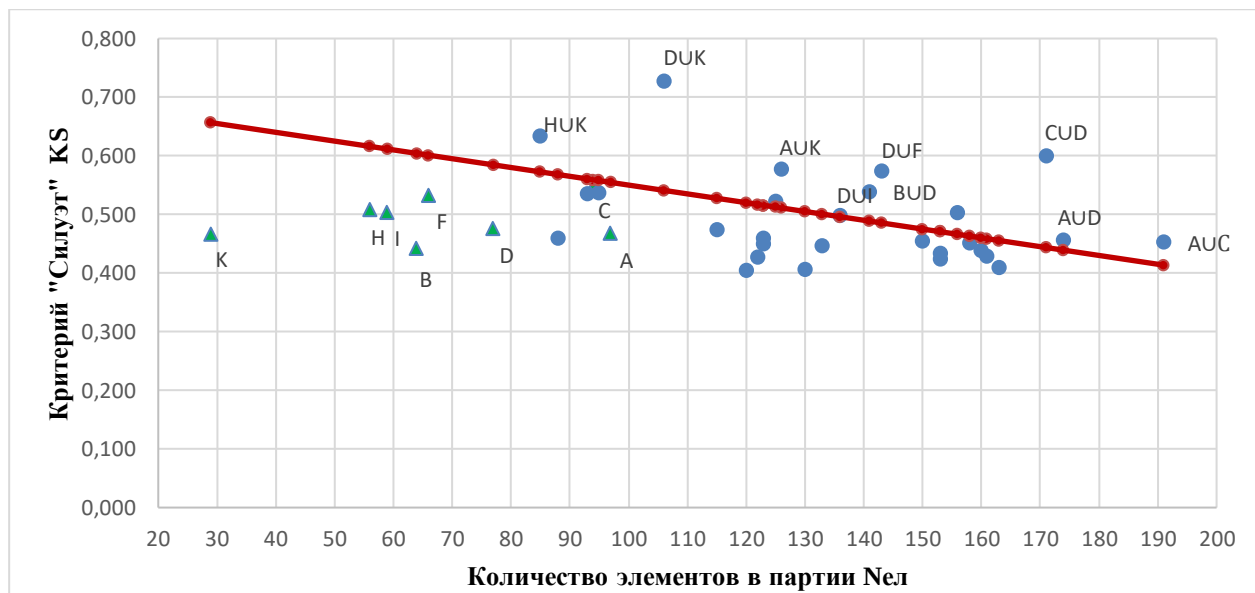


Рисунок А.1 - Зависимость критерия "Силуэт" KS от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 140УД25А и их парных объединениях при ДН=ДЗ

На Рисунок А.1:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ;
- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;

- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ, лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку А.1 максимально качественное решение задачи обеспечивается при: $\alpha_{ks}=0,0015$ и $\beta_{ks}=0,7$.

При этих значениях коэффициентов α_{ks} , β_{ks} :

- все точки, соответствующие партиям ОВ, лежат ниже линии разделения;
- все точки, соответствующие парным объединениям партий ОВ, для которых осуществлено эффективное АГ, лежат выше линии разделения.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Все партии ОВ определены как однородные согласно выполнению условия $KS < B_{KS}$, поэтому значение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$ в определении однородности партий ОВ не играет роли.

Среди парных объединений партий ОВ, для которых осуществлено эффективное АГ, коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ принимает минимальное значение для ВУД, для которого: $k_{sep}^{d/l}=0,295$. Поэтому, с учетом запаса, примем: $B_{sep}^{d/l}=0,25$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Параметр $k_{sep.kS}^{d/r}$ определяется из выполнения двух требований;

- $k_{sep.kS}^{d/r} > k_{sep}^{d/r}=0,345$ для партии F;
- $k_{sep.kS}^{d/r} < k_{sep}^{d/r}=0,350$ для парного объединения ОВ: $C_q \cup K_q$.

Отсюда, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,7$; $B_{sep}^{d/l}=0,25$; $k_{sep.kS}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;
- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{Rs}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2=0,533$.

2) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=З·СКОов*

В Таблицах А.6–А.8 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ ЭКБ 140УД25А при $ДН=3 \cdot СКО_{ОВ}^*$.

Таблица А.6 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 140УД25А при $ДН=3 \cdot СКО_{ОВ}^*$

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	97	0,446	0,455	0,455	0,373	0,1	0,376	0,35	О
В	64	0,361	0,504	0,302	0,624	0,1	0,349	0,35	О
С	94	0,322	0,459	0,459	0,205	0,1	0,153	0,35	О
Д	77	0,431	0,485	0,485	0,129	0,1	0,140	0,35	О
Е	66	0,424	0,501	0,501	0,182	0,1	0,215	0,35	О
Н	56	0,490	0,516	0,516	0,415	0,1	0,386	0,35	О
И	59	0,378	0,512	0,512	0,197	0,1	0,175	0,35	О
К	29	0,497	0,557	0,557	0,249	0,1	0,247	0,35	О

Таблица А.7 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 140УД25А при $ДН=3 \cdot СКО_{ОВ}^*$

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
АОВ	161	0,316	0,359	0,359	0,115	0,1	0,099	0,35	О	0,361
АОВС	191	0,578	0,314	0,300	1,002	0,1	1,407	0,35	НО	0,990
АОВД	174	0,436	0,339	0,300	1,020	0,1	0,982	0,35	НО	1,000
АОВЕ	163	0,382	0,356	0,356	0,131	0,1	0,136	0,35	О	0,353
АОВН	153	0,435	0,371	0,300	0,422	0,1	0,390	0,35	НО	0,344
АОВИ	156	0,331	0,366	0,366	0,072	0,1	0,064	0,35	О	0,385
АОВК	126	0,555	0,411	0,300	1,042	0,1	0,935	0,35	НО	0,953
ВОВС	158	0,532	0,363	0,300	0,572	0,1	0,890	0,35	НО	0,987
ВОВД	141	0,524	0,389	0,300	0,677	0,1	0,807	0,35	НО	1,000
ВОВЕ	130	0,362	0,405	0,405	0,119	0,1	0,107	0,35	О	0,240
ВОВН	120	0,362	0,420	0,420	0,208	0,1	0,153	0,35	О	0,282
ВОВИ	123	0,319	0,416	0,416	0,271	0,1	0,198	0,35	О	0,269
ВОВК	93	0,478	0,461	0,300	0,955	0,1	0,798	0,35	НО	1,000
СОВД	171	0,587	0,344	0,300	0,990	0,1	1,319	0,35	НО	0,977
СОВЕ	160	0,502	0,360	0,300	0,613	0,1	0,836	0,35	НО	0,963
СОВН	150	0,567	0,375	0,300	0,630	0,1	0,960	0,35	НО	0,973
СОВИ	153	0,533	0,371	0,300	0,728	0,1	1,065	0,35	НО	0,987
СОВК	123	0,548	0,416	0,300	0,557	0,1	0,784	0,35	НО	0,984
ДОВЕ	143	0,511	0,386	0,300	0,836	0,1	0,962	0,35	НО	1,000
ДОВН	133	0,349	0,401	0,300	0,473	0,1	0,389	0,35	НО	0,985
ДОВИ	136	0,480	0,396	0,300	0,934	0,1	0,870	0,35	НО	1,000
ДОВК	106	0,686	0,441	0,300	4,019	0,1	2,723	0,35	НО	1,000
ЕОВН	122	0,393	0,417	0,417	0,105	0,1	0,112	0,35	О	0,291
ЕОВИ	125	0,365	0,413	0,413	0,196	0,1	0,186	0,35	О	0,277

Продолжение Таблицы А.7

[illegible]

Таблица А.8 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОов*

[illegible]

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке А.2 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и их парных объединениях.

На Рисунке А.2:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ;
- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

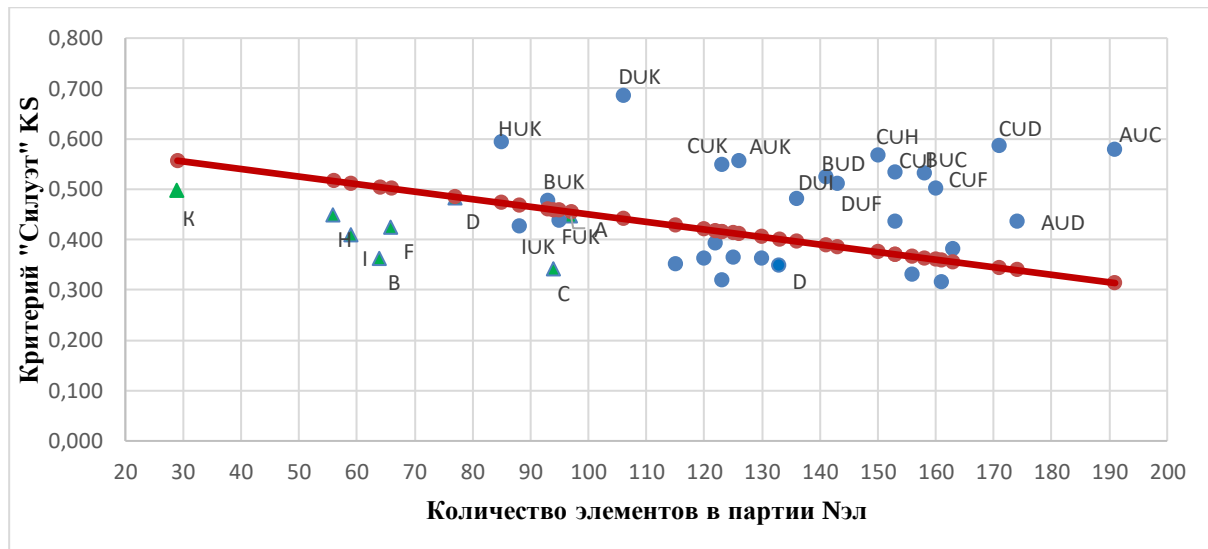


Рисунок А.2 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 140УД25А и их парных объединениях при ДН=3·СКОов*

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ, лежали выше линии разделения.

Максимально эффективное решение задачи обеспечивается при: $\alpha_{ks}=0,0015$ и $\beta_{ks}=0,6$.

При этих значениях коэффициентов α_{ks} , β_{ks} :

- все точки партий ОВ лежат ниже линии разделения;
- все точки, соответствующие парным объединениям партий ОВ, определенным алгоритмом АГ как неоднородные (за исключением DUH, FUK и IUK) лежат выше линии разделения.

Для сборных партий DUN, FUK и IUK выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается уменьшением величины KS_{min}^* по формуле (2.2.71) при выполнении условия $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.kS}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Условие однородности партии В накладывает ограничение на значение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$: $B_{sep}^{d/l} > 0,349$. Отсюда определим: $B_{sep}^{d/l} = 0,35$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Коэффициент $k_{sep.kS}^{d/r}$ определим из учета требований: $k_{sep.kS}^{d/r} > 0,415$ – из условия обеспечения однородности партии Н. Отсюда с учетом запаса получим: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,45$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{kS} = 0,0015$; $\beta_{kS} = 0,6$; $B_{sep}^{d/l} = 0,35$; $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,45$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,735$.

3) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*

В Таблицах А.9–А.11 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОп*.

Таблица А.9 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	97	0,346	0,405	0,405	0,176	0,1	0,132	0,3	О
В	64	0,349	0,454	0,454	0,114	0,1	0,070	0,3	О
С	94	0,317	0,409	0,409	0,095	0,1	0,066	0,3	О
Д	77	0,355	0,435	0,435	0,218	0,1	0,174	0,3	О
Е	66	0,388	0,451	0,300	0,383	0,1	0,281	0,3	О
Н	56	0,326	0,466	0,300	0,350	0,1	0,201	0,3	О
И	59	0,389	0,462	0,300	0,389	0,1	0,293	0,3	О
К	29	0,350	0,507	0,300	0,370	0,1	0,228	0,3	О

Таблица А.10 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ
140УД25А при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
A∪B	161	0,399	0,309	0,309	0,215	0,1	0,209	0,3	О	0,361
A∪C	191	0,499	0,264	0,300	0,687	0,1	0,753	0,3	НО	0,918
A∪D	174	0,524	0,289	0,300	2,021	0,1	1,700	0,3	НО	1,000
A∪F	163	0,383	0,306	0,306	0,255	0,1	0,260	0,3	О	0,353
A∪H	153	0,556	0,321	0,321	0,239	0,1	0,207	0,3	О	0,400
A∪I	156	0,382	0,316	0,316	0,327	0,1	0,374	0,3	НО	0,876
A∪K	126	0,620	0,361	0,300	2,785	0,1	1,901	0,3	НО	0,984
B∪C	158	0,425	0,313	0,300	0,395	0,1	0,395	0,3	НО	0,889
B∪D	141	0,493	0,339	0,300	0,722	0,1	0,743	0,3	НО	1,000
B∪F	130	0,308	0,355	0,355	0,143	0,1	0,097	0,3	О	0,240
B∪H	120	0,437	0,370	0,370	0,238	0,1	0,214	0,3	О	0,283
B∪I	123	0,377	0,366	0,300	0,427	0,1	0,353	0,3	НО	0,936
B∪K	93	0,539	0,411	0,300	1,523	0,1	1,326	0,3	НО	1,000
C∪D	171	0,524	0,294	0,300	0,738	0,1	0,864	0,3	НО	0,965
C∪F	160	0,432	0,310	0,300	0,574	0,1	0,568	0,3	НО	0,902
C∪H	150	0,527	0,325	0,300	0,557	0,1	0,683	0,3	НО	0,960
C∪I	153	0,455	0,321	0,300	0,316	0,1	0,412	0,3	НО	0,936
C∪K	123	0,538	0,366	0,300	0,432	0,1	0,535	0,3	НО	0,968
D∪F	143	0,479	0,336	0,300	1,433	0,1	1,159	0,3	НО	1,000
D∪H	133	0,452	0,351	0,300	0,712	0,1	0,789	0,3	НО	1,000
D∪I	136	0,494	0,346	0,300	1,769	0,1	1,218	0,3	НО	1,000
D∪K	106	0,598	0,391	0,300	3,199	0,1	1,948	0,3	НО	1,000
F∪H	122	0,664	0,367	0,367	0,221	0,1	0,614	0,3	НО	0,904
F∪I	125	0,337	0,363	0,363	0,156	0,1	0,147	0,3	О	0,277
F∪K	95	0,562	0,408	0,300	2,469	0,1	1,532	0,3	НО	1,000
H∪I	115	0,379	0,378	0,378	0,144	0,1	0,130	0,3	О	0,235
H∪K	85	0,559	0,423	0,300	2,204	0,1	1,446	0,3	НО	1,000
I∪K	88	0,488	0,418	0,300	0,727	0,1	0,646	0,3	НО	0,933
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB})$										0,795

Таблица А.11 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ_p
ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	70	0,385	0,445	0,309	0,307	0,1	0,226	0,3	О	0,246
$A_q \cup C_q$	70	0,480	0,445	0,300	1,020	0,1	0,743	0,3	НО	0,943
$A_q \cup D_q$	70	0,521	0,445	0,300	1,778	0,1	1,235	0,3	НО	1,000
$A_q \cup F_q$	70	0,400	0,445	0,300	0,330	0,1	0,271	0,3	О	0,246
$A_q \cup H_q$	70	0,413	0,445	0,300	0,324	0,1	0,306	0,3	НО	0,916
$A_q \cup I_q$	70	0,355	0,445	0,300	0,360	0,1	0,255	0,3	О	0,246
$A_q \cup K_q$	64	0,593	0,454	0,300	2,575	0,1	1,933	0,3	НО	1,000
$B_q \cup C_q$	70	0,423	0,445	0,300	0,633	0,1	0,486	0,3	НО	0,916

Продолжение Таблицы А.11

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$B_q \cup D_q$	70	0,483	0,445	0,300	0,932	0,1	0,724	0,3	НО	1,000
$B_q \cup F_q$	70	0,328	0,445	0,300	0,310	0,1	0,181	0,3	О	0,246
$B_q \cup H_q$	70	0,455	0,445	0,300	0,567	0,1	0,454	0,3	НО	0,971
$B_q \cup I_q$	70	0,372	0,445	0,300	0,923	0,1	0,569	0,3	НО	1,000
$B_q \cup K_q$	64	0,539	0,454	0,300	1,608	0,1	1,330	0,3	НО	1,000
$C_q \cup D_q$	70	0,518	0,445	0,300	1,123	0,1	0,905	0,3	НО	0,971
$C_q \cup F_q$	70	0,437	0,445	0,300	0,995	0,1	0,653	0,3	НО	0,971
$C_q \cup H_q$	70	0,533	0,445	0,300	1,076	0,1	0,927	0,3	НО	1,000
$C_q \cup I_q$	70	0,448	0,445	0,300	0,502	0,1	0,464	0,3	НО	0,916
$C_q \cup K_q$	64	0,518	0,454	0,300	0,419	0,1	0,511	0,3	НО	0,938
$D_q \cup F_q$	70	0,453	0,445	0,300	0,453	0,1	1,021	0,3	НО	1,000
$D_q \cup H_q$	70	0,472	0,445	0,300	0,615	0,1	0,675	0,3	НО	1,000
$D_q \cup I_q$	70	0,485	0,445	0,300	1,426	0,1	1,004	0,3	НО	1,000
$D_q \cup K_q$	64	0,580	0,454	0,300	2,423	0,1	1,848	0,3	НО	1,000
$F_q \cup H_q$	70	0,366	0,445	0,300	0,460	0,1	0,316	0,3	НО	0,971
$F_q \cup I_q$	70	0,317	0,445	0,300	0,325	0,1	0,259	0,3	О	0,246
$F_q \cup K_q$	64	0,560	0,454	0,300	2,452	0,1	1,536	0,3	НО	1,000
$H_q \cup I_q$	70	0,408	0,445	0,300	0,373	0,1	0,302	0,3	НО	0,943
$H_q \cup K_q$	64	0,549	0,454	0,300	2,329	0,1	1,353	0,3	НО	1,000
$I_q \cup K_q$	64	0,480	0,454	0,300	0,820	0,1	0,766	0,3	НО	0,908
Среднее значение индекса I_R ($I_R^{OB_p}$)										0,843

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке А.3 представлена зависимость критерия «Силуэт» от числа элементов в партиях ОВ и их парных объединениях.

На Рисунке А.3:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ;
- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ, лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку А.3 максимально качественное решение задачи обеспечивается при: $\alpha_{ks}=0,0015$ и $\beta_{ks}=0,55$.

При этих значениях коэффициентов α_{ks} , β_{ks} :

- все точки партий ОБ лежат ниже линии разделения;
- все точки, соответствующие сборным партиям ОБ (за исключением BUF и FUI) лежат выше линии разделения.

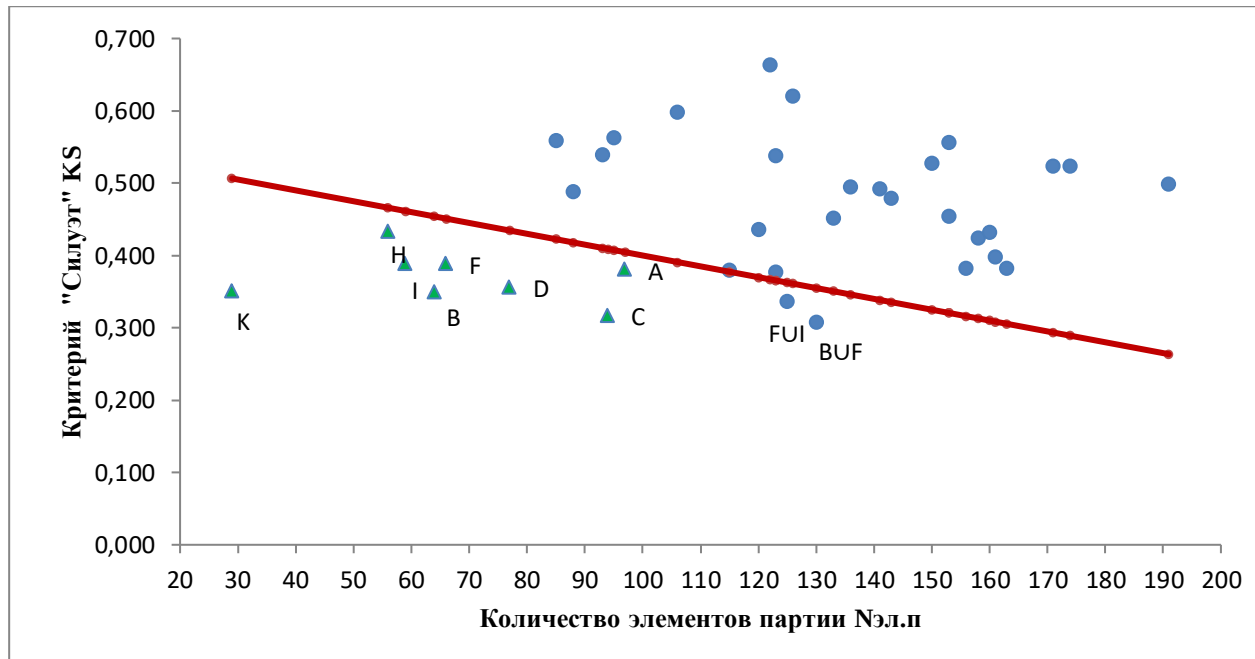


Рисунок А.3 Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОБ ЭКБ 140УД25А и их парных объединениях при ДН=3·СКОп*

При этом, при АГ партий BUF и FUI все равно определяются как однородные по условию $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. В этом случае невыполнение условия $KS \geq B_{KS}$ для этих партий ситуацию не меняет.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Однородность партий F, H, I и K определяется выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$, поэтому минимальное значение величины $B_{sep}^{d/l}$ определяется соотношением: $B_{sep}^{d/l} > 0,293$. Отсюда примем: $B_{sep}^{d/l} = 0,3$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Все партии ОБ определяются как однородные вне зависимости от значения коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$, поэтому величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ определяется из требования выполнения условия $KS \geq B_{KS}$ для максимального количества парных

объединений партий ОВ и OB_p . Отсюда получим: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 0,324 (A_q \cup H_q)$. С учетом запаса, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,3$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{kS} = 0,0015$; $\beta_{kS} = 0,55$; $B_{sep}^{d/l} = 0,3$; $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,3$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,819$.

4) Результаты тестирования обученного алгоритма АГ

В Таблицах А.12, А.13 представлены результаты тестирования алгоритма АГ по ТВ при ДН=3·СКОп*.

Таблица А.12 - Результаты определения однородности партий ТВ ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
Е	84	0,385	0,424	0,424	0,140	0,1	0,137	0,3	О
М	56	0,345	0,466	0,300	0,315	0,1	0,229	0,3	О
Р	28	0,393	0,305	0,300	0,532	0,1	0,289	0,3	О
С	34	0,411	0,499	0,499	0,286	0,1	0,345	0,3	О

Таблица А.13 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ТВ ЭКБ 140УД25А при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/Н О	I_R
Е∪М	136	0,403	0,346	0,300	0,450	0,1	0,481	0,3	НО	0,985
Е∪Р	191	0,421	0,300	0,300	0,543	0,1	0,415	0,3	НО	0,808
Е∪С	174	0,437	0,300	0,300	0,942	0,1	0,598	0,3	НО	0,949
М∪Р	163	0,598	0,306	0,300	0,638	0,1	0,435	0,3	НО	0,906
М∪С	153	0,428	0,321	0,300	0,517	0,1	0,397	0,3	НО	1,000
Р∪С	156	0,427	0,316	0,300	0,762	0,1	0,582	0,3	НО	0,936
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{TB})$										0,931

5) ВЫВОДЫ по результатам определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 140УД25А

Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 140УД25А при разных способах нормирования характеристик ЭКБ приведены в Таблице А.14.

Таблица А.14 - Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 140УД25А

	ДН=ДЗ	ДН=3·СКО _{ов} *	ДН=3·СКО _п *
I_{RS}^{OB}	0,533	0,735	0,819
I_R^{TB}	-	-	0,931
$I_R = \min(I_{RS}^{OB}; I_R^{TB})$	-	-	0,819

На основании вышеприведенных данных можно сделать следующие выводы:

а) Наибольшую эффективность АГ обеспечивает комбинированный способ нормирования характеристик ЭКБ (ДН=3·СКО_п*).

б) АГ партий ЭКБ 140УД25А (при ДН=3·СКО_п*) осуществляется с эффективностью: $I_R = 0,819$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРКППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ ДИОДНЫХ СБОРОК 2ДШ2150АС9

В данном Приложении проведен пример определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 2ДШ2150АС9.

Сведения о партиях ОВ и ТВ, используемых для определения параметров алгоритмов АГ ЭКБ 2ДШ2150АС9, представлены в Таблице Б.1.

Таблица Б.1 - Сведения о партиях ОВ и ТВ ЭКБ 2ДШ2150АС9

п.н.	Инд	КП	ДИ	КВИ	КРРИ	ДИсп	$N_{эл}$
ОВ							
1	А	11	1409	002	000483	04.03.2015	175
2	Б	1	1802	002	003717	26.06.2018	152
3	В	6	1906	002	004339	02.09.2019	142
4	Г	1	1401	002	013467	13.03.2014	63
5	Д	7	1509	002	001920	21.11.2016	89
6	Е	5	1709	002	004369	20.11.2017	55
7	Ж	14	2010	002	010222	06.05.2021	98
8	К	7	2105	002	001147	29.10.2021	79
ТВ							
1	М	1	2101	002	001840	16.07.2021	84
2	Н	20	2111	002	008933	25.03.2022	139
3	Р	3	1608	002	004725	14.03.2018	18
4	С	76	1903	002	000393	16.07.2019	17

В Таблице Б.2 приведены сведения о ТП и соответствующих им ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 2ДШ2150АС9.

Таблица Б.2 - Сведения о ТП и ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 2ДШ2150АС9

Ном. ТП	Т7	Т8	Т9	Т10	Т11	Т12	Т13
ДЗ	0,0002	0,0003	0,002	0,0002	0,0003	0,001	0,01
Ном. ТП	Т14	Т15	Т16	Т17	Т18	Т19	Т20
ДЗ	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02

1) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ

В Таблицах Б.3–Б.5 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ ЭКБ 2ДШ2150АС9 при ДН=ДЗ.

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О
А	175	0,793	0,538	0,400	0,559	0,1	0,596	0,7	О
Б	152	0,651	0,572	0,572	0,034	0,1	0,176	0,7	О
В	142	0,758	0,587	0,587	0,135	0,1	0,562	0,7	О
Г	63	0,593	0,706	0,706	0,215	0,1	0,669	0,7	О
Д	89	0,715	0,667	0,667	0,138	0,1	0,354	0,7	О
Е	55	0,611	0,718	0,718	0,158	0,1	0,558	0,7	О
Ж	98	0,626	0,653	0,653	0,212	0,1	0,971	0,7	О
К	79	0,709	0,682	0,400	0,423	0,1	0,670	0,7	О

Таблица Б.4 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ
2ДШ2150АС9 при ДН=ДЗ

[illegible]

Таблица Б.5 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p
ЭКБ 2ДШ2150АС9 при ДН=ДЗ

П	$N_{эл.п}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	100	0,779	0,65	0,40	0,581	0,1	3,523	0,7	НО	0,941
$A_q \cup B_q$	100	0,816	0,65	0,40	1,945	0,1	10,71	0,7	НО	1,000
$A_q \cup \Gamma_q$	100	0,620	0,65	0,65	0,095	0,1	0,216	0,7	О	0,247
$A_q \cup D_q$	100	0,751	0,65	0,40	0,441	0,1	0,959	0,7	НО	0,382
$A_q \cup E_q$	100	0,709	0,65	0,65	0,231	0,1	1,402	0,7	НО	0,941
$A_q \cup Ж_q$	100	0,824	0,65	0,40	1,267	0,1	7,202	0,7	НО	0,980
$A_q \cup K_q$	100	0,893	0,65	0,40	2,463	0,1	17,72	0,7	НО	0,980
$B_q \cup B_q$	100	0,837	0,65	0,40	6,218	0,1	18,47	0,7	НО	0,980
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,803	0,65	0,40	0,690	0,1	5,482	0,7	НО	0,960
$B_q \cup D_q$	100	0,684	0,65	0,65	0,126	0,1	0,250	0,7	О	0,247
$B_q \cup E_q$	100	0,631	0,65	0,65	0,108	0,1	0,414	0,7	О	0,247
$B_q \cup Ж_q$	100	0,767	0,65	0,40	1,876	0,1	6,818	0,7	НО	0,980
$B_q \cup K_q$	100	0,867	0,65	0,40	1,606	0,1	14,94	0,7	НО	0,980
$V_q \cup \Gamma_q$	100	0,863	0,65	0,40	5,008	0,1	21,40	0,7	НО	1,000
$V_q \cup D_q$	100	0,482	0,65	0,40	0,346	0,1	1,162	0,7	НО	0,671
$V_q \cup E_q$	100	0,769	0,65	0,40	3,460	0,1	11,45	0,7	НО	1,000
$V_q \cup Ж_q$	100	0,656	0,65	0,65	0,142	0,1	0,925	0,7	НО	0,902
$V_q \cup K_q$	100	0,833	0,65	0,40	1,193	0,1	9,038	0,7	НО	0,980
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,791	0,65	0,40	0,571	0,1	1,268	0,7	НО	0,407
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,738	0,65	0,40	0,404	0,1	2,433	0,7	НО	0,960
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,858	0,65	0,40	1,994	0,1	14,68	0,7	НО	0,980
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,917	0,65	0,40	3,797	0,1	27,22	0,7	НО	0,980
$D_q \cup E_q$	100	0,812	0,65	0,40	0,496	0,1	1,253	0,7	НО	0,420
$D_q \cup Ж_q$	100	0,747	0,65	0,40	0,467	0,1	1,184	0,7	НО	0,420
$D_q \cup K_q$	100	0,797	0,65	0,65	0,237	0,1	0,526	0,7	О	0,247
$E_q \cup Ж_q$	100	0,686	0,65	0,40	0,347	0,1	1,741	0,7	НО	0,960
$E_q \cup K_q$	100	0,836	0,65	0,40	1,071	0,1	7,683	0,7	НО	0,960
$Ж_q \cup K_q$	100	0,722	0,65	0,65	0,095	0,1	0,525	0,7	О	0,247
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,743

На Рисунке Б.1 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=ДЗ.

На Рисунке Б.1:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;
- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{KS} - \alpha_{KS} \cdot N_{эл.}$

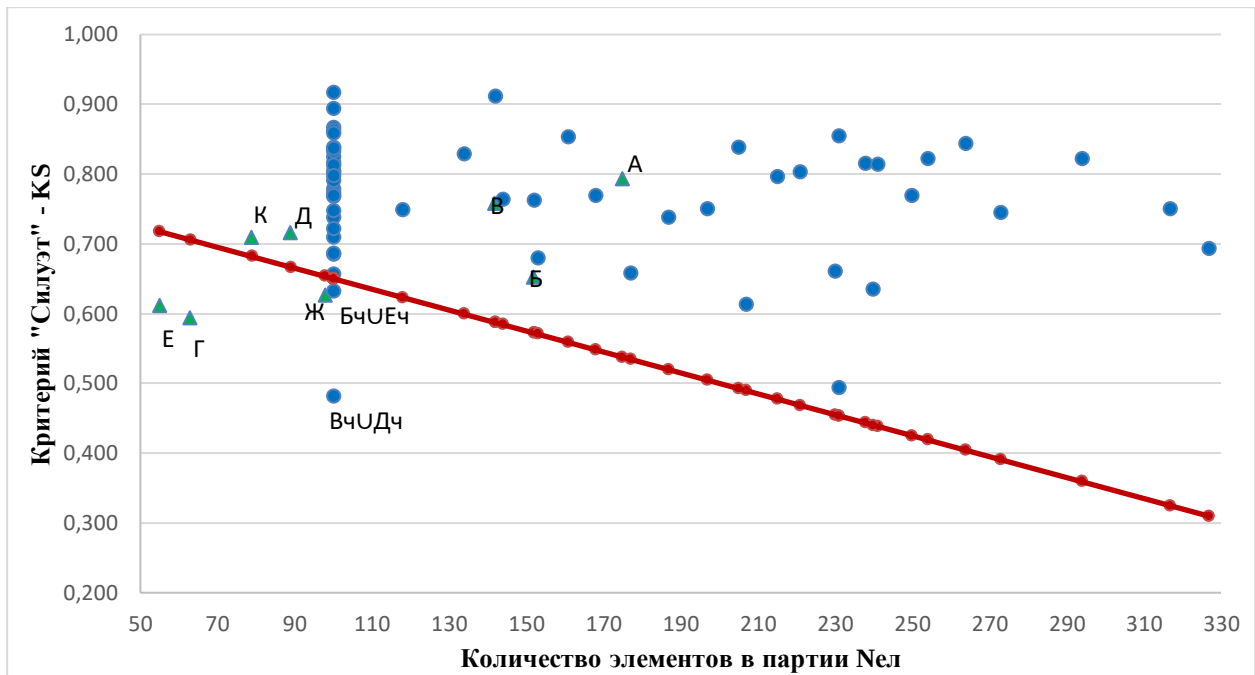


Рисунок Б.1 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 2ДШ2150АС9 и парных объединениях партий ОВ и $ОВ_p$ при ДН=ДЗ

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS, полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$, лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку Б.1 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,8$.

При этом:

- Точки, соответствующие партиям А, Б, В, Д, К, лежат выше линии разделения, но в данном случае это не имеет значения, так как однородность этих партий обеспечивается выполнением условия $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. Значение имеет то, что точка, соответствующая партии Ж, лежит ниже линии разделения.

- Все точки, соответствующие парным объединениям партий ОВ и $ОВ_p$ (за исключением $Б_ч \cup Е_ч$ и $В_ч \cup Д_ч$) лежат выше линии разделения. При этом, наличие указанного исключения никак не отражается на общем качестве АГ, т.к. в нашем случае партия $Б_ч \cup Е_ч$ все равно определяется как однородная по условию: $k_{sep}^{d/l} \leq B_{sep}^{d/l}$, а для

партии $B_{\text{ч}} \cup D_{\text{ч}}$ условие $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается определением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{\min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.ks}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

$$- k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l} \text{ для партий А, Д, К;}$$

- $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$ для всех парных объединений партий ОВ и OB_p , для которых возможно качественное разделение на ОГ.

На основании этих требований получим: $0,669 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,886$. Отсюда выберем: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

Коэффициент $k_{sep.ks}^{d/r}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

$$- k_{sep.ks}^{d/r} > k_{sep}^{d/l} = 0,212 \text{ для партии Ж;}$$

$$- k_{sep.ks}^{d/r} \leq k_{sep}^{d/l} = 0,346 \text{ для партии } B_{\text{ч}} \cup D_{\text{ч}}.$$

$$\text{Отсюда получим: } k_{sep.ks}^{d/r} = 0,3.$$

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks} = 0,0015$; $\beta_{ks} = 0,8$; $B_{sep}^{d/l} = 0,7$; $k_{sep.ks}^{d/r} = 0,3$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,755$.

2) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*

В Таблицах Б.6–Б.8 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ЭКБ 2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОов*.

Таблица Б.6 - Результаты определения однородности партий ОВ 2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОов*

П	$N_{\text{эл}}$	KS	$KS_{\min}^*$	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О
А	175	0,761	0,488	0,488	0,391	0,1	0,324	0,7	О
Б	152	0,700	0,522	0,522	0,099	0,1	0,402	0,7	О
В	142	0,690	0,537	0,537	0,057	0,1	0,151	0,7	О

Таблица Б.7 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ
2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОов*

П	N _{эл}	KS	KS [*] _{min}	B _{KS}	k ^{d/r} _{sep}	B ^{d/r} _{sep}	k ^{d/l} _{sep}	B ^{d/l} _{sep}	O/HO	I _R
AУБ	327	0,690	0,260	0,400	0,058	0,1	0,327	0,7	O	0,286
AУВ	317	0,858	0,275	0,400	2,275	0,1	15,11	0,7	HO	1,000
AУГ	238	0,776	0,393	0,400	0,505	0,1	0,403	0,7	O	0,540
AУД	264	0,649	0,354	0,400	0,044	0,1	0,102	0,7	O	0,439
AУЕ	230	0,617	0,405	0,405	0,061	0,1	0,341	0,7	O	0,578
AУЖ	273	0,847	0,341	0,400	1,888	0,1	13,15	0,7	HO	1,000
AУК	254	0,883	0,369	0,400	2,979	0,1	22,46	0,7	HO	0,984
БУВ	294	0,856	0,309	0,400	1,522	0,1	14,03	0,7	HO	0,986
БУГ	215	0,783	0,428	0,400	0,585	0,1	3,970	0,7	HO	1,000
БУД	241	0,748	0,389	0,400	0,137	0,1	0,340	0,7	O	0,397
БУЕ	207	0,623	0,440	0,440	0,051	0,1	0,210	0,7	O	0,538
БУЖ	250	0,835	0,375	0,400	0,820	0,1	7,695	0,7	HO	0,968
БУК	231	0,891	0,404	0,400	1,833	0,1	18,79	0,7	HO	0,966
ВУГ	205	0,904	0,443	0,400	3,199	0,1	27,80	0,7	HO	1,000
ВУД	231	0,770	0,404	0,404	0,121	0,1	0,255	0,7	O	0,377
ВУЕ	197	0,827	0,455	0,400	1,477	0,1	8,464	0,7	HO	0,990
ВУЖ	240	0,527	0,390	0,400	0,841	0,1	2,303	0,7	HO	0,983
ВУК	221	0,739	0,419	0,400	0,724	0,1	4,757	0,7	HO	0,946
ГУД	152	0,629	0,522	0,400	0,522	0,1	1,680	0,7	HO	0,987
ГУЕ	118	0,813	0,573	0,400	1,035	0,1	5,383	0,7	HO	1,000
ГУЖ	161	0,904	0,509	0,400	2,840	0,1	24,85	0,7	HO	1,000
ГУК	142	0,926	0,537	0,400	3,229	0,1	33,93	0,7	HO	0,972
ДУЕ	144	0,702	0,534	0,534	0,115	0,1	0,247	0,7	O	0,380
ДУЖ	187	0,738	0,470	0,400	1,369	0,1	4,140	0,7	HO	0,989
ДУК	168	0,819	0,498	0,400	2,984	0,1	9,398	0,7	HO	0,976
ЕУЖ	153	0,799	0,521	0,400	0,762	0,1	4,534	0,7	HO	0,961
ЕУК	134	0,874	0,549	0,400	1,392	0,1	11,55	0,7	HO	0,97
ЖУК	177	0,724	0,485	0,485	0,124	0,1	0,908	0,7	HO	0,848
Среднее значение индекса I _R (I _R ^{OB})										0,824

Таблица Б.8 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ
2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	100	0,764	0,60	0,60	0,353	0,1	1,705	0,7	НО	0,980
$A_q \cup B_q$	100	0,896	0,60	0,40	2,517	0,1	15,17	0,7	НО	1,000
$A_q \cup \Gamma_q$	100	0,699	0,60	0,60	0,350	0,1	0,541	0,7	О	0,247
$A_q \cup D_q$	100	0,588	0,60	0,40	0,541	0,1	1,391	0,7	НО	1,000
$A_q \cup E_q$	100	0,767	0,60	0,40	0,501	0,1	2,471	0,7	НО	1,000
$A_q \cup Ж_q$	100	0,885	0,60	0,40	2,023	0,1	12,88	0,7	НО	1,000
$A_q \cup K_q$	100	0,920	0,60	0,40	3,861	0,1	21,66	0,7	НО	0,980
$B_q \cup B_q$	100	0,868	0,60	0,40	1,890	0,1	13,34	0,7	НО	1,000
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,800	0,60	0,40	0,633	0,1	4,158	0,7	НО	1,000
$B_q \cup D_q$	100	0,753	0,60	0,60	0,401	0,1	0,533	0,7	О	0,247
$B_q \cup E_q$	100	0,577	0,60	0,60	0,150	0,1	0,501	0,7	О	0,247
$B_q \cup Ж_q$	100	0,833	0,60	0,40	0,749	0,1	6,717	0,7	НО	0,980
$B_q \cup K_q$	100	0,900	0,60	0,40	2,470	0,1	20,99	0,7	НО	0,980
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,916	0,60	0,40	2,984	0,1	25,73	0,7	НО	1,000
$B_q \cup D_q$	100	0,747	0,60	0,40	1,384	0,1	3,993	0,7	НО	0,980
$B_q \cup E_q$	100	0,837	0,60	0,40	1,224	0,1	8,002	0,7	НО	0,980
$B_q \cup Ж_q$	100	0,535	0,60	0,40	1,276	0,1	2,587	0,7	НО	0,980
$B_q \cup K_q$	100	0,756	0,60	0,40	0,682	0,1	3,729	0,7	НО	0,941
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,657	0,60	0,40	0,732	0,1	2,098	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,810	0,60	0,40	1,030	0,1	5,111	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,905	0,60	0,40	2,351	0,1	18,33	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,933	0,60	0,40	4,129	0,1	34,43	0,7	НО	0,980
$D_q \cup E_q$	100	0,754	0,60	0,40	0,470	0,1	0,926	0,7	НО	0,420
$D_q \cup Ж_q$	100	0,732	0,60	0,40	1,442	0,1	3,914	0,7	НО	0,980
$D_q \cup K_q$	100	0,827	0,60	0,40	3,269	0,1	8,923	0,7	НО	0,980
$E_q \cup Ж_q$	100	0,804	0,60	0,40	0,904	0,1	4,971	0,7	НО	0,960
$E_q \cup K_q$	100	0,882	0,60	0,40	1,574	0,1	13,01	0,7	НО	0,980
$Ж_q \cup K_q$	100	0,724	0,60	0,60	0,159	0,1	0,841	0,7	НО	0,827
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,874

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке Б.2 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОов*.

На Рисунке Б.2:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий OB и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

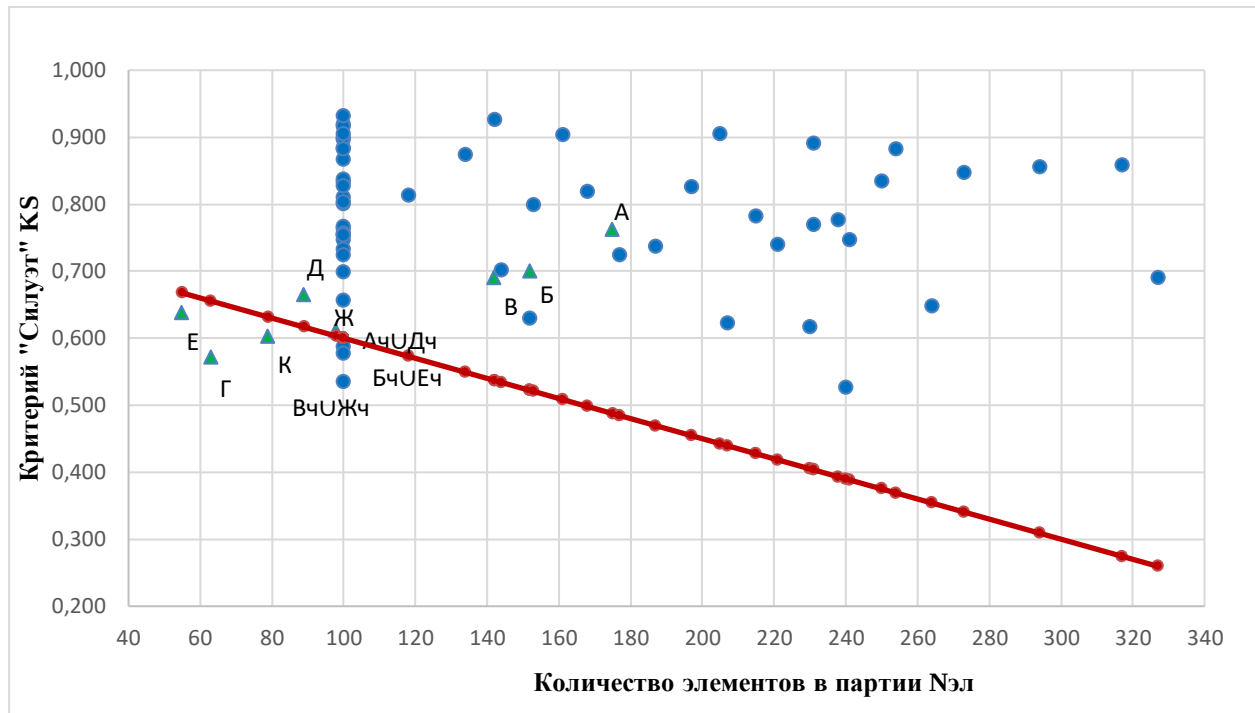


Рисунок Б.2 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях OB ЭКБ 2ДШ2150АС9 и парных объединениях OB и OB_p при $ДН=3 \cdot СКО_{ов}^*$

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий OB лежали ниже линии разделения;

- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий OB и OB_p , лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку Б.2 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Точки, соответствующие партиям: А, Б, В, Д, Ж лежат выше линии разделения, но в данном случае это неважно, т.к. однородность этих партий обеспечивается выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. В нашем случае важно, что точка, соответствующая партии Е, лежит ниже линии разделения.

- Все точки, соответствующие парным объединениям партий ОВ и OB_p (за исключением точек, соответствующих партиям $A_q \cup D_q$, $B_q \cup E_q$ и $B_q \cup Ж_q$), лежат выше линии разделения. При этом, наличие указанного исключения не оказывает влияние на общее качество АГ, т.к. партия $B_q \cup E_q$ все равно определяется как однородная по условию: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$, а для партий $A_q \cup D_q$ и $B_q \cup Ж_q$ выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается определением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.ks}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

- $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ для всех партий ОВ, кроме Е;
- $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$ для всех парных объединений партий ОВ и OB_p , для которых возможно эффективная группировка.

На основании этих требований получим: $0,565 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,841$. Отсюда выберем: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.ks}^{d/r}$.

Определим коэффициент $k_{sep.ks}^{d/r}$ из условия выполнения неравенств:

- $KS < B_{KS}$ для партии Г;
- $KS \geq B_{KS}$ для партий $A_q \cup D_q$ и $B_q \cup Ж_q$.

Эти требования приводят к необходимости выполнения условия: $0,265 < k_{sep.ks}^{d/r} \leq 0,541$. Отсюда, с учетом запаса, выберем $k_{sep.ks}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.ks}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;
- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{Rs}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,849$.

3) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*

В Таблице Б.9–Б.11 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ЭКБ 2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОп*.

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$		$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	O/HO
А	175	0,784	0,488	0,488	1,210		0,1	0,513	0,7	О
Б	152	0,678	0,522	0,522	0,103		0,1	0,395	0,7	О
В	142	0,675	0,537	0,537	0,041		0,1	0,105	0,7	О
Г	63	0,605	0,656	0,656	0,238		0,1	0,548	0,7	О
Д	89	0,579	0,617	0,617	0,103		0,1	0,215	0,7	О
Е	55	0,649	0,668	0,668	0,529		0,1	1,247	0,7	О
Ж	98	0,599	0,603	0,603	0,038	0,1	0,128	0,7	О	
К	79	0,602	0,635	0,635	0,086	0,1	0,290	0,7	О	

Таблица Б.10 Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ
2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОп*

[illegible]

Таблица Б.11 Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ
2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	100	0,763	0,60	0,40	0,378	0,1	1,760	0,7	НО	0,980
$A_q \cup B_q$	100	0,817	0,60	0,40	1,816	0,1	8,938	0,7	НО	1,000
$A_q \cup \Gamma_q$	100	0,557	0,60	0,60	0,117	0,1	0,269	0,7	О	0,247
$A_q \cup D_q$	100	0,667	0,60	0,40	0,529	0,1	1,594	0,7	НО	1,000
$A_q \cup E_q$	100	0,768	0,60	0,60	0,524	0,1	2,538	0,7	НО	1,000
$A_q \cup Ж_q$	100	0,846	0,60	0,40	1,419	0,1	7,764	0,7	НО	0,980
$A_q \cup K_q$	100	0,900	0,60	0,40	2,769	0,1	14,34	0,7	НО	0,980
$B_q \cup B_q$	100	0,801	0,60	0,40	2,652	0,1	13,12	0,7	НО	1,000
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,797	0,60	0,40	0,598	0,1	3,946	0,7	НО	1,000
$B_q \cup D_q$	100	0,609	0,60	0,60	0,173	0,1	0,332	0,7	О	0,247
$B_q \cup E_q$	100	0,589	0,60	0,60	0,115	0,1	0,419	0,7	О	0,247
$B_q \cup Ж_q$	100	0,740	0,60	0,40	0,740	0,1	3,769	0,7	НО	1,000
$B_q \cup K_q$	100	0,850	0,60	0,40	1,036	0,1	9,094	0,7	НО	0,980
$V_q \cup \Gamma_q$	100	0,840	0,60	0,40	4,076	0,1	16,97	0,7	НО	1,000
$V_q \cup D_q$	100	0,775	0,60	0,40	1,528	0,1	4,434	0,7	НО	0,980
$V_q \cup E_q$	100	0,764	0,60	0,40	1,952	0,1	7,472	0,7	НО	0,980
$V_q \cup Ж_q$	100	0,593	0,60	0,60	0,213	0,1	0,440	0,7	О	0,247
$V_q \cup K_q$	100	0,722	0,60	0,40	0,367	0,1	1,997	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,700	0,60	0,60	0,862	0,1	2,343	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,773	0,60	0,40	0,665	0,1	3,453	0,7	НО	0,980
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,847	0,60	0,40	1,757	0,1	11,50	0,7	НО	0,980
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,914	0,60	0,40	3,403	0,1	22,54	0,7	НО	0,980
$D_q \cup E_q$	100	0,611	0,60	0,60	0,257	0,1	0,440	0,7	О	0,247
$D_q \cup Ж_q$	100	0,769	0,60	0,40	1,611	0,1	4,525	0,7	НО	0,980
$D_q \cup K_q$	100	0,837	0,60	0,40	3,333	0,1	9,071	0,7	НО	0,941
$E_q \cup Ж_q$	100	0,685	0,60	0,40	0,358	0,1	1,576	0,7	НО	0,960
$E_q \cup K_q$	100	0,834	0,60	0,40	0,876	0,1	5,973	0,7	НО	0,827
$Ж_q \cup K_q$	100	0,729	0,60	0,60	0,203	0,1	1,047	0,7	НО	0,980
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,843

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке Б.3 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОп*.

На Рисунке Б.3:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий OB и OB_p ;

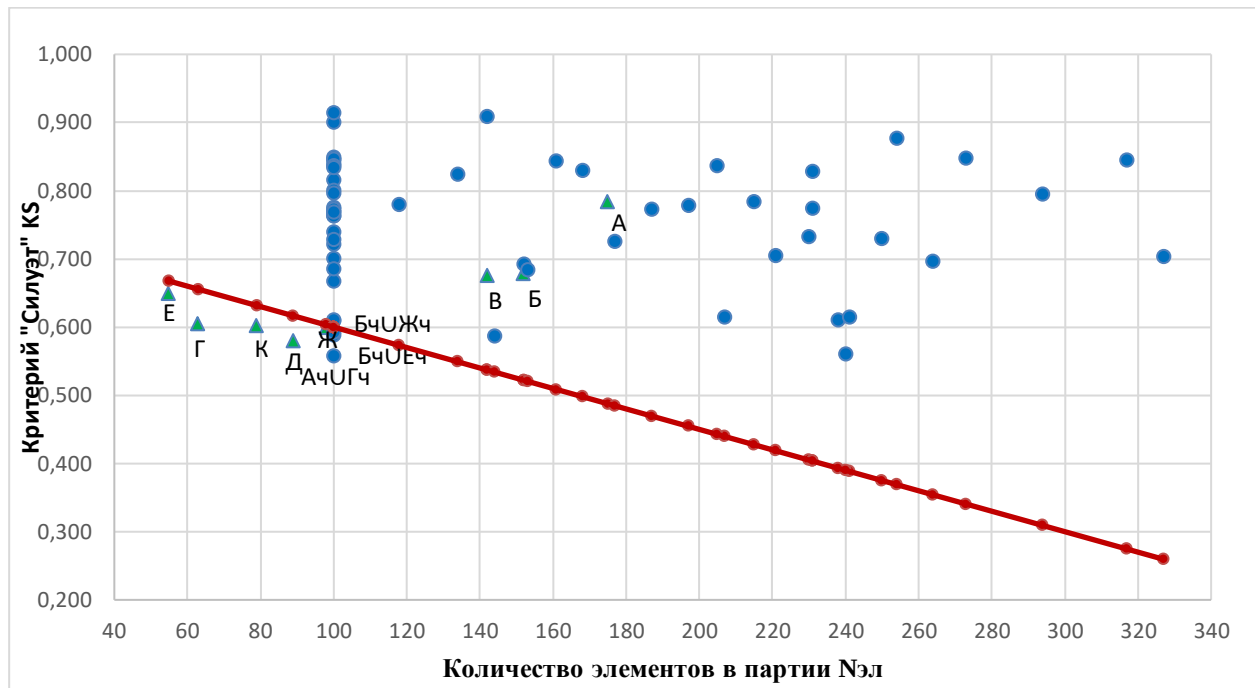


Рисунок Б.3 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях OB ЭКБ 2ДШ2150АС9 и парных объединениях партий OB и OB_p при $ДН=3 \cdot СКОп^*$

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий OB лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий OB и OB_p , лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку Б.3 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Точки, соответствующие партиям А, Б, В лежат выше линии разделения. В данном случае это не имеет значения, т.к. однородность этих партий обеспечивается выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. В нашем случае важно, что точка, соответствующая партии Е, лежит ниже линии разделения.

- Все точки, соответствующие парным объединениям партий OB и OB_p (за исключением $A_чУГ_ч$, $B_чУЕ_ч$ и $B_чУЖ_ч$), лежат выше линии разделения. При этом, наличие

указанного исключения не влияет на общее качество АГ, т.к. указанные партии все равно определяются как однородные по невыполнению условия: $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

$$- k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l} \text{ для партии Б;}$$

- $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$ для всех парных объединений партий ОВ и OB_p , для которых возможна качественная группировка.

На основании этих требований получим: $0,395 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,735$. Отсюда выберем: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Определим коэффициент $k_{sep.kS}^{d/r}$ из необходимости одновременного выполнения двух условий:

$$- KS < B_{KS} \text{ для партии Г, из чего получим: } 0,238 < k_{sep.kS}^{d/r};$$

- для парных объединений партий ОВ и OB_p дополнительное уменьшение коэффициента B_{KS} общее качество АГ не изменит.

Поэтому, с учетом запаса, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.kS}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,851$.

4) Результаты тестирования обученного алгоритма АГ

В Таблицах Б.12, Б.13 представлены результаты тестирования алгоритма АГ по ТВ при ДН=3·СКОп*.

Таблица Б.12 - Результаты определения однородности партий ТВ ЭКБ 2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
М	84	0,625	0,624	0,624	0,154	0,1	0,566	0,7	О
Н	139	0,603	0,542	0,542	0,205	0,1	0,643	0,7	О
Р	18	0,463	0,300	0,300	0,246	0,1	0,624	0,7	О
С	17	0,566	0,300	0,300	0,345	0,1	0,522	0,7	О

Таблица Б.13 Результаты АГ элементов парных объединений партий ТВ 2ДШ2150АС9 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/Н О	I_R
МУН	223	0,869	0,416	0,300	0,769	0,1	4,903	0,7	НО	0,956
МУР	102	0,910	0,597	0,358	2,200	0,1	5,879	0,7	НО	1,000
МУС	101	0,924	0,599	0,359	4,704	0,1	12,07	0,7	НО	1,000
НУР	157	0,826	0,515	0,309	0,914	0,1	2,466	0,7	НО	1,000
НУС	156	0,771	0,516	0,310	1,513	0,1	5,636	0,7	НО	1,000
РУС	35	0,720	0,419	0,697	1,556	0,1	2,416	0,7	НО	0,388
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{TB})$										0,891

5) ВЫВОДЫ по результатам определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 2ДШ2150АС9

Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 2ДШ2150АС9 при разных способах нормирования характеристик ЭКБ приведены в Таблице Б.14

Таблица Б.14 Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 2ДШ2150АС9

	ДН=ДЗ	ДН=3·СКОов*	ДН=3·СКОп*
I_{RS}^{OB}	0,755	0,849	0,851
I_R^{TB}	-	-	0,891
$I_R = \min(I_{RS}^{OB}; I_R^{TB})$	-	-	0,851

На основании вышеприведенных данных можно сделать следующие выводы:

а) Наибольшую эффективность АГ обеспечивает комбинированный способ нормирования характеристик ЭКБ (ДН=3·СКОп*).

б) АГ партий ЭКБ 2ДШ2150АС9 (при ДН=3·СКОп*) осуществляется с эффективностью: $I_R = 0,851$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 1526ЛА10

В данном Приложении проведен пример определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 1526ЛА10.

Информация о партиях ОВ и ТВ, используемых для определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 1526ЛА10, представлена в Таблице В.1.

Табл. В.1 - Сведения о партиях ОВ ЭКБ 1526ЛА10

п.н.	Инд	КП	ДИ	КВИ	КРРИ	ДИсп	$N_{эл}$
ОВ							
1	А	108	1020	002	008111	11.12.2010	100
2	Б	668	1444	002	014629	10.02.2015	100
3	В	770	1541	002	015905	17.08.2016	100
4	Г	838	1630	002	016044	11.10.2016	100
5	Д	992	1720	002	016878	22.08.2017	100
6	Е	76	1812	002	017764	13.06.2018	100
7	Ж	309	2036	002	001150	15.09.2021	99
8	К	380	2116	002	023334	06.07.2021	99
ТВ							
1	М	264	2007	002	008216	17.08.2020	109
2	Н	292	2029	002	000784	16.10.2020	100
3	Р	506	2202	002	025010	27.04.2022	100
4	С	553	2227	002	025430	03.11.2022	102

В Таблице В.2 приведены ТП и соответствующие им ДЗ, используемые для АГ элементов партий ЭКБ 1526ЛА10.

Таблица В.2 - ТП и ДЗ, используемые для АГ элементов партий ЭКБ 1526ЛА10

Ном. ТП	T7	T8	T9	T10	T11	T12
ДЗ	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005
Ном. ТП	T13	T14	T15	T16	T17	T18
ДЗ	0,000005	0,000005	0,01	0,01	0,01	0,01
Ном. ТП	T19	T20	T21	T22	T23	T24
ДЗ	3,0	3,0	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Ном. ТП	T25	T26	T27	T28	T29	T30
ДЗ	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000005	0,000005
Ном. ТП	T31	T32	T33	T34	T35	T36
ДЗ	0,000005	0,000005	0,000005	0,01	0,01	0,01
Ном. ТП	T37	T38	T39	T40	T41	T42
ДЗ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Продолжение Таблицы В.2

Ном. ТП	T43	T44	T45	T46	T47	T48
ДЗ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Ном. ТП	T49	T50	T51	T52	T53	T54
ДЗ	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03
Ном. ТП	T55	T56	T57	T58	T59	T60
ДЗ	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Ном. ТП	T61	T62	T63	T64	T65	T66
ДЗ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

1) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ

В Таблицах В.3–В.5 представлены совокупные результаты АГ определения однородности партий ОВ и АГ парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=ДЗ.

Таблица В.3 - Результаты определения однородности партий ОВ
ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	100	0,582	0,550	0,550	0,249	0,1	0,359	0,4	О
Б	100	0,660	0,550	0,550	0,327	0,1	0,385	0,4	О
В	100	0,678	0,550	0,550	0,313	0,1	0,311	0,4	О
Г	100	0,517	0,550	0,550	0,320	0,1	0,390	0,4	О
Д	100	0,415	0,550	0,550	0,093	0,1	0,124	0,4	О
Е	100	0,402	0,550	0,550	0,211	0,1	0,304	0,4	О
Ж	99	0,349	0,552	0,400	0,483	0,1	0,277	0,4	О
К	99	0,817	0,552	0,552	0,303	0,1	0,291	0,4	О

Таблица В.4 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ
1526ЛА10 при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А∪Б	200	0,640	0,400	0,400	0,056	0,1	0,152	0,4	О	0,249
А∪В	200	0,805	0,400	0,400	1,978	0,1	4,469	0,4	НО	0,990
А∪Г	200	0,921	0,400	0,400	3,860	0,1	20,49	0,4	НО	1,000
А∪Д	200	0,855	0,400	0,400	1,735	0,1	7,207	0,4	НО	1,000
А∪Е	200	0,637	0,400	0,400	0,637	0,1	1,701	0,4	НО	0,980
А∪Ж	199	0,833	0,402	0,400	1,772	0,1	6,113	0,4	НО	0,990
А∪К	199	0,785	0,402	0,400	1,962	0,1	7,327	0,4	НО	1,000
Б∪В	200	0,737	0,400	0,400	1,179	0,1	2,480	0,4	НО	0,980
Б∪Г	200	0,898	0,400	0,400	2,448	0,1	12,78	0,4	НО	1,000
Б∪Д	200	0,791	0,400	0,400	0,839	0,1	3,212	0,4	НО	0,990
Б∪Е	200	0,440	0,400	0,400	0,451	0,1	0,597	0,4	НО	0,970

Продолжение Таблицы В.4

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
БУЖ	199	0,738	0,402	0,400	1,050	0,1	1,050	0,4	НО	0,970
БУК	199	0,701	0,402	0,400	1,100	0,1	3,360	0,4	НО	0,980
ВУГ	200	0,760	0,400	0,400	0,818	0,1	2,203	0,4	НО	0,902
ВУД	200	0,460	0,400	0,400	1,338	0,1	1,138	0,4	НО	0,980
ВУЕ	200	0,654	0,400	0,400	0,951	0,1	2,151	0,4	НО	0,980
ВУЖ	199	0,545	0,402	0,400	0,504	0,1	0,790	0,4	НО	1,000
ВУК	199	0,841	0,402	0,402	0,194	0,1	0,370	0,4	О	0,249
ГУД	200	0,821	0,400	0,400	2,542	0,1	6,804	0,4	НО	1,000
ГУЕ	200	0,860	0,400	0,400	2,916	0,1	9,403	0,4	НО	1,000
ГУЖ	199	0,871	0,402	0,400	3,771	0,1	10,99	0,4	НО	1,000
ГУК	199	0,777	0,402	0,400	1,702	0,1	5,848	0,4	НО	1,000
ДУЕ	200	0,704	0,400	0,400	0,564	0,1	1,638	0,4	НО	0,980
ДУЖ	199	0,577	0,402	0,402	0,264	0,1	0,519	0,4	НО	0,902
ДУК	199	0,832	0,402	0,402	0,629	0,1	1,628	0,4	НО	0,288
ЕУЖ	199	0,602	0,402	0,400	0,431	0,1	0,866	0,4	НО	0,911
ЕУК	199	0,595	0,402	0,400	1,306	0,1	1,306	0,4	НО	0,980
ЖУК	198	0,835	0,403	0,403	0,466	0,1	0,904	0,4	НО	0,291
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB})$										0,877

Таблица В.5 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ
1526ЛА10 при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А _ч УБ _ч	100	0,654	0,55	0,55	0,208	0,1	0,495	0,4	НО	0,902
А _ч УВ _ч	100	0,800	0,55	0,40	1,450	0,1	3,469	0,4	НО	1,000
А _ч УГ _ч	100	0,920	0,55	0,40	3,082	0,1	14,615	0,4	НО	1,000
А _ч УД _ч	100	0,846	0,55	0,40	1,293	0,1	5,373	0,4	НО	1,000
А _ч УЕ _ч	100	0,644	0,55	0,40	0,894	0,1	1,293	0,4	НО	0,980
А _ч УЖ _ч	100	0,826	0,55	0,40	1,760	0,1	4,893	0,4	НО	0,980
А _ч УК _ч	100	0,770	0,55	0,40	1,667	0,1	5,083	0,4	НО	1,000
Б _ч УВ _ч	100	0,725	0,55	0,40	0,852	0,1	1,744	0,4	НО	0,980
Б _ч УГ _ч	100	0,892	0,55	0,40	1,854	0,1	9,671	0,4	НО	1,000
Б _ч УД _ч	100	0,769	0,55	0,40	0,508	0,1	1,827	0,4	НО	0,980
Б _ч УЕ _ч	100	0,421	0,55	0,40	0,505	0,1	0,461	0,4	НО	0,864
Б _ч УЖ _ч	100	0,715	0,55	0,40	1,147	0,1	2,152	0,4	НО	0,902
Б _ч УК _ч	100	0,671	0,55	0,40	0,900	0,1	2,280	0,4	НО	0,980
В _ч УГ _ч	100	0,761	0,55	0,40	0,889	0,1	1,906	0,4	НО	0,883
В _ч УД _ч	100	0,437	0,55	0,40	1,049	0,1	0,864	0,4	НО	0,980
В _ч УЕ _ч	100	0,861	0,55	0,40	1,086	0,1	9,812	0,4	НО	0,980
В _ч УЖ _ч	100	0,545	0,55	0,40	0,437	0,1	0,584	0,4	НО	1,000
В _ч УК _ч	100	0,771	0,55	0,55	0,331	0,1	0,377	0,4	О	0,247
Г _ч УД _ч	100	0,812	0,55	0,40	2,103	0,1	5,388	0,4	НО	1,000
Г _ч УЕ _ч	100	0,860	0,55	0,40	2,428	0,1	6,989	0,4	НО	1,000

Продолжение Таблицы В.5

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,868	0,55	0,40	3,279	0,1	8,595	0,4	НО	1,000
$\Gamma_q \cup К_q$	100	0,762	0,55	0,40	1,589	0,1	4,151	0,4	НО	1,000
$Д_q \cup Е_q$	100	0,696	0,55	0,55	0,349	0,1	0,895	0,4	НО	0,960
$Д_q \cup Ж_q$	100	0,559	0,55	0,55	0,322	0,1	0,437	0,4	НО	0,864
$Д_q \cup К_q$	100	0,824	0,55	0,55	0,517	0,1	0,630	0,4	НО	0,295
$Е_q \cup Ж_q$	100	0,605	0,55	0,40	0,512	0,1	0,710	0,4	НО	0,846
$Е_q \cup К_q$	100	0,582	0,55	0,40	1,079	0,1	1,788	0,4	НО	0,960
$Ж_q \cup К_q$	100	0,825	0,55	0,55	0,291	0,1	0,358	0,4	О	0,247
Среднее значение индекса I_R ($I_R^{OB_p}$)										0,887

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке В.1 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=ДЗ.

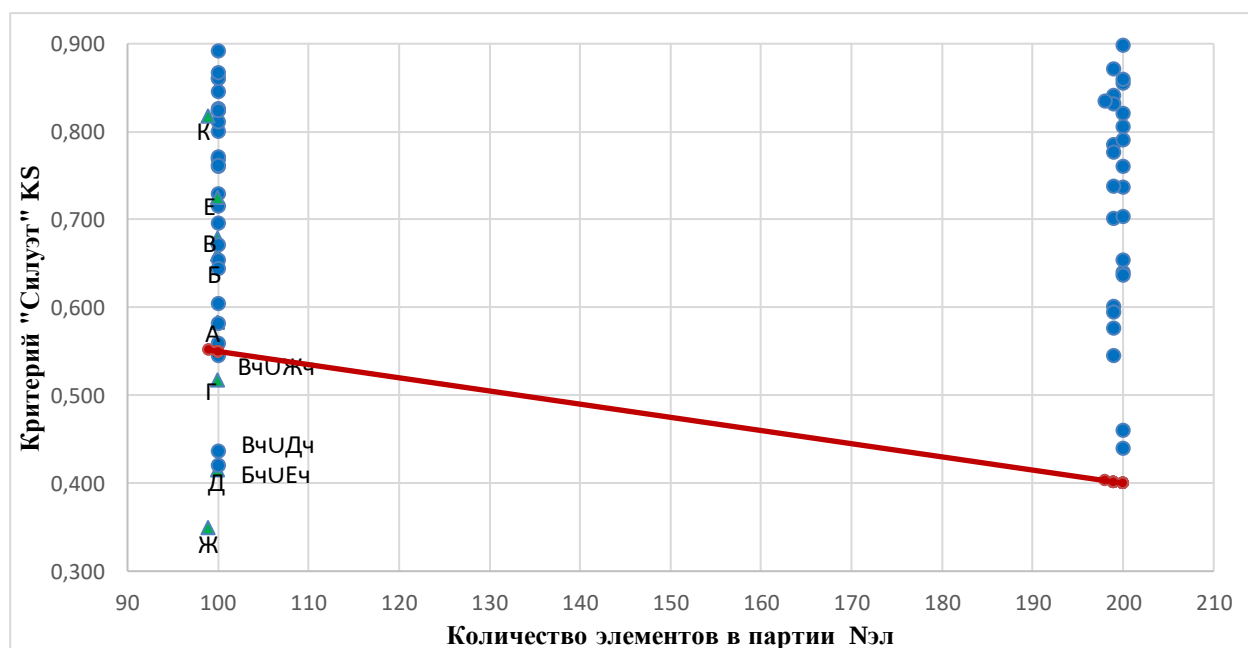


Рисунок В.1 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 1526ЛА10 и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=ДЗ

На Рисунке В.1:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p , лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку В.1 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,7$.

При этом:

- Точки, соответствующие партиям Г, Д, Е и Ж лежат ниже линии разделения. Точки, соответствующие партиям А, Б, В и К лежат выше линии разделения. В данном случае это не имеет значения, т.к. однородность партий ОВ определяются выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

- Точки, соответствующие парным объединениям партий ОВ и OB_p (за исключением партий $B_q \cup E_q$, $B_q \cup D_q$, $B_q \cup Ж_q$) лежат выше линии разделения. Для партий: $B_q \cup E_q$, $B_q \cup D_q$, $B_q \cup Ж_q$ выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается определением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.kS}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

- $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ для партий ОВ;
- $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$ для всех парных объединений партий ОВ, для которых возможно качественное группирование.

На основании этих требований получим: $0,385 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,437$. Отсюда выберем: $B_{sep}^{d/l} = 0,4$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ на определение однородности партий ОВ не влияет, т.к. в данном случае однородность партий ОВ определяются выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Определим коэффициент $k_{sep.kS}^{d/r}$ из условия выполнения условия $KS \geq B_{KS}$ для партий: $B_q \cup E_q$, $B_q \cup D_q$, $B_q \cup Ж_q$: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 0,437$. Поэтому, с учетом запаса, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,7$; $B_{sep}^{d/l}=0,4$; $k_{sep.ks}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{Rs}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,882$.

2) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*

В Таблицах В.6–В.8 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОов*.

Таблица В.6 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	100	0,535	0,650	0,650	0,148	0,1	0,170	0,7	О
Б	100	0,444	0,650	0,650	0,184	0,1	0,180	0,7	О
В	100	0,651	0,650	0,650	0,314	0,1	0,287	0,7	О
Г	100	0,394	0,650	0,650	0,174	0,1	0,203	0,7	О
Д	100	0,390	0,650	0,650	0,154	0,1	0,171	0,7	О
Е	100	0,636	0,650	0,650	0,841	0,1	0,591	0,7	О
Ж	99	0,422	0,652	0,652	0,073	0,1	0,062	0,7	О
К	99	0,746	0,652	0,652	0,387	0,1	0,419	0,7	О

Таблица В.7 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А∪Б	200	0,655	0,500	0,400	0,354	0,1	0,739	0,7	НО	1,000
А∪В	200	0,778	0,500	0,400	3,606	0,1	3,895	0,7	НО	1,000
А∪Г	200	0,851	0,500	0,400	4,068	0,1	8,554	0,7	НО	1,000
А∪Д	200	0,847	0,500	0,400	3,363	0,1	8,990	0,7	НО	1,000
А∪Е	200	0,715	0,500	0,400	2,740	0,1	3,020	0,7	НО	1,000
А∪Ж	199	0,811	0,502	0,400	3,398	0,1	6,059	0,7	НО	1,000
А∪К	199	0,794	0,502	0,400	4,521	0,1	6,547	0,7	НО	1,000
Б∪В	200	0,670	0,500	0,400	1,419	0,1	1,754	0,7	НО	0,990
Б∪Г	200	0,780	0,500	0,400	1,800	0,1	4,383	0,7	НО	1,000
Б∪Д	200	0,787	0,500	0,400	1,892	0,1	4,590	0,7	НО	1,000
Б∪Е	200	0,554	0,500	0,400	0,608	0,1	0,773	0,7	НО	0,970
Б∪Ж	199	0,708	0,502	0,400	0,926	0,1	2,205	0,7	НО	0,980
Б∪К	199	0,697	0,502	0,400	1,359	0,1	2,936	0,7	НО	1,000
В∪Г	200	0,540	0,500	0,400	1,035	0,1	0,960	0,7	НО	0,941

Продолжение Таблицы В.7

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
ВУД	200	0,580	0,500	0,400	1,892	0,1	1,494	0,7	НО	1,000
ВУЕ	200	0,491	0,500	0,400	1,364	0,1	1,151	0,7	НО	1,000
ВУЖ	199	0,473	0,502	0,400	1,429	0,1	0,992	0,7	НО	0,980
ВУК	199	0,723	0,502	0,502	0,385	0,1	0,486	0,7	О	0,251
ГУД	200	0,678	0,500	0,400	1,806	0,1	3,385	0,7	НО	1,000
ГУЕ	200	0,699	0,500	0,400	4,386	0,1	3,847	0,7	НО	1,000
ГУЖ	199	0,660	0,502	0,400	3,825	0,1	3,752	0,7	НО	1,000
ГУК	199	0,559	0,502	0,400	2,015	0,1	2,144	0,7	НО	1,000
ДУЕ	200	0,611	0,500	0,400	0,788	0,1	1,227	0,7	НО	0,990
ДУЖ	199	0,626	0,502	0,502	0,714	0,1	0,564	0,7	О	0,251
ДУК	199	0,525	0,502	0,400	1,287	0,1	1,653	0,7	НО	0,990
ЕУЖ	199	0,662	0,502	0,452	0,574	0,1	0,499	0,7	О	0,251
ЕУК	199	0,512	0,502	0,400	2,560	0,1	1,939	0,7	НО	1,000
ЖУК	198	0,835	0,503	0,503	0,466	0,1	0,604	0,7	О	0,249
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB})$										0,887

Таблица В.8 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А _ч ∪Б _ч	100	0,675	0,65	0,40	0,864	0,1	1,317	0,7	НО	1,000
А _ч ∪В _ч	100	0,780	0,65	0,40	3,887	0,1	3,680	0,7	НО	1,000
А _ч ∪Г _ч	100	0,856	0,65	0,40	4,837	0,1	7,276	0,7	НО	1,000
А _ч ∪Д _ч	100	0,846	0,65	0,40	3,244	0,1	7,705	0,7	НО	1,000
А _ч ∪Е _ч	100	0,725	0,65	0,40	3,394	0,1	3,052	0,7	НО	1,000
А _ч ∪Ж _ч	100	0,807	0,65	0,40	2,777	0,1	5,130	0,7	НО	1,000
А _ч ∪К _ч	100	0,794	0,65	0,40	5,205	0,1	5,385	0,7	НО	1,000
Б _ч ∪В _ч	100	0,655	0,65	0,40	1,102	0,1	1,259	0,7	НО	0,980
Б _ч ∪Г _ч	100	0,779	0,65	0,40	1,777	0,1	3,803	0,7	НО	1,000
Б _ч ∪Д _ч	100	0,775	0,65	0,40	1,641	0,1	3,464	0,7	НО	1,000
Б _ч ∪Е _ч	100	0,582	0,65	0,65	0,837	0,1	0,428	0,7	О	0,247
Б _ч ∪Ж _ч	100	0,693	0,65	0,40	0,825	0,1	1,761	0,7	НО	0,980
Б _ч ∪К _ч	100	0,687	0,65	0,40	1,309	0,1	2,229	0,7	НО	1,000
В _ч ∪Г _ч	100	0,534	0,65	0,40	1,148	0,1	0,948	0,7	НО	0,921
В _ч ∪Д _ч	100	0,563	0,65	0,40	2,502	0,1	1,494	0,7	НО	1,000
В _ч ∪Е _ч	100	0,820	0,65	0,40	1,108	0,1	3,594	0,7	НО	0,980
В _ч ∪Ж _ч	100	0,469	0,65	0,40	1,345	0,1	0,872	0,7	НО	1,000
В _ч ∪К _ч	100	0,709	0,65	0,65	0,328	0,1	0,288	0,7	О	0,247
Г _ч ∪Д _ч	100	0,656	0,65	0,40	3,712	0,1	2,901	0,7	НО	1,000
Г _ч ∪Е _ч	100	0,701	0,65	0,40	3,256	0,1	3,186	0,7	НО	1,000
Г _ч ∪Ж _ч	100	0,645	0,65	0,40	4,820	0,1	3,009	0,7	НО	1,000
Г _ч ∪К _ч	100	0,546	0,65	0,40	1,790	0,1	1,655	0,7	НО	1,000
Д _ч ∪Е _ч	100	0,603	0,65	0,40	0,673	0,1	0,937	0,7	НО	0,980

Продолжение Таблицы В.8

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
Д _ч ∪ Ж _ч	100	0,416	0,65	0,65	0,246	0,1	0,273	0,7	О	0,247
Д _ч ∪ К _ч	100	0,494	0,65	0,40	1,361	0,1	1,358	0,7	НО	0,980
Е _ч ∪ Ж _ч	100	0,563	0,65	0,65	0,531	0,1	0,204	0,7	О	0,247
Е _ч ∪ К _ч	100	0,514	0,65	0,40	1,970	0,1	1,568	0,7	НО	1,000
Ж _ч ∪ К _ч	100	0,746	0,65	0,65	0,417	0,1	0,399	0,7	О	0,247
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,859

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке В.2 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОов*.

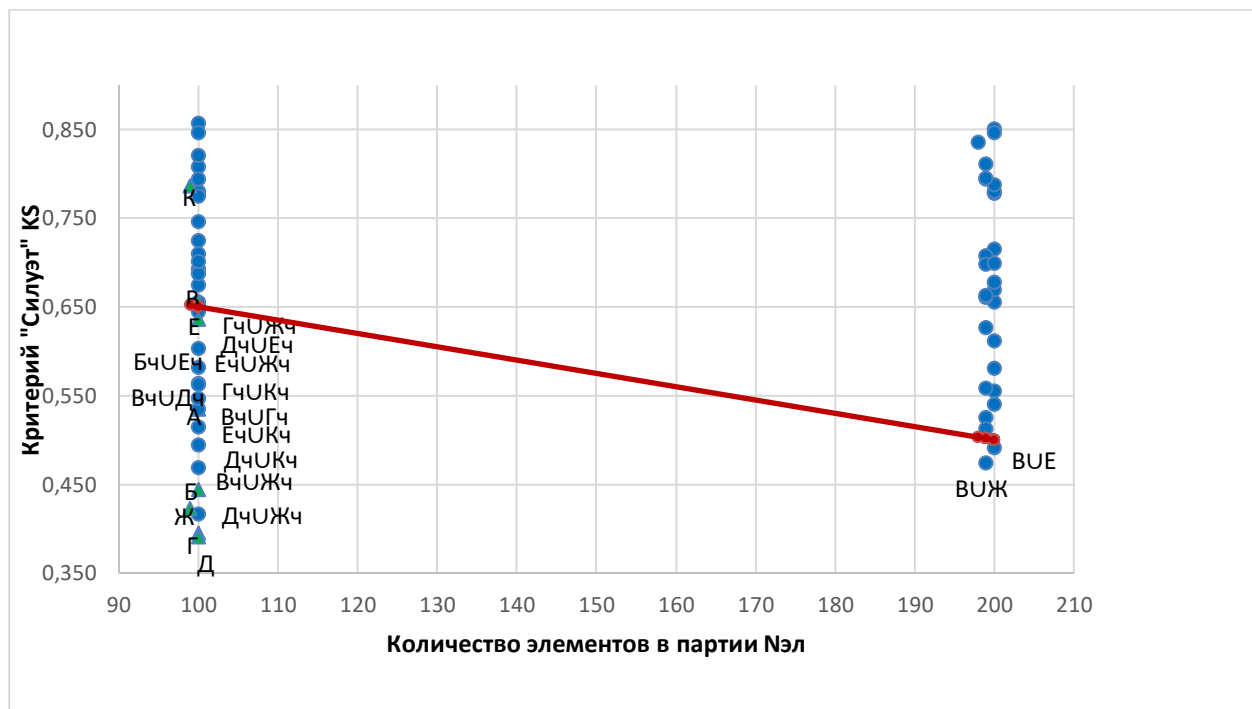


Рисунок В.2 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 1526ЛА10 и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОов*

На Рисунке В.2:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;
- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл.п.}$

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий OB лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий OB и OB_p , лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку В.2 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Точки, соответствующие партиям OB (за исключением партий В и К) лежат ниже линии разделения. Точки, соответствующие партиям В и К лежат выше линии разделения, но это не имеет значения, т.к. однородность этих партий OB определяются выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

- Точки, соответствующие парным объединениям партий OB и OB_p (за исключением партий ВUE, ВУЖ, $B_q \cup E_q$, $B_q \cup \Gamma_q$, $B_q \cup D_q$, $B_q \cup Ж_q$, $\Gamma_q \cup Ж_q$, $\Gamma_q \cup K_q$, $D_q \cup E_q$, $D_q \cup Ж_q$, $D_q \cup K_q$, $E_q \cup Ж_q$, $E_q \cup K_q$) лежат выше линии разделения. Для партий $B_q \cup E_q$, $D_q \cup Ж_q$ и $E_q \cup Ж_q$ это не имеет значения, т.к. эти партии определяются как однородные по другим критериям ($k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ или $k_{sep}^{l/l} > B_{sep}^{l/l}$). Для партий ВUE, ВУЖ, $B_q \cup \Gamma_q$, $B_q \cup D_q$, $B_q \cup Ж_q$, $\Gamma_q \cup Ж_q$, $\Gamma_q \cup K_q$, $D_q \cup E_q$, $D_q \cup K_q$, $E_q \cup K_q$ выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается определением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.kS}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

- $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ для партий OB ;
- $k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l}$ для всех парных объединений партий OB и OB_p , для которых возможно эффективное группирование.

На основании этих требований получим: $0,591 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,773$. Отсюда выберем: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ на определение однородности партий OB не влияет, т.к. в данном случае однородность партий OB определяются выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Определим коэффициент $k_{sep.kS}^{d/r}$ из условия выполнения условия $KS \geq B_{KS}$ для партий: ВУЕ, ВУЖ, В_чУГ_ч, В_чУД_ч, В_чУЖ_ч, Г_чУЖ_ч, Г_чУК_ч, Д_чУЕ_ч, Д_чУК_ч, Е_чУК_ч: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 1,148$. Поэтому, с учетом запаса и по аналогии с вариантом ДН=ДЗ, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.kS}^{d/r}=0,35$.
- все партии ОВ определены как однородные;
- АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,873$.

3) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*

В Таблицах В.9–В.11 представлены результаты определения однородности партий ОВ и АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ для ЭРИ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОп*.

Таблица В.9 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	100	0,548	0,600	0,600	0,095	0,1	0,106	0,7	О
Б	100	0,450	0,600	0,600	0,148	0,1	0,162	0,7	О
В	100	0,512	0,600	0,360	0,630	0,1	0,554	0,7	О
Г	100	0,463	0,600	0,600	0,286	0,1	0,322	0,7	О
Д	100	0,463	0,600	0,600	0,108	0,1	0,153	0,7	О
Е	100	0,466	0,600	0,360	0,997	0,1	0,682	0,7	О
Ж	99	0,474	0,602	0,602	0,150	0,1	0,110	0,7	О
К	99	0,452	0,602	0,602	0,226	0,1	0,258	0,7	О

Таблица В.10 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
АУБ	200	0,598	0,450	0,450	0,250	0,1	0,470	0,7	О	0,251
АУВ	200	0,724	0,450	0,400	3,560	0,1	3,223	0,7	НО	1,000
АУГ	200	0,800	0,450	0,400	4,306	0,1	6,050	0,7	НО	1,000
АУД	200	0,830	0,450	0,400	3,344	0,1	7,159	0,7	НО	1,000
АУЕ	200	0,667	0,450	0,400	1,708	0,1	2,226	0,7	НО	0,990
АУЖ	199	0,833	0,452	0,400	1,772	0,1	6,113	0,7	НО	0,990
АУК	199	0,780	0,452	0,400	3,881	0,1	5,413	0,7	НО	1,000
БУВ	200	0,646	0,450	0,400	0,862	0,1	1,291	0,7	НО	0,980
БУГ	200	0,707	0,450	0,400	1,026	0,1	2,174	0,7	НО	0,990
БУД	200	0,749	0,450	0,400	0,969	0,1	2,564	0,7	НО	0,990

Продолжение Таблицы В.10

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
БУЕ	200	0,515	0,450	0,400	0,434	0,1	0,824	0,7	НО	0,921
БУЖ	199	0,693	0,452	0,400	0,770	0,1	1,824	0,7	НО	0,970
БУК	199	0,698	0,452	0,400	1,066	0,1	2,457	0,7	НО	0,990
ВУГ	200	0,481	0,450	0,400	0,859	0,1	0,765	0,7	НО	0,941
ВУД	200	0,546	0,450	0,400	1,703	0,1	1,367	0,7	НО	1,000
ВУЕ	200	0,523	0,450	0,400	0,962	0,1	1,080	0,7	НО	1,000
ВУЖ	199	0,508	0,452	0,400	1,404	0,1	1,130	0,7	НО	0,990
ВУК	199	0,439	0,452	0,400	0,351	0,1	0,332	0,7	О	0,251
ГУД	200	0,633	0,450	0,400	1,934	0,1	2,943	0,7	НО	1,000
ГУЕ	200	0,616	0,450	0,400	4,401	0,1	2,665	0,7	НО	1,000
ГУЖ	199	0,610	0,452	0,400	3,361	0,1	3,103	0,7	НО	1,000
ГУК	199	0,545	0,452	0,400	1,544	0,1	1,624	0,7	НО	1,000
ДУЕ	200	0,632	0,450	0,400	0,563	0,1	1,088	0,7	НО	0,990
ДУЖ	199	0,503	0,452	0,452	0,276	0,1	0,420	0,7	О	0,251
ДУК	199	0,517	0,452	0,452	0,674	0,1	0,925	0,7	НО	0,990
ЕУЖ	199	0,512	0,452	0,452	0,499	0,1	0,832	0,7	НО	0,970
ЕУК	199	0,593	0,452	0,400	1,485	0,1	1,854	0,7	НО	1,000
ЖУК	198	0,449	0,453	0,400	1,264	0,1	1,022	0,7	НО	1,000
Среднее значение индекса I_R (I_R^{OB})										0,909

Таблица В.11 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ
1526ЛА10 при ДН=3-СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А _ч УБ _ч	100	0,611	0,600	0,400	0,328	0,1	0,577	0,7	О	0,247
А _ч УВ _ч	100	0,724	0,600	0,400	3,611	0,1	3,016	0,7	НО	1,000
А _ч УГ _ч	100	0,806	0,600	0,400	6,946	0,1	5,422	0,7	НО	1,000
А _ч УД _ч	100	0,829	0,600	0,400	3,149	0,1	6,631	0,7	НО	1,000
А _ч УЕ _ч	100	0,673	0,600	0,400	2,015	0,1	2,228	0,7	НО	1,000
А _ч УЖ _ч	100	0,773	0,600	0,400	2,913	0,1	3,725	0,7	НО	1,000
А _ч УК _ч	100	0,786	0,600	0,400	4,229	0,1	4,925	0,7	НО	1,000
Б _ч УВ _ч	100	0,634	0,600	0,400	0,574	0,1	0,894	0,7	НО	0,980
Б _ч УГ _ч	100	0,724	0,600	0,400	1,245	0,1	2,485	0,7	НО	1,000
Б _ч УД _ч	100	0,727	0,600	0,400	0,585	0,1	1,552	0,7	НО	0,980
Б _ч УЕ _ч	100	0,505	0,600	0,400	0,417	0,1	0,877	0,7	НО	0,960
Б _ч УЖ _ч	100	0,667	0,600	0,400	0,606	0,1	1,289	0,7	НО	0,960
Б _ч УК _ч	100	0,696	0,600	0,400	0,898	0,1	1,899	0,7	НО	0,980
В _ч УГ _ч	100	0,490	0,600	0,400	1,410	0,1	0,944	0,7	НО	0,921
В _ч УД _ч	100	0,536	0,600	0,400	1,931	0,1	1,397	0,7	НО	1,000
В _ч УЕ _ч	100	0,521	0,600	0,400	1,285	0,1	1,191	0,7	НО	1,000
В _ч УЖ _ч	100	0,503	0,600	0,400	1,618	0,1	1,069	0,7	НО	0,980
В _ч УК _ч	100	0,457	0,600	0,400	0,584	0,1	0,811	0,7	НО	0,960
Г _ч УД _ч	100	0,616	0,600	0,400	4,353	0,1	2,772	0,7	НО	1,000

Продолжение Таблицы В.11

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,631	0,600	0,400	3,306	0,1	2,377	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,600	0,600	0,400	3,645	0,1	2,416	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup К_q$	100	0,553	0,600	0,400	1,726	0,1	1,572	0,7	НО	1,000
$Д_q \cup E_q$	100	0,619	0,600	0,400	0,408	0,1	0,775	0,7	НО	0,980
$Д_q \cup Ж_q$	100	0,474	0,600	0,600	0,137	0,1	0,166	0,7	О	0,247
$Д_q \cup К_q$	100	0,490	0,600	0,400	0,627	0,1	0,725	0,7	НО	0,980
$E_q \cup Ж_q$	100	0,509	0,600	0,400	0,537	0,1	0,912	0,7	НО	0,960
$E_q \cup К_q$	100	0,600	0,600	0,400	1,479	0,1	1,781	0,7	НО	1,000
$Ж_q \cup К_q$	100	0,449	0,600	0,600	1,152	0,1	0,919	0,7	НО	1,000
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,933

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке В.3 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при $ДН=3 \cdot СКОп^*$.

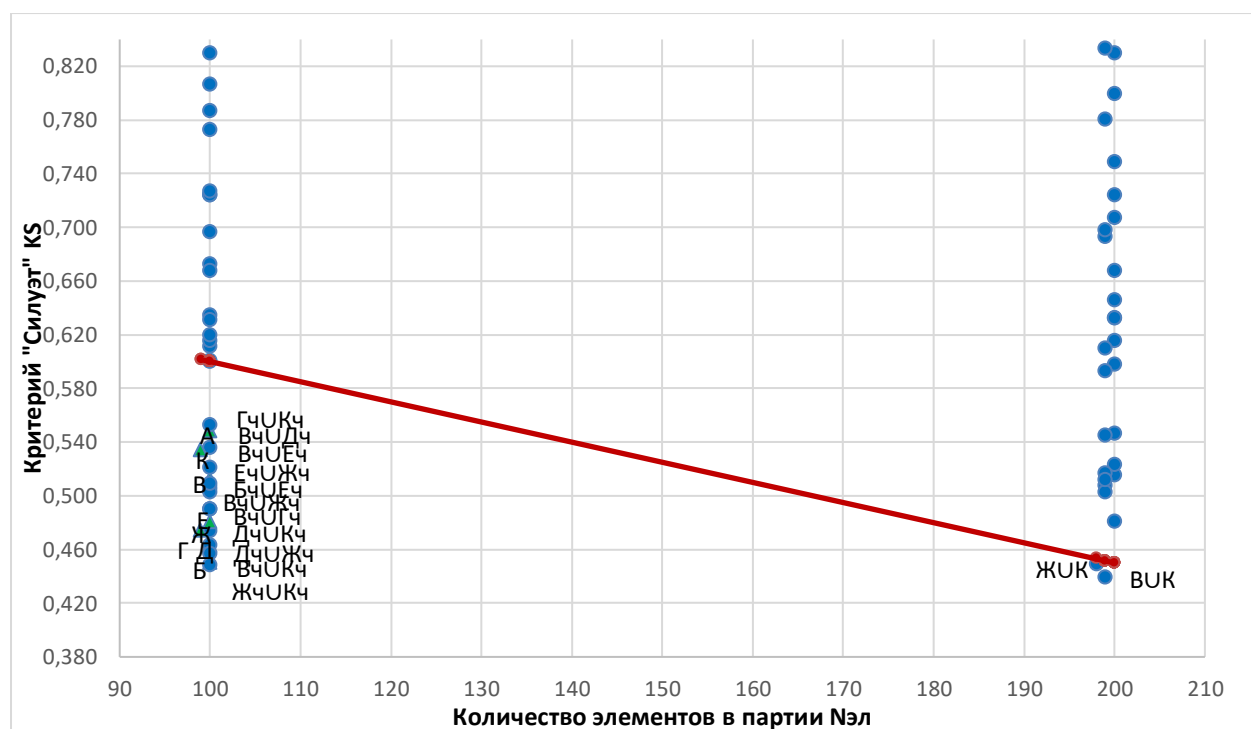


Рисунок В.3 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ ЭКБ 1526ЛА10 и парных объединениях партий ОВ и OB_p при $ДН=3 \cdot СКОп^*$

На Рисунке В.3:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий $ОВ$ и $ОВ_p$;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл.п.}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий $ОВ$ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий $ОВ$ и $ОВ_p$, лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку В.3 максимально качественное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Все точки, соответствующие партиям $ОВ$ лежат ниже линии разделения.
- Точки, соответствующие парным объединениям партий $ОВ$ и $ОВ_p$ (за исключением партий $ВUK$, $ЖUK$, $Б_q \cup E_q$, $В_q \cup Г_q$, $В_q \cup Д_q$, $В_q \cup E_q$, $В_q \cup Ж_q$, $В_q \cup K_q$, $Г_q \cup K_q$, $Д_q \cup Ж_q$, $Д_q \cup K_q$, $E_q \cup Ж_q$, $Ж_q \cup K_q$) лежат выше линии разделения. Для партий $ВUK$ и $Д_q \cup Ж_q$ эти не имеет значение, т.к. эти партия все равно определяется как однородная по критерию $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. Для партий $ЖUK$, $Б_q \cup E_q$, $В_q \cup Г_q$, $В_q \cup Д_q$, $В_q \cup E_q$, $В_q \cup Ж_q$, UK_q , $Г_q \cup K_q$, $Д_q \cup K_q$, $E_q \cup Ж_q$, $Ж_q \cup K_q$ выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается определением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep.kS}^{d/r}$.

Для обеспечения однородности партии E требуется выполнение условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$. Отсюда получим: $B_{sep}^{d/l} > 0,682$. Отсюда примем: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$

Величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ на определение однородности партий $ОВ$ не влияет, т.к. в данном случае однородность партий $ОВ$ определяются выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Определим коэффициент $k_{sep.kS}^{d/r}$ из условия выполнения условия $KS \geq B_{KS}$ для партий $ОВ$ $ЖUK$, $Б_q \cup E_q$, $В_q \cup Г_q$, $В_q \cup Д_q$, $В_q \cup E_q$, $В_q \cup Ж_q$, $Г_q \cup K_q$, $Д_q \cup K_q$, $E_q \cup Ж_q$, $Ж_q \cup K_q$: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 0,417$. Поэтому, с учетом запаса, примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при $ДН=3 \cdot СКОп^*$:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.ks}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{Rs}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,921$.

4) Результаты тестирования обученного алгоритма АГ

В Таблицах В.12, В.13 представлены результаты тестирования алгоритма АГ по ТВ при ДН=3·СКОп*.

Таблица В.12 - Результаты определения однородности партий ТВ ЭКБ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
М	109	0,465	0,587	0,351	0,380	0,1	0,475	0,7	О
Н	100	0,525	0,600	0,360	0,446	0,1	0,497	0,7	О
Р	100	0,580	0,600	0,600	0,254	0,1	0,255	0,7	О
С	102	0,382	0,597	0,597	0,183	0,1	0,156	0,7	О

Таблица В.13 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ТВ 1526ЛА10 при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
МУН	209	0,621	0,437	0,300	1,297	0,1	1,814	0,7	НО	1,000
МУР	209	0,724	0,437	0,300	2,853	0,1	3,327	0,7	НО	1,000
МУС	211	0,757	0,434	0,300	2,137	0,1	3,247	0,7	НО	1,000
НУР	200	0,739	0,450	0,300	2,028	0,1	2,453	0,7	НО	1,000
НУС	202	0,714	0,447	0,300	1,403	0,1	2,083	0,7	НО	1,000
РУС	202	0,783	0,447	0,300	6,334	0,1	4,689	0,7	НО	1,000
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{TB})$										1,000

5) ВЫВОДЫ по результатам определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 1526ЛА10

Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 1526ЛА10 при разных способах нормирования характеристик ЭКБ приведены в Таблице В.14

Таблица В.14 - Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 1526ЛА10

	ДН=ДЗ	ДН=3·СКО _{ов} *	ДН=3·СКО _п *
I_{RS}^{OB}	0,882	0,873	0,921
I_R^{TB}	-	-	1,000
$I_R = \min(I_{RS}^{OB}; I_R^{TB})$	-	-	0,921

На основании вышеприведенных данных можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

а) Наибольшую эффективность АГ обеспечивает комбинированный способ нормирования характеристик ЭКБ (ДН=3·СКО_п*).

б) АГ партий ЭКБ 1526ЛА10 (при ДН=3·СКО_п*) осуществляется с эффективностью: $I_R=0,921$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 564ЛА7В

В данном разделе приведен пример определения параметров алгоритма АГ для партий микросхем 564ЛА7В.

Сведения о партиях ОВ и ТВ, используемых для определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 564ЛА7В, представлена в Таблице Г.1.

Таблица Г.1 - Сведения о партиях ОВ ЭКБ 564ЛА7В

п.н.	Инд	КП	ДИ	КВИ	КРРИ	ДИсп	$N_{эл}$
ОВ							
1	А	302	1023	002	008831	20.05.2011	99
2	Б	70	1241	002	011617	23.01.2013	130
3	В	376	1302	002	011880	22.04.2013	100
4	Г	360	1446	002	014731	27.03.2015	94
5	Д	491	1507	002	001880	20.08.2015	100
6	Е	359	1546	002	002369	05.04.2016	100
7	Ж	485	1949	002	005978	11.02.2020	65
8	К	34	2005	002	020830	25.03.2020	142
ТВ							
1	М	245	2052	002	022941	22.03.2021	100
2	Р	234	07.36	002	000176	25.01.2008	95
3	С	189	09.41	002	000972	20.05.2010	48
4	Ф	234	06.11	002	000011	05.12.2007	43

В Таблице Г.2 приведены сведения о ТП и соответствующих им ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 564ЛА7В.

Таблица Г.2 - Сведения о ТП и соответствующих им ДЗ, используемых для АГ элементов партий ЭКБ 564ЛА7В

ТП	T11-T26	T27-T42	T43-T58	T59-T66	T67-T69	T70-T120
ДЗ	0,000006	0,005	0,03	0,05	0,00001	0,01
ТП	T122-T123	T124	T125-T126	T127	T128-T129	T130
ДЗ	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01
ТП	T131-T132	T133	T135-T136	T137	T138-T139	T140
ДЗ	0,005	0,01	0,03	0,05	0,03	0,05
ТП	T141-T142	T143	T144-T145	T146		
ДЗ	0,03	0,05	0,03	0,05		

1) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ

В Таблицах Г.3–Г.5 представлены результаты определения однородности партий ОВ 564ЛА7В и АГ парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$ при ДН=ДЗ.

Таблица Г.3 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	O/HO
А	99	0,547	0,602	0,602	0,106	0,1	0,185	0,7	О
Б	130	0,751	0,555	0,555	0,085	0,1	0,681	0,7	О
В	100	0,672	0,600	0,600	0,166	0,1	0,453	0,7	О
Г	94	0,611	0,609	0,609	0,063	0,1	0,176	0,7	О
Д	100	0,612	0,600	0,600	0,102	0,1	0,278	0,7	О
Е	100	0,677	0,600	0,600	0,084	0,1	0,206	0,7	О
Ж	65	0,686	0,653	0,653	0,111	0,1	0,275	0,7	О
К	142	0,614	0,537	0,537	0,137	0,1	0,328	0,7	О

Таблица Г.4 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=ДЗ

[illegible]

Таблица Г.5 - Результаты АГ элементов парных объединений партий OB_p ЭКБ 564ЛА7В при ДН=ДЗ

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	100	0,852	0,60	0,36	1,497	0,1	13,50	0,7	НО	1,000
$A_q \cup B_q$	100	0,876	0,60	0,36	1,419	0,1	9,186	0,7	НО	0,980
$A_q \cup \Gamma_q$	100	0,889	0,60	0,36	1,789	0,1	12,85	0,7	НО	1,000
$A_q \cup D_q$	100	0,704	0,60	0,36	0,466	0,1	1,430	0,7	НО	0,980
$A_q \cup E_q$	100	0,864	0,60	0,36	0,995	0,1	7,500	0,7	НО	1,000
$A_q \cup Ж_q$	100	0,797	0,60	0,36	0,420	0,1	2,707	0,7	НО	0,980
$A_q \cup K_q$	100	0,851	0,60	0,36	0,987	0,1	6,393	0,7	НО	0,980
$B_q \cup B_q$	100	0,667	0,60	0,60	0,308	0,1	1,388	0,7	НО	0,983
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,612	0,60	0,60	0,131	0,1	0,382	0,7	О	0,247
$B_q \cup D_q$	100	0,815	0,60	0,36	0,827	0,1	0,827	0,7	НО	1,000
$B_q \cup E_q$	100	0,719	0,60	0,60	0,318	0,1	1,564	0,7	НО	1,000
$B_q \cup Ж_q$	100	0,696	0,60	0,60	0,314	0,1	1,539	0,7	НО	1,000
$B_q \cup K_q$	100	0,773	0,60	0,36	0,553	0,1	2,687	0,7	НО	0,622
$V_q \cup \Gamma_q$	100	0,650	0,60	0,36	3,810	0,1	4,353	0,7	НО	1,000
$V_q \cup D_q$	100	0,838	0,60	0,36	0,704	0,1	4,657	0,7	НО	0,980
$V_q \cup E_q$	100	0,653	0,60	0,60	0,111	0,1	0,371	0,7	О	0,247
$V_q \cup Ж_q$	100	0,770	0,60	0,36	0,727	0,1	3,999	0,7	НО	0,980
$V_q \cup K_q$	100	0,744	0,60	0,36	0,951	0,1	3,866	0,7	НО	0,980
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,854	0,60	0,36	0,790	0,1	6,472	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,685	0,60	0,60	0,270	0,1	1,136	0,7	НО	0,883
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,750	0,60	0,36	0,363	0,1	1,969	0,7	НО	0,941
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,652	0,60	0,36	0,374	0,1	1,275	0,7	НО	0,809
$D_q \cup E_q$	100	0,800	0,60	0,36	0,314	0,1	1,952	0,7	НО	0,921
$D_q \cup Ж_q$	100	0,719	0,60	0,36	0,049	0,1	0,226	0,7	О	0,247
$D_q \cup K_q$	100	0,820	0,60	0,36	0,707	0,1	3,936	0,7	НО	0,941
$E_q \cup Ж_q$	100	0,706	0,60	0,36	0,634	0,1	2,694	0,7	НО	1,000
$E_q \cup K_q$	100	0,699	0,60	0,36	1,967	0,1	4,888	0,7	НО	1,000
$Ж_q \cup K_q$	100	0,595	0,60	0,60	0,126	0,1	0,284	0,7	О	0,247
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,855

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке Г.1 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при ДН=ДЗ.

На Рисунке Г.1:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл.п.}$.

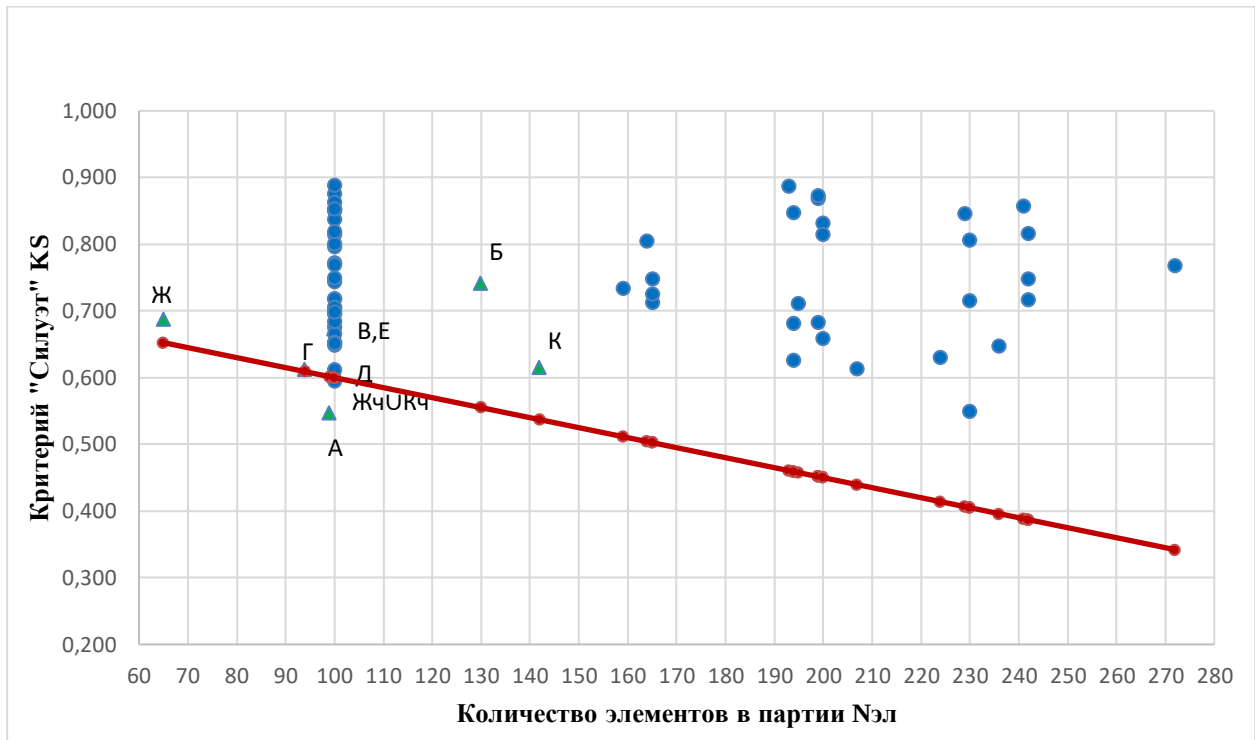


Рисунок Г.1 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях ОВ 564ЛА7В и парных объединениях партий ОВ и $ОВ_p$ при ДН=ДЗ

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;
- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и $ОВ_p$, лежали выше линии разделения.

Согласно Рисунку Г.1 максимально эффективное решение получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Все точки, соответствующие партиям ОВ (за исключением партии А) лежат выше линии разделения. Но это не имеет значения, т.к. партии ОВ определяются как однородные по выполнению условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

- партий ОВ и $ОВ_p$, т.к. партия ЖЧУКЧ все равно определяется как однородная по выполнению условия $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия выполнения неравенства: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ для всех партий ОВ: $0,681 < B_{sep}^{d/l}$. Откуда получим: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$.

Величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ на определение однородности партий ОВ не влияет, т.к. в данном случае однородность партий ОВ определяется выполнением условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Для парных объединений партий ОВ и OB_p , для которых возможна эффективная группировка, выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ обеспечивается и без дополнительного уменьшения коэффициента B_{KS} .

В данном случае определим значение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ исходя из повышения минимального запаса выполнения условия $KS \geq B_{KS}$ (в нашем случае – для партии $\Gamma_q \cup K_q$: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 0,374$. Поэтому примем: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=ДЗ:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.kS}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,853$.

2) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*

В Таблице Г.6–Г4.8 представлены результаты определения однородности партий ОВ 564ЛА7В и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОов*.

Таблица Г.6 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	99	0,485	0,602	0,602	0,494	0,1	0,395	0,7	О
Б	130	0,740	0,555	0,555	0,137	0,1	0,697	0,7	О
В	100	0,388	0,600	0,600	0,034	0,1	0,027	0,7	О
Г	94	0,535	0,609	0,609	0,265	0,1	0,279	0,7	О
Д	100	0,388	0,600	0,600	0,121	0,1	0,100	0,7	О
Е	100	0,455	0,600	0,600	0,315	0,1	0,248	0,7	О
Ж	65	0,568	0,653	0,653	0,347	0,1	0,349	0,7	О
К	142	0,497	0,537	0,537	0,186	0,1	0,173	0,7	О

Таблица Г.7 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
АУБ	229	0,723	0,407	0,3	1,169	0,1	2,842	0,7	НО	1,000
АУВ	199	0,822	0,452	0,3	2,789	0,1	4,631	0,7	НО	1,000
АУГ	193	0,752	0,461	0,3	1,417	0,1	2,345	0,7	НО	1,000
АУД	199	0,797	0,452	0,3	2,089	0,1	3,159	0,7	НО	1,000
АУЕ	199	0,814	0,452	0,3	4,501	0,1	4,689	0,7	НО	1,000
АУЖ	164	0,818	0,504	0,3	2,034	0,1	3,875	0,7	НО	1,000
АУК	241	0,683	0,389	0,3	1,515	0,1	1,872	0,7	НО	1,000
БУВ	230	0,696	0,405	0,3	3,098	0,1	3,117	0,7	НО	1,000
БУГ	224	0,494	0,414	0,414	0,190	0,1	0,199	0,7	О	0,336
БУД	230	0,741	0,405	0,3	2,286	0,1	3,919	0,7	НО	1,000
БУЕ	230	0,672	0,405	0,3	7,564	0,1	3,752	0,7	НО	1,000
БУЖ	195	0,713	0,458	0,3	1,124	0,1	2,101	0,7	НО	1,000
БУК	272	0,567	0,342	0,3	0,122	0,1	0,208	0,7	О	0,272
ВУГ	194	0,740	0,459	0,3	4,244	0,1	3,834	0,7	НО	1,000
ВУД	200	0,817	0,450	0,3	3,799	0,1	4,773	0,7	НО	1,000
ВУЕ	200	0,726	0,450	0,3	2,947	0,1	2,858	0,7	НО	1,000
ВУЖ	165	0,799	0,503	0,3	3,764	0,1	4,756	0,7	НО	1,000
ВУК	242	0,773	0,387	0,3	3,545	0,1	3,986	0,7	НО	1,000
ГУД	194	0,687	0,459	0,3	2,829	0,1	1,452	0,7	НО	1,000
ГУЕ	194	0,719	0,459	0,3	2,048	0,1	2,378	0,7	НО	1,000
ГУЖ	159	0,653	0,512	0,3	0,553	0,1	1,045	0,7	НО	1,000
ГУК	236	0,563	0,396	0,3	0,551	0,1	0,725	0,7	НО	0,992
ДУЕ	200	0,785	0,450	0,3	2,070	0,1	3,515	0,7	НО	1,000
ДУЖ	165	0,724	0,503	0,3	1,316	0,1	2,081	0,7	НО	1,000
ДУК	242	0,762	0,387	0,3	1,530	0,1	2,836	0,7	НО	0,992
ЕУЖ	165	0,813	0,503	0,3	3,356	0,1	4,965	0,7	НО	1,000
ЕУК	242	0,765	0,387	0,3	5,068	0,1	4,425	0,7	НО	1,000
ЖУК	207	0,693	0,440	0,3	0,498	0,1	1,017	0,7	НО	0,981
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB})$										0,944

Таблица Г.8 - Результаты АГ элементов парных объединений партий $ОВ_p$ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОов*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$A_q \cup B_q$	100	0,756	0,600	0,4	1,691	0,1	3,228	0,7	НО	1,000
$A_q \cup B_{\bar{q}}$	100	0,844	0,600	0,4	3,060	0,1	4,715	0,7	НО	1,000
$A_q \cup \Gamma_q$	100	0,779	0,600	0,4	1,639	0,1	2,339	0,7	НО	1,000
$A_q \cup D_q$	100	0,827	0,600	0,4	3,365	0,1	4,067	0,7	НО	1,000
$A_q \cup E_q$	100	0,814	0,600	0,4	3,622	0,1	4,329	0,7	НО	1,000
$A_q \cup \bar{J}_q$	100	0,835	0,600	0,4	2,337	0,1	4,319	0,7	НО	1,000
$A_q \cup K_q$	100	0,711	0,600	0,4	1,052	0,1	1,568	0,7	НО	1,000
$B_q \cup B_{\bar{q}}$	100	0,729	0,600	0,4	3,411	0,1	3,183	0,7	НО	1,000

Продолжение Таблицы Г.8

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,502	0,600	0,6	0,300	0,1	0,341	0,7	О	0,247
$B_q \cup D_q$	100	0,759	0,600	0,4	2,678	0,1	3,790	0,7	НО	1,000
$B_q \cup E_q$	100	0,699	0,600	0,4	6,897	0,1	3,671	0,7	НО	1,000
$B_q \cup Ж_q$	100	0,725	0,600	0,4	1,492	0,1	2,466	0,7	НО	1,000
$B_q \cup K_q$	100	0,561	0,600	0,6	0,215	0,1	0,340	0,7	О	0,247
$V_q \cup \Gamma_q$	100	0,779	0,600	0,4	4,578	0,1	3,812	0,7	НО	1,000
$V_q \cup D_q$	100	0,840	0,600	0,4	4,247	0,1	4,716	0,7	НО	1,000
$V_q \cup E_q$	100	0,748	0,600	0,4	3,143	0,1	2,843	0,7	НО	1,000
$V_q \cup Ж_q$	100	0,799	0,600	0,4	3,764	0,1	4,756	0,7	НО	1,000
$V_q \cup K_q$	100	0,781	0,600	0,4	3,491	0,1	3,873	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,741	0,600	0,4	3,289	0,1	2,508	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,732	0,600	0,4	3,127	0,1	2,515	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,716	0,600	0,4	0,913	0,1	1,429	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,468	0,600	0,4	1,343	0,1	0,807	0,7	НО	1,000
$D_q \cup E_q$	100	0,785	0,600	0,4	3,521	0,1	3,488	0,7	НО	1,000
$D_q \cup Ж_q$	100	0,741	0,600	0,4	1,767	0,1	2,319	0,7	НО	1,000
$D_q \cup K_q$	100	0,737	0,600	0,4	2,449	0,1	2,684	0,7	НО	1,000
$E_q \cup Ж_q$	100	0,832	0,600	0,4	3,619	0,1	5,022	0,7	НО	1,000
$E_q \cup K_q$	100	0,744	0,600	0,4	5,142	0,1	3,408	0,7	НО	1,000
$Ж_q \cup K_q$	100	0,686	0,600	0,4	0,364	0,1	0,786	0,7	НО	1,000
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,946

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке Г.2 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединениях партий ОВ и OB_p при $ДН=3 \cdot СКО_{ов}^*$.

На Рисунке Г.2:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл.п.}$

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;

- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий $ОВ$ и $ОВ_p$, лежали выше линии разделения.

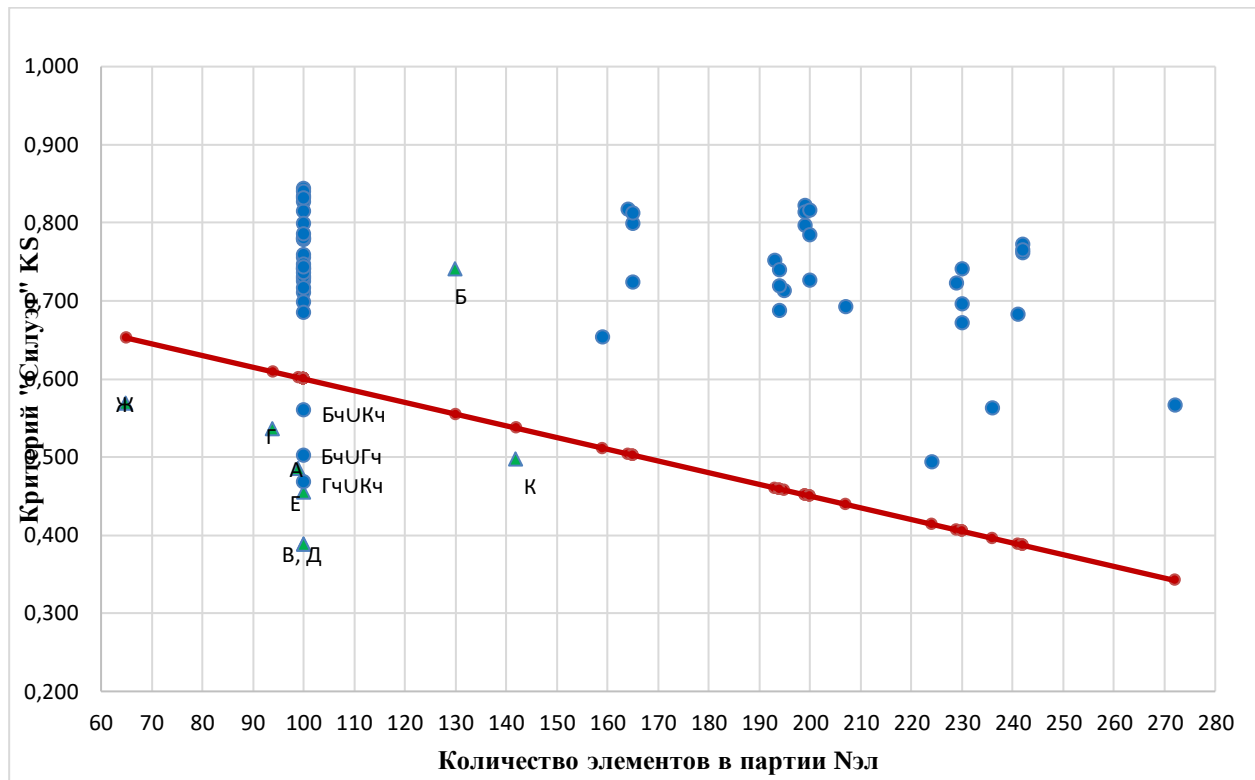


Рисунок Г.2 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях $ОВ$ 564ЛА7В и парных объединениях партий $ОВ$ и $ОВ_p$ при $ДН=3 \cdot СКО_{ов}^*$

Согласно Рисунку Г.2 максимально эффективная группировка получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Все точки, соответствующие партиям $ОВ$ (за исключением партии Б) лежат ниже линии разделения. Для партии Б это не имеет значения, т.к. эта партия определяется как однородная по выполнению условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

- Все точки, соответствующие парным объединениям партий $ОВ$ и $ОВ_p$ (за исключением партий $Б_чУГ_ч$, $Б_чУК_ч$, $Г_чУК_ч$) лежат выше линии разделения. При этом наличие этого исключения не отражается на общей эффективности АГ, т.к. партии $Б_чУГ_ч$ и $Б_чУК_ч$ все равно определяются как однородные по условию $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$, а выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ для партии $Г_чУК_ч$ обеспечивается уменьшением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep,ks}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия выполнения неравенства: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$ для партии Б: $0,697 < B_{sep}^{d/l}$. Откуда получим: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$

Величина коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ на определение однородности партий ОВ не влияет, т.к. в данном случае однородность партий ОВ определяются выполнением условия $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициента $k_{sep.kS}^{d/r}$ определим из условия выполнения неравенства $KS \geq B_{KS}$ для партии $\Gamma_q \cup K_q$: $k_{sep.kS}^{d/r} \leq 1,343$. Величина 1,343 является слишком большой, поэтому примем как в варианте ДН=ДЗ: $k_{sep.kS}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОов*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{KS}=0,0015$; $\beta_{KS}=0,75$; $B_{sep}^{d/l}=0,7$; $k_{sep.kS}^{d/r}=0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{RS}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,945$.

3) Определение параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*

В Таблицах Г.9–Г.11 представлены результаты определения однородности партий ОВ 564ЛА7В и АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p при ДН=3·СКОп*.

Таблица Г.9 - Результаты определения однородности партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
А	99	0,431	0,602	0,602	0,198	0,1	0,173	0,7	О
Б	130	0,602	0,555	0,555	0,133	0,1	0,223	0,7	О
В	100	0,419	0,600	0,600	0,075	0,1	0,074	0,7	О
Г	94	0,429	0,609	0,609	0,167	0,1	0,144	0,7	О
Д	100	0,424	0,600	0,600	0,132	0,1	0,119	0,7	О
Е	100	0,462	0,600	0,600	0,178	0,1	0,159	0,7	О
Ж	65	0,458	0,653	0,653	0,350	0,1	0,311	0,7	О
К	142	0,453	0,537	0,537	0,160	0,1	0,143	0,7	О

Таблица Г.10 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
АУБ	229	0,635	0,407	0,400	0,997	0,1	1,752	0,7	НО	1,000
АУВ	199	0,746	0,452	0,400	2,731	0,1	3,104	0,7	НО	1,000
АУГ	193	0,714	0,461	0,400	1,340	0,1	1,995	0,7	НО	0,990
АУД	199	0,752	0,452	0,400	1,238	0,1	2,087	0,7	НО	0,980
АУЕ	199	0,784	0,452	0,400	4,142	0,1	3,833	0,7	НО	1,000
АУЖ	164	0,782	0,504	0,400	2,325	0,1	3,749	0,7	НО	1,000
АУК	241	0,676	0,389	0,400	1,670	0,1	2,037	0,7	НО	1,000
БУВ	230	0,644	0,405	0,400	4,325	0,1	2,972	0,7	НО	1,000
БУГ	224	0,526	0,414	0,414	0,130	0,1	0,240	0,7	О	0,336
БУД	230	0,664	0,405	0,400	2,762	0,1	2,879	0,7	НО	1,000
БУЕ	230	0,639	0,405	0,400	6,172	0,1	3,334	0,7	НО	1,000
БУЖ	195	0,624	0,458	0,400	1,018	0,1	1,658	0,7	НО	1,000
БУК	272	0,606	0,342	0,400	0,143	0,1	0,281	0,7	О	0,228
ВУГ	194	0,653	0,459	0,400	3,710	0,1	3,014	0,7	НО	1,000
ВУД	200	0,797	0,450	0,400	3,550	0,1	4,272	0,7	НО	1,000
ВУЕ	200	0,673	0,450	0,400	1,301	0,1	1,861	0,7	НО	1,000
ВУЖ	165	0,760	0,503	0,400	2,539	0,1	3,722	0,7	НО	1,000
ВУК	242	0,666	0,387	0,400	1,906	0,1	2,360	0,7	НО	1,000
ГУД	194	0,625	0,459	0,400	2,897	0,1	1,927	0,7	НО	1,000
ГУЕ	194	0,705	0,459	0,400	1,882	0,1	2,502	0,7	НО	1,000
ГУЖ	159	0,638	0,512	0,400	0,414	0,1	0,738	0,7	НО	1,000
ГУК	236	0,527	0,396	0,400	0,218	0,1	0,879	0,7	НО	0,933
ДУЕ	200	0,778	0,450	0,400	3,755	0,1	3,784	0,7	НО	1,000
ДУЖ	165	0,712	0,503	0,400	1,201	0,1	1,847	0,7	НО	1,000
ДУК	242	0,723	0,387	0,400	1,603	0,1	2,322	0,7	НО	1,000
ЕУЖ	165	0,772	0,503	0,400	3,207	0,1	4,148	0,7	НО	1,000
ЕУК	242	0,661	0,387	0,400	6,947	0,1	3,241	0,7	НО	1,000
ЖУК	207	0,672	0,440	0,400	0,579	0,1	1,032	0,7	НО	0,981
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB})$										0,945

Таблица Г.11 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ОВ_р ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
А _ч УБ _ч	100	0,680	0,600	0,400	1,761	0,1	2,224	0,7	НО	1,000
А _ч УВ _ч	100	0,777	0,600	0,400	2,823	0,1	3,053	0,7	НО	1,000
А _ч УГ _ч	100	0,745	0,600	0,400	1,818	0,1	2,158	0,7	НО	1,000
А _ч УД _ч	100	0,785	0,600	0,400	2,244	0,1	3,135	0,7	НО	1,000
А _ч УЕ _ч	100	0,783	0,600	0,400	3,347	0,1	3,483	0,7	НО	1,000
А _ч УЖ _ч	100	0,790	0,600	0,400	2,521	0,1	3,721	0,7	НО	1,000
А _ч УК _ч	100	0,700	0,600	0,400	1,162	0,1	1,726	0,7	НО	1,000
Б _ч УВ _ч	100	0,675	0,600	0,400	4,859	0,1	2,969	0,7	НО	1,000

Продолжение Таблицы Г.11

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
$B_q \cup \Gamma_q$	100	0,547	0,600	0,600	0,337	0,1	0,486	0,7	О	0,247
$B_q \cup D_q$	100	0,685	0,600	0,400	4,940	0,1	3,196	0,7	НО	1,000
$B_q \cup E_q$	100	0,667	0,600	0,400	5,976	0,1	3,310	0,7	НО	1,000
$B_q \cup Ж_q$	100	0,642	0,600	0,400	1,147	0,1	1,710	0,7	НО	1,000
$B_q \cup K_q$	100	0,597	0,600	0,600	0,187	0,1	0,323	0,7	О	0,247
$V_q \cup \Gamma_q$	100	0,642	0,600	0,400	2,488	0,1	4,584	0,7	НО	1,000
$V_q \cup D_q$	100	0,822	0,600	0,400	3,858	0,1	4,186	0,7	НО	1,000
$V_q \cup E_q$	100	0,689	0,600	0,400	1,263	0,1	1,735	0,7	НО	1,000
$V_q \cup Ж_q$	100	0,780	0,600	0,400	2,893	0,1	3,772	0,7	НО	1,000
$V_q \cup K_q$	100	0,674	0,600	0,400	2,110	0,1	2,390	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup D_q$	100	0,687	0,600	0,400	2,631	0,1	1,981	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup E_q$	100	0,718	0,600	0,400	2,353	0,1	2,618	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup Ж_q$	100	0,719	0,600	0,400	1,615	0,1	1,952	0,7	НО	1,000
$\Gamma_q \cup K_q$	100	0,503	0,600	0,400	0,724	0,1	0,716	0,7	НО	1,000
$D_q \cup E_q$	100	0,783	0,600	0,400	3,380	0,1	3,413	0,7	НО	1,000
$D_q \cup Ж_q$	100	0,720	0,600	0,400	1,374	0,1	2,010	0,7	НО	1,000
$D_q \cup K_q$	100	0,718	0,600	0,400	2,054	0,1	2,379	0,7	НО	1,000
$E_q \cup Ж_q$	100	0,765	0,600	0,400	3,898	0,1	4,150	0,7	НО	1,000
$E_q \cup K_q$	100	0,667	0,600	0,400	6,092	0,1	3,101	0,7	НО	1,000
$Ж_q \cup K_q$	100	0,650	0,600	0,400	0,530	0,1	0,872	0,7	НО	0,980
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{OB_p})$										0,946

а) Определение коэффициентов α_{ks} , β_{ks} .

На Рисунке Г.3 представлена зависимость критерия «Силуэт» от количества элементов в партиях ОВ и парных объединений партий ОВ и OB_p при $ДН=3 \cdot СКОп^*$.

На Рисунке Г.3:

- точки, обозначенные символом «Δ», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ;

- точки, обозначенные символом «о», соответствуют максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p ;

- линия разделения – это график зависимости: $KS_{min}^* = \beta_{ks} - \alpha_{ks} \cdot N_{эл}$.

Задача определения параметров α_{ks} , β_{ks} заключается в том, чтобы:

- точки, соответствующие максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при определении однородности партий ОВ лежали ниже линии разделения;

- как можно большее количество точек, соответствующих максимальным значениям критерия «Силуэт» KS , полученным при АГ элементов парных объединений партий $ОВ$ и $ОВ_p$, лежали выше линии разделения.

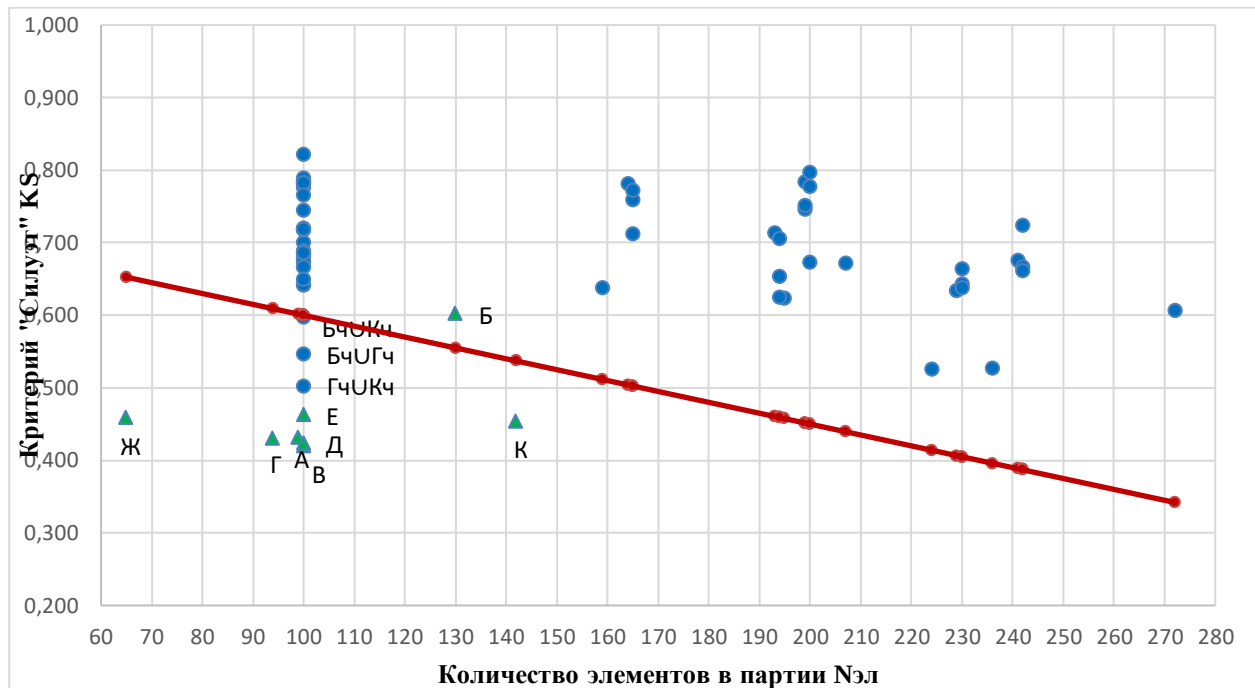


Рисунок Г.3 - Зависимость критерия "Силуэт" от количества элементов в партиях $ОВ$ 564ЛА7В и парных объединениях партий $ОВ$ и $ОВ_p$ при $ДН=3 \cdot СКОп^*$

Согласно Рисунок Г.3 максимальная эффективность АГ получается при $\alpha_{ks}=0,0015$; $\beta_{ks}=0,75$.

При этом:

- Все точки, соответствующие партиям $ОВ$ (за исключением партии $Б$) лежат ниже линии разделения. Для партии $Б$ это неважно, т.к. эта партия определяется как однородная по выполнению условия: $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

- Все точки, соответствующие парным объединениям партий $ОВ$ и $ОВ_p$ (за исключением партий $Б_чУГ_ч$, $Б_чУК_ч$, $Г_чУК_ч$) лежат выше линии разделения. При этом наличие этого исключения не отражается на эффективности АГ элементов парных объединений партий $ОВ$ и $ОВ_p$, т.к. партии $Б_чУГ_ч$ и $Б_чУК_ч$ определяются как однородные по условию $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$, а выполнение условия $KS \geq B_{KS}$ для партии $Г_чУК_ч$ обеспечивается уменьшением величины B_{KS} по формуле $B_{KS} = \lambda_{ks} \cdot KS_{min}^*$ при выполнении неравенства $k_{sep}^{d/r} \geq k_{sep,ks}^{d/r}$.

б) Определение коэффициента $B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициент $B_{sep}^{d/l}$ определяется из условия одновременного выполнения двух неравенств:

$$- k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l} \text{ для партии Б;}$$

$$- k_{sep}^{d/l} \geq B_{sep}^{d/l} \text{ для сборных партии ОВ, для которых возможно эффективное АГ.}$$

На основании этих требований получим: $0,223 < B_{sep}^{d/l} \leq 0,716$. Откуда получим: $B_{sep}^{d/l} = 0,7$.

в) Определение коэффициента $k_{sep.ks}^{d/r}$.

Величина коэффициента $k_{sep.ks}^{d/r}$ на определение однородности партий ОВ не влияет, т.к. в данном случае однородность партий ОВ определяются выполнением условия $k_{sep}^{d/l} < B_{sep}^{d/l}$.

Коэффициента $k_{sep.ks}^{d/r}$ определим из условия выполнения неравенства $KS \geq B_{KS}$ для партии $\Gamma_{\text{ч}} \cup K_{\text{ч}}$: $k_{sep.ks}^{d/r} \leq 0,724$. Величина 0,724 является слишком большой, поэтому примем как в вариантах ДН=ДЗ и ДН=3·СКОов*: $k_{sep.ks}^{d/r} = 0,35$.

ВЫВОДЫ по определению параметров алгоритма АГ при ДН=3·СКОп*:

- определены коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность алгоритма АГ: $\alpha_{ks} = 0,0015$; $\beta_{ks} = 0,75$; $B_{sep}^{d/l} = 0,7$; $k_{sep.ks}^{d/r} = 0,35$.

- все партии ОВ определены как однородные;

- АГ элементов парных объединений партий ОВ и OB_p определяется со средней суммарной эффективностью: $I_{Rs}^{OB} = (I_R^{OB} + I_R^{OB_p})/2 = 0,946$.

4) Результаты тестирования обученного алгоритма АГ

В Таблицах Г.12, Г.13 представлены результаты тестирования алгоритма АГ по ТВ при ДН=3·СКОп*.

Таблица Г.12 - Результаты определения однородности партий ТВ ЭКБ 564ЛА7В при ДН=3·СКОп*

П	$N_{\text{эл}}$	KS	$KS_{\min}^*$	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО
М	100	0,533	0,600	0,600	0,270	0,1	0,327	0,7	О
Р	95	0,352	0,608	0,365	0,352	0,1	0,352	0,7	О
С	48	0,414	0,678	0,678	0,305	0,1	0,202	0,7	О
Ф	43	0,562	0,686	0,686	0,170	0,1	0,233	0,7	О

Таблица Г.13 - Результаты АГ элементов парных объединений партий ТВ 564ЛА7В при ДН=3·СКОп*

П	$N_{эл}$	KS	KS_{min}^*	B_{KS}	$k_{sep}^{d/r}$	$B_{sep}^{d/r}$	$k_{sep}^{d/l}$	$B_{sep}^{d/l}$	О/НО	I_R
МУР	195	0,649	0,458	0,300	1,544	0,1	1,736	0,7	НО	1,000
МУС	148	0,667	0,528	0,317	2,410	0,1	2,879	0,7	НО	1,000
МУФ	143	0,640	0,536	0,321	1,482	0,1	1,976	0,7	НО	1,000
РУС	143	0,633	0,536	0,321	1,844	0,1	1,639	0,7	НО	1,000
РУФ	138	0,730	0,543	0,326	1,927	0,1	2,950	0,7	НО	1,000
СУФ	91	0,725	0,614	0,368	1,094	0,1	2,226	0,7	НО	1,000
Среднее значение индекса $I_R (I_R^{TB})$										

5) ВЫВОДЫ по результатам определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 564ЛА7В

Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ элементов партий ЭКБ 564ЛА7В при разных способах нормирования характеристик ЭКБ приведены в Таблице Г.14

Таблица Г.14 - Сводные результаты определения параметров алгоритма АГ ЭКБ 564ЛА7В

	ДН=ДЗ	ДН=3·СКОов*	ДН=3·СКОп*
I_{RS}^{OB}	0,853	0,945	0,946
I_R^{TB}	-	-	1,000
$I_R = \min(I_{RS}^{OB}; I_R^{TB})$	-	-	0,946

На основании вышеприведенных данных можно сделать следующие **ВЫВОДЫ:**

а) Наибольшую эффективность АГ обеспечивает комбинированный способ нормирования характеристик ЭКБ (ДН=3·СКОп*).

б) АГ партий ЭКБ 564ЛА7В (при ДН=3·СКОп*) осуществляется с эффективностью: $I_R=0,946$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ 140УД25А

В Таблицах Д.1–Д.4 представлены результаты определения ЭВ партий ОВ и ДОВ операционных усилителей 140УД25А.

Таблица Д.1 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 140УД25А алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)			Алг.1($2\sigma_R$)		
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}
A	93	1,616	1,694	0,0	1,461	1,406	3,2
B	58	1,418	1,652	0,0	1,404	1,391	3,4
C	86	1,557	1,824	0,0	1,557	1,533	1,2
D	66	1,357	1,477	0,0	1,322	1,271	3,0
F	61	1,452	1,548	0,0	1,318	1,306	4,9
H	52	1,467	1,668	0,0	1,416	1,389	3,8
I	53	1,268	1,590	0,0	1,268	1,341	0,0
K	28	1,224	1,557	0,0	1,224	1,316	0,0
Pc_{ER}^{OB}				0,0			2,4

Таблица Д.2 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 140УД25А алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2			Алг.3		
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}
A	93	0,081	0,120	0,0	0,484	0,550	0,0
B	58	0,076	0,280	0,0	0,385	0,550	0,0
C	86	0,053	0,206	0,0	0,303	0,550	0,0
D	66	0,092	0,131	0,0	0,337	0,550	0,0
F	61	0,081	0,117	0,0	0,377	0,550	0,0
H	52	0,076	0,136	0,0	0,436	0,550	0,0
I	53	0,066	0,177	0,0	0,291	0,550	0,0
K	28	0,064	0,306	0,0	0,458	0,550	0,0
Pc_{ER}^{OB}				0,0			0,0

Таблица Д.3 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 140УД25А
алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}
A_B	98	1,752	1,792	0	0,0	1,481	1,474	60	1,0
A_C	98	2,436	2,247	80	0,0	2,149	1,781	100	0,0
A_D	98	2,039	1,882	40	0,0	1,661	1,532	100	0,0
A_F	98	1,648	1,727	0	0,0	1,550	1,431	0	2,0

Продолжение Таблицы Д.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг 1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
A_H	98	1,571	1,724	0	0,0	1,451	1,429	20	2,0
A_I	98	1,650	1,720	0	0,0	1,490	1,429	0	3,1
A_K	98	2,153	2,078	100	0,0	2,153	1,653	100	0,0
B_A	63	1,359	1,638	0	0,0	1,359	1,385	0	0,0
B_C	63	2,021	2,045	0	0,0	1,814	1,661	80	0,0
B_D	63	1,782	1,841	0	0,0	1,579	1,524	100	0,0
B_F	63	1,451	1,669	0	0,0	1,441	1,409	0	4,8
B_H	63	1,419	1,637	0	0,0	1,419	1,387	0	1,6
B_I	63	1,423	1,720	0	0,0	1,423	1,447	0	0,0
B_K	63	1,842	1,967	0	0,0	1,695	1,607	80	0,0
C_A	91	1,932	1,967	0	0,0	1,768	1,623	100	0,0
C_B	91	1,768	1,928	0	0,0	1,647	1,598	80	0,0
C_D	91	2,087	2,027	40	0,0	1,959	1,660	100	0,0
C_F	91	1,737	1,917	0	0,0	1,677	1,591	80	0,0
C_H	91	2,014	1,995	20	0,0	1,814	1,640	100	0,0
C_I	91	1,846	1,946	0	0,0	1,717	1,609	100	0,0
C_K	91	2,089	2,030	60	0,0	1,768	1,662	100	0,0
D_A	71	1,796	1,784	40	0,0	1,660	1,473	100	0,0
D_B	71	2,081	1,971	40	0,0	1,770	1,604	100	0,0
D_C	71	2,237	2,131	80	0,0	1,942	1,694	100	0,0
D_F	71	1,804	1,768	60	0,0	1,488	1,459	100	0,0
D_H	71	1,459	1,599	0	0,0	1,383	1,355	80	1,4
D_I	71	1,852	1,807	40	0,0	1,675	1,488	100	0,0
D_K	71	2,131	2,099	80	0,0	1,982	1,678	100	0,0
F_A	66	1,356	1,610	0	0,0	1,356	1,354	0	1,5
F_B	66	1,512	1,615	0	0,0	1,372	1,363	0	4,5
F_C	66	2,204	2,068	20	0,0	1,951	1,676	80	0,0
F_D	66	1,747	1,738	20	0,0	1,451	1,431	100	0,0
F_H	66	1,327	1,564	0	0,0	1,327	1,316	0	1,5
F_I	66	1,447	1,555	0	0,0	1,349	1,316	0	4,5
F_K	66	1,864	1,851	60	0,0	1,611	1,514	100	0,0
H_A	57	1,437	1,635	0	0,0	1,377	1,370	20	3,5
H_B	57	1,616	1,790	0	0,0	1,506	1,476	60	1,8
H_C	57	2,364	2,353	40	0,0	1,914	1,854	100	0,0
H_D	57	1,733	1,858	0	0,0	1,563	1,518	40	0,0
H_F	57	1,623	1,727	0	0,0	1,538	1,427	60	0,0
H_I	57	1,376	1,631	0	0,0	1,365	1,362	40	0,0
H_K	57	1,969	1,965	20	0,0	1,5814	1,5810	100	0,0
I_A	58	1,317	1,607	0	0,0	1,317	1,358	0	0,0
I_B	58	1,469	1,740	0	0,0	1,469	1,458	20	0,0
I_C	58	2,275	2,138	20	0,0	1,930	1,725	80	0,0
I_D	58	1,794	1,841	20	0,0	1,526	1,511	80	0,0

Продолжение Таблицы Д.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
I_F	58	1,267	1,586	0	0,0	1,267	1,343	0	0,0
I_H	58	1,254	1,596	0	0,0	1,254	1,348	0	0,0
I_K	58	1,805	1,785	20	0,0	1,494	1,465	100	0,0
K_A	33	1,569	1,906	0	0,0	1,569	1,555	20	0,0
K_B	33	1,623	1,900	0	0,0	1,623	1,573	20	0,0
K_C	33	1,756	2,095	0	0,0	1,734	1,698	40	0,0
K_D	33	1,576	1,900	0	0,0	1,576	1,560	20	0,0
K_F	33	1,471	1,763	0	0,0	1,471	1,466	20	0,0
K_H	33	1,473	1,781	0	0,0	1,473	1,472	20	0,0
K_I	33	1,393	1,720	0	0,0	1,393	1,424	0	0,0
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				16,1	0,0			55,4	0,6

Таблица Д.4 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 140УД25А алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
A_B	98	0,106	0,100	20	0,0	0,542	0,550	0	0,0
A_C	98	0,462	0,178	100	0,0	1,582	0,550	100	0,0
A_D	98	0,249	0,133	100	0,0	0,780	0,550	100	0,0
A_F	98	0,105	0,104	0	2,0	0,350	0,550	0	0,0
A_H	98	0,048	0,126	0	0,0	0,446	0,550	0	0,0
A_I	98	0,107	0,107	0	0,0	0,498	0,550	0	0,0
A_K	98	0,623	0,223	100	0,0	1,165	0,550	100	0,0
B_A	63	0,040	0,315	0	0,0	0,311	0,550	0	0,0
B_C	63	0,176	0,282	0	0,0	1,539	0,550	100	0,0
B_D	63	0,137	0,378	0	0,0	0,852	0,550	100	0,0
B_F	63	0,088	0,411	0	0,0	0,385	0,550	0	0,0
B_H	63	0,091	0,325	0	0,0	0,373	0,550	0	0,0
B_I	63	0,038	0,307	0	0,0	0,674	0,550	100	0,0
B_K	63	0,114	0,202	0	0,0	0,842	0,550	100	0,0
C_A	91	0,261	0,168	100	0,0	0,741	0,550	100	0,0
C_B	91	0,063	0,157	0	0,0	0,908	0,550	100	0,0
C_D	91	0,345	0,203	100	0,0	0,755	0,550	100	0,0
C_F	91	0,102	0,143	0	0,0	0,787	0,550	100	0,0
C_H	91	0,244	0,162	100	0,0	0,675	0,550	100	0,0
C_I	91	0,198	0,156	100	0,0	0,850	0,550	100	0,0
C_K	91	0,261	0,215	100	0,0	0,742	0,550	100	0,0
D_A	71	0,247	0,151	100	0,0	1,100	0,550	100	0,0
D_B	71	0,295	0,158	100	0,0	1,697	0,550	100	0,0
D_C	71	0,229	0,216	100	2,8	2,197	0,550	100	0,0
D_F	71	0,155	0,119	100	0,0	1,032	0,550	100	0,0
D_H	71	0,093	0,108	0	0,0	0,572	0,550	100	0,0

Продолжение Таблицы Д.4

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
D_I	71	0,246	0,152	100	0,0	1,076	0,550	100	0,0
D_K	71	0,513	0,243	100	0,0	2,019	0,550	100	0,0
F_A	66	0,071	0,124	0	0,0	0,246	0,550	0(0)	0,0
F_B	66	0,091	0,120	0	0,0	0,385	0,550	0(0)	0,0
F_C	66	0,218	0,158	80	0,0	2,712	0,550	100	0,0
F_D	66	0,143	0,265	0	0,0	1,101	0,550	100	0,0
F_H	66	0,029	0,158	0	0,0	0,443	0,550	0	0,0
F_I	66	0,080	0,140	0	0,0	0,380	0,550	0	0,0
F_K	66	0,262	0,180	100	0,0	1,031	0,550	100	0,0
H_A	57	0,065	0,137	0	0,0	0,411	0,550	0(0)	0,0
H_B	57	0,099	0,123	0	0,0	0,763	0,550	100	0,0
H_C	57	0,285	0,191	100	0,0	2,629	0,550	100	0,0
H_D	57	0,109	0,209	0	0,0	0,834	0,550	100	0,0
H_F	57	0,115	0,157	0(0)	0,0	0,401	0,550	0	0,0
H_I	57	0,065	0,136	0	0,0	0,408	0,550	0	0,0
H_K	57	0,094	0,139	0	0,0	1,520	0,550	100	0,0
I_A	58	0,076	0,146	0	0,0	0,264	0,550	0	0,0
I_B	58	0,119	0,156	0	0,0	0,620	0,550	100	0,0
I_C	58	0,404	0,223	100	0,0	1,955	0,550	100	0,0
I_D	58	0,208	0,164	100	0,0	1,411	0,550	100	0,0
I_F	58	0,031	0,181	0	0,0	0,290	0,550	0	0,0
I_H	58	0,032	0,143	0	0,0	0,286	0,550	0	0,0
I_K	58	0,256	0,210	100	0,0	0,834	0,550	100	0,0
K_A	33	0,120	0,182	0	0,0	2,446	0,550	100	0,0
K_B	33	0,084	0,168	0	0,0	1,801	0,550	100	0,0
K_C	33	0,222	0,202	100	0,0	1,988	0,550	100	0,0
K_D	33	0,138	0,178	0	0,0	2,289	0,550	100	0,0
K_F	33	0,054	0,155	0	0,0	1,367	0,550	100	0,0
K_H	33	0,066	0,154	0	0,0	1,536	0,550	100	0,0
K_I	33	0,080	0,140	0	0,0	1,389	0,550	100	0,0
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				37,5	0,1			69,6	0,0

Исходя из условия $dR_{EV} > dR_{max}$ для всех партий ОБ для Алг.2 принимается:
 $dR_{EV}^{min}=0,1$.

Величина dp_{EV} для Алг3 определяется из условия выполнения неравенства $dp > dp_{max}$ для всех партий ОБ. Параметр dp_{max} принимает максимальное значение для партии А: $dp_{max}=0,484$. Поэтому $dp_{EV} > 0,484$.

При этом должно выполняться условие $dp > 0,542$, т.к. в противном случае для партии A_B алгоритм Алг.3 дает плохой результат: $N_{эв}=0$ и $N_{ош}=1$.

Отсюда определим: $dp_{EV}=0,550$.

По результатам расчетов ЭВ партий ОВ и ДОВ ЭКБ 140УД25А можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**

1) Наилучший по эффективности определения ЭВ результат дает Алгоритм 3, для которого:

- средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ: $Pc_{EV}^{OB}=69,6\%$;
- средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОВ и ДОВ: $Pc_{ER}^{OB}=0,0\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРСОВ ПАРТИЙ ДИОДНЫХ СБОРОК 2ДШ2150АС9

В Таблицах Е.1–Е.4 представлены результаты определения ЭВ партий ОВ и ДОВ диодных сборок 2ДШ2150АС9.

Таблица Е.1 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 2ДШ2150АС9 алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)			Алг.1($2\sigma_R$)		
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}
А	162	2,217	2,346	0,0	1,907	1,853	3,7
Б	141	2,767	2,855	0,0	2,270	2,248	5,7
В	132	2,634	2,665	0,0	2,123	2,111	7,6
Г	62	2,274	2,520	0,0	2,116	2,023	6,5
Д	85	2,784	2,841	0,0	2,286	2,257	5,9
Е	98	2,150	2,738	0,0	2,150	2,181	0,0
Ж	95	2,395	2,745	0,0	2,193	2,162	4,2
К	63	2,606	2,625	0,0	2,187	2,071	7,9
Pc_{ER}^{OB}				0,0			5,2

Таблица Е.2 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 2ДШ2150АС9 алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2			Алг.3		
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{ERP}^{OB}
А	162	0,078	0,250	0,0	0,152	0,450	0,0
Б	141	0,054	0,250	0,0	0,055	0,450	0,0
В	132	0,063	0,250	0,0	0,095	0,450	0,0
Г	62	0,135	0,309	0,0	0,165	0,450	0,0
Д	85	0,093	0,250	0,0	0,331	0,450	0,0
Е	98	0,144	0,386	0,0	0,143	0,450	0,0
Ж	95	0,054	0,250	0,0	0,100	0,450	0,0
К	63	0,249	0,359	0,0	0,286	0,450	0,0
Pc_{ER}^{OB}				0,0			0,0

Таблица Е.3 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 2ДШ2150АС9
алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}
А _Б	167	3,352	3,036	100	0,0	2,432	2,374	100	0,6
А _В	167	5,188	3,475	100	0,0	5,188	2,618	100	0,0
А _Г	167	2,728	2,855	0	0,0	2,347	2,261	0	4,8
А _Д	167	3,289	3,066	100	0,0	3,289	2,393	100	0,0

Продолжение Таблицы Е.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг 1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
A _Е	167	3,686	3,134	100	0,0	3,686	2,432	100	0,0
A _Ж	167	5,210	3,483	100	0,0	5,210	2,622	100	0,0
A _К	167	5,747	3,625	100	0,0	5,747	2,692	100	0,0
Б _А	146	3,757	3,237	100	0,0	3,757	2,473	100	0,0
Б _В	146	4,882	3,500	100	0,0	4,882	2,630	100	0,0
Б _Г	146	4,203	3,367	100	0,0	4,203	2,550	100	0,0
Б _Д	146	3,651	3,048	60	0,0	2,374	2,360	80	2,7
Б _Е	146	2,707	2,831	0	0,0	2,407	2,235	0	4,8
Б _Ж	146	4,298	3,321	100	0,0	4,298	2,536	100	0,0
Б _К	146	5,126	3,543	100	0,0	5,126	2,652	100	0,0
В _А	137	5,190	3,622	100	0,0	5,255	2,690	100	0,0
В _Б	137	4,872	3,509	100	0,0	4,872	2,635	100	0,0
В _Г	137	5,292	3,644	100	0,0	5,292	2,700	100	0,0
В _Д	137	4,690	3,533	100	0,0	4,690	2,647	100	0,0
В _Е	137	4,378	3,316	100	0,0	4,378	2,513	100	0,0
В _Ж	137	2,598	2,663	0	0,0	2,266	2,112	0	5,8
В _К	137	3,278	2,997	100	0,0	3,278	2,309	100	0,7
Г _А	67	2,252	2,488	0	0,0	2,065	2,012	0	6,0
Г _Б	67	3,479	3,365	100	0,0	3,479	2,558	100	1,5
Г _В	67	3,762	3,523	100	0,0	3,762	2,640	100	1,5
Г _Д	67	3,633	3,306	60	0,0	3,017	2,526	100	0,0
Г _Е	67	3,586	3,395	80	0,0	3,365	2,574	100	0,0
Г _Ж	67	3,861	3,581	100	0,0	3,861	2,669	100	0,0
Г _К	67	4,100	3,712	100	0,0	4,100	2,728	100	0,0
Д _А	90	3,003	3,076	0	0,0	2,615	2,398	100	1,1
Д _Б	90	2,793	2,755	0	1,1	2,318	2,183	0	5,6
Д _В	90	3,582	3,331	100	0,0	3,582	2,540	100	0,0
Д _Г	90	3,121	3,119	80	0,0	2,521	2,407	100	1,1
Д _Е	90	2,835	2,852	0	0,0	2,320	2,262	0	5,6
Д _Ж	90	3,489	3,301	100	0,0	3,489	2,524	100	0,0
Д _К	90	6,702	6,677	0	4,4	6,401	5,126	0	5,6
Е _А	56	3,155	3,302	0	0,0	3,047	2,523	100	0,0
Е _Б	56	2,234	2,690	0	0,0	2,199	2,153	0	5,4
Е _В	56	3,163	3,210	0	0,0	3,011	2,472	100	0,0
Е _Г	56	3,393	3,376	20	0,0	3,098	2,563	100	0,0
Е _Д	56	2,469	2,867	0	0,0	2,358	2,255	60	0,0
Е _Ж	56	2,933	3,051	0	0,0	2,753	2,382	100	0,0
Е _К	56	3,409	3,397	40	0,0	3,356	2,574	100	0,0
Ж _А	100	4,487	3,610	100	0,0	4,487	2,684	100	0,0
Ж _Б	100	3,726	3,346	100	0,0	3,726	2,549	100	0,0
Ж _В	100	2,372	2,710	0	0,0	2,175	2,143	0	5,0
Ж _Г	100	4,472	3,632	100	0,0	4,472	2,694	100	0,0

Продолжение Таблицы Е.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг 1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
Ж _Д	100	3,848	3,553	100	0,0	3,848	2,656	100	0,0
Ж _Е	100	3,215	3,179	100	0,0	3,215	2,443	100	0,0
Ж _К	100	3,047	3,043	40	0,0	2,955	2,362	100	0,0
К _А	74	4,422	3,821	100	0,0	4,422	2,769	100	0,0
К _Б	74	4,092	3,711	100	0,0	4,092	2,728	100	0,0
К _В	74	3,183	3,165	80	0,0	3,102	2,407	100	0,0
К _Г	74	4,431	3,825	100	0,0	4,431	2,771	100	0,0
К _Д	74	4,031	3,794	100	0,0	4,031	2,760	100	0,0
К _Е	74	4,046	3,740	100	0,0	4,046	2,740	100	0,0
К _Ж	74	3,353	3,296	100	0,0	3,353	2,498	100	0,0
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				68,9	0,1				
								82,9	1,1

Таблица Е.4 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 2ДШ2150АС9
Алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл.п}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
А _Б	167	0,378	0,250	100	0,0	0,244	0,450	0	0,0
А _В	167	1,782	0,450	100	0,0	1,650	0,450	100	0,0
А _Г	167	0,060	0,250	0	0,0	0,124	0,450	0	0,0
А _Д	167	0,375	0,250	100	0,0	0,430	0,450	0	0,0
А _Е	167	0,600	0,189	100	0,0	0,411	0,450	0	0,0
А _Ж	167	1,800	0,455	100	0,0	1,357	0,450	100	0,0
А _К	167	2,439	0,600	100	0,0	1,854	0,450	100	0,0
Б _А	146	0,532	0,250	100	0,0	0,604	0,450	100	0,0
Б _В	146	1,724	0,464	100	0,0	2,492	0,450	100	0,0
Б _Г	146	0,807	0,250	100	0,0	0,782	0,450	100	0,0
Б _Д	146	0,434	0,250	60	0,0	2,641	0,450	100	0,0
Б _Е	146	0,056	0,250	0	0,0	0,329	0,450	0	0,0
Б _Ж	146	1,166	0,324	100	0,0	1,353	0,450	100	0,0
Б _К	146	2,140	0,572	100	0,0	1,488	0,450	100	0,0
В _А	137	1,826	0,504	100	0,0	1,358	0,450	100	0,0
В _Б	137	1,500	0,423	100	0,0	2,563	0,450	100	0,0
В _Г	137	1,860	0,512	100	0,0	2,601	0,450	100	0,0
В _Д	137	1,701	0,472	100	0,0	1,375	0,450	100	0,0
В _Е	137	1,136	0,330	100	0,0	2,036	0,450	100	0,0
В _Ж	137	0,077	0,250	0	0,0	0,514	0,450	100	0,0
В _К	137	0,394	0,250	100)	0,0	0,403	0,450	0	0,0
Г _А	67	0,064	0,312	0	0,0	0,165	0,450	0	0,0
Г _Б	67	1,496	0,600	100	0,0	1,041	0,450	100	0,0
Г _В	67	2,024	0,796	100	0,0	3,435	0,450	100	0,0
Г _Д	67	0,990	0,433	100	0,0	1,803	0,450	100	0,0

Продолжение Таблицы Е.4

П	$N_{эл.п}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}
Г _Е	67	1,606	0,644	100	0,0	1,195	0,450	100	0,0
Г _Ж	67	2,366	0,941	100	0,0	2,204	0,450	100	0,0
Г _К	67	3,450	1,357	100	0,0	3,193	0,450	100	0,0
Д _А	90	0,158	0,250	0	0,0	0,305	0,450	0	0,0
Д _Б	90	0,116	0,250	0	0,0	0,334	0,450	0	0,0
Д _В	90	0,596	0,300	100	0,0	0,423	0,450	0	0,0
Д _Г	90	0,214	0,250	0	0,0	0,508	0,450	100	0,0
Д _Е	90	0,090	0,250	0	0,0	0,344	0,450	0	0,0
Д _Ж	90	0,541	0,250	100	0,0	0,990	0,450	100	0,0
Д _К	90	0,456	0,250	0	5,6	0,411	0,450	0	0,0
Е _А	56	0,762	0,437	100	0,0	0,994	0,450	100	0,0
Е _Б	56	0,083	0,252	0	0,0	0,143	0,450	0	0,0
Е _В	56	0,899	0,415	100	0,0	1,445	0,450	100	0,0
Е _Г	56	0,901	0,581	100	0,0	1,215	0,450	100	0,0
Е _Д	56	0,098	0,282	0	0,0	0,505	0,450	100	0,0
Е _Ж	56	0,514	0,289	100	0,0	0,980	0,450	100	0,0
Е _К	56	1,244	0,570	100	0,0	1,588	0,450	100	0,0
Ж _А	100	1,815	0,641	100	0,0	1,585	0,450	100	0,0
Ж _Б	100	0,844	0,302	100	0,0	1,047	0,450	100	0,0
Ж _В	100	0,065	0,250	0	0,0	0,670	0,450	100	0,0
Ж _Г	100	1,906	0,646	100	0,0	1,696	0,450	100	0,0
Ж _Д	100	1,142	0,393	100	0,0	0,887	0,450	100	0,0
Ж _Е	100	0,512	0,250	100	0,0	0,635	0,450	100	0,0
Ж _К	100	0,380	0,250	100	0,0	0,259	0,450	0	0,0
К _А	74	3,778	1,410	100	0,0	3,496	0,450	100	0,0
К _Б	74	2,312	0,914	100	0,0	1,765	0,450	100	0,0
К _В	74	0,580	0,263	100	0,0	0,787	0,450	100	0,0
К _Г	74	3,959	1,470	100	0,0	3,678	0,450	100	0,0
К _Д	74	2,630	1,014	100	0,0	2,652	0,450	100	0,0
К _Е	74	2,321	0,876	100	0,0	1,758	0,450	100	0,0
К _Ж	74	0,745	0,328	100	0,0	0,656	0,450	100	0,0
		$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$		73,9	0,1			75,0	0,0

Исходя из условия $dR_{EV} > dR_{max}$ для всех партий ОБ для Алг.2 принимается:
 $dR_{EV}^{min}=0,250$.

Величина порогового значения dp_{EV} для Алг.3 определяется из условия выполнения двух неравенств:

- $dp_{EV} > dR_{max}$ для всех партий ОБ. Параметр dp_{max} принимает максимальное значение для партии Д: $dp_{max}=0,331$, поэтому: $dp_{EV} > 0,331$;

- $dp_{EV} > dp_{max}$ для партии ДВ: $dp_{max}=0,423$, т.к. в противном случае для партии ДВ алгоритм Алг.3 дает плохой результат: $N_{ош}=4$. Отсюда определим: **$dp_{EV}=0,450$** .

По результатам расчетов ЭВ партий ОВ и ДОВ ЭКБ 2ДШ2150АС9 можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

1) Наилучший по эффективности определения ЭВ результат дает Алгоритм 3, для которого:

- средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ: $Pc_{EV}^{OB}=75,0\%$;
- средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОВ и ДОВ: $Pc_{ER}^{OB}=0,0\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ОПРЕДЕЛЕНИЕ-ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 1526ЛА10

В Таблицах Ж.1–Ж.4 представлены результаты определения ЭВ партий ОВ и ДОВ микросхем 1526ЛА10.

Таблица Ж.1 - Результаты определения ЭВ партий
ОВ ЭКБ 1526ЛА10

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)			Алг 1($2\sigma_R$)		
		R_{max}	R_{EV}	$P_{C_{ERP}}^{OB}$	R_{max}	R_{EV}	$P_{C_{ERP}}^{OB}$
А	91	2,568	2,506	1,1	2,160	2,057	4,4
Б	94	2,290	2,603	0,0	2,290	2,182	1,1
В	88	3,665	3,512	2,3	2,868	2,866	6,8
Г	98	2,713	2,813	0,0	2,392	2,331	4,1
Д	93	3,138	3,276	0,0	2,731	2,632	6,5
Е	95	3,502	3,551	0,0	2,994	2,899	6,3
Ж	86	2,303	2,154	0,0	2,059	1,834	2,3
К	83	3,092	3,068	2,4	2,580	2,501	4,8
$P_{C_{ER}}^{OB}$				0,73			4,5

Таблица Ж.2 - Результаты определения ЭВ партий
ОВ ЭКБ 1526ЛА10

П	$N_{эл}$	Алг.2			Алг.3		
		dR_{max}	dR_{EV}	$P_{C_{ERP}}^{OB}$	dp_{max}	dp_{EV}	$P_{C_{ERP}}^{OB}$
А	91	0,089	0,200	0,0	0,211	0,600	0,0
Б	94	0,044	0,200	0,0	0,236	0,600	0,0
В	88	0,094	0,200	0,0	0,466	0,600	0,0
Г	98	0,059	0,200	0,0	0,526	0,600	0,0
Д	93	0,155	0,200	0,0	0,234	0,600	0,0
Е	95	0,089	0,200	0,0	0,502	0,600	0,0
Ж	86	0,118	0,200	0,0	0,314	0,600	0,0
К	83	0,168	0,200	0,0	0,571	0,600	0,0
$P_{C_{ER}}^{OB}$				0,0			0,0

Таблица Ж.3 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 1526ЛА10
алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$) для определения ЭВ

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг 1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	$P_{C_{EVP}}^{OB}$	$P_{C_{ERP}}^{OB}$	R_{max}	R_{EV}	$P_{C_{EVP}}^{OB}$	$P_{C_{ERP}}^{OB}$
А _Б	96	3,804	3,377	100	0,0	3,804	2,663	100	0,0
А _В	96	8,361	6,634	100	0,0	8,361	4,941	100	0,0
А _Г	96	12,430	9,567	100	0,0	12,430	6,999	100	0,0
А _Д	96	9,597	7,408	100	0,0	9,597	5,484	100	0,0
А _Е	96	5,123	4,348	100	0,0	5,123	3,340	100	0,0

Продолжение Таблицы Ж.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг 1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVP}^{OB}	Pc_{ERP}^{OB}
А _Ж	96	7,347	5,992	100	0,0	7,347	4,491	100	0,0
А _К	96	8,871	7,052	100	0,0	8,871	5,234	100	0,0
Б _А	99	3,869	3,615	100	0,0	3,869	2,894	100	0,0
Б _В	99	5,525	4,719	100	0,0	5,525	3,670	100	0,0
Б _Г	99	9,753	7,663	100	0,0	9,753	5,725	100	0,0
Б _Д	99	6,639	5,350	100	0,0	6,639	4,110	100	0,0
Б _Е	99	3,301	2,926	20	0,0	2,762	2,416	100	0,0
Б _Ж	99	4,327	3,999	100	0,0	4,327	3,168	100	0,0
Б _К	99	6,011	5,028	100	0,0	6,011	3,885	100	0,0
В _А	93	8,783	8,516	100	0,0	7,011	6,543	100	2,2
В _Б	93	7,015	6,916	0	2,2	5,685	5,413	100	4,3
В _Г	93	7,051	6,504	0	2,2	5,316	5,137	80	4,3
В _Д	93	7,035	5,924	0	2,2	5,009	4,696	0	5,4
В _Е	93	7,019	6,621	0	2,2	5,205	5,198	80	4,3
В _Ж	93	7,013	5,937	0	2,2	4,981	4,702	0	5,4
В _К	93	5,930	5,863	0	3,2	5,012	4,642	0	5,4
Г _А	103	12,591	9,490	100	0,0	12,591	7,018	100	0,0
Г _Б	103	9,755	7,503	100	0,0	9,755	5,630	100	0,0
Г _В	103	5,234	4,550	100	0,0	5,234	3,569	100	0,0
Г _Д	103	5,616	4,695	100	0,0	5,616	3,669	100	0,0
Г _Е	103	9,214	7,351	100	0,0	9,214	5,524	100	0,0
Г _Ж	103	6,709	5,540	100	0,0	6,709	4,260	100	0,0
Г _К	103	5,868	4,941	100	0,0	5,868	3,843	100	0,0
Д _А	98	6,677	5,384	100	0,0	6,677	4,034	100	0,0
Д _Б	98	5,659	4,983	100	0,0	5,659	3,811	100	0,0
Д _В	98	3,568	3,647	0	0,0	2,911	2,909	80	4,1
Д _Г	98	4,199	4,033	100	0,0	4,199	3,159	100	0,0
Д _Е	98	4,185	4,082	80	0,0	4,045	3,196	100	0,0
Д _Ж	98	3,005	3,348	0	0,0	2,710	2,694	100	1,0
Д _К	98	3,158	3,158	0	0,0	2,917	2,846	60	5,1
Е _А	100	4,849	4,722	100	0,0	4,849	3,713	100	0,0
Е _Б	100	3,586	3,844	0	0,0	3,137	3,120	40	3,0
Е _В	100	3,862	3,913	0	0,0	3,419	3,146	100	2,0
Е _Г	100	4,495	4,437	100	0,0	3,555	3,496	100	1,0
Е _Д	100	4,197	4,151	20	0,0	3,424	3,320	100	2,0
Е _Ж	100	3,572	3,653	0	0,0	3,076	2,978	0	5,0
Е _К	100	4,126	4,144	0	0,0	3,436	3,318	100	2,0
Ж _А	91	6,243	5,151	100	0,0	6,243	3,870	100	0,0
Ж _Б	91	4,722	4,199	100	0,0	4,722	3,244	100	0,0
Ж _В	91	3,041	2,955	100	0,0	3,041	2,395	100	0,0
Ж _Г	91	4,061	3,591	100	0,0	4,061	2,810	100	0,0
Ж _Д	91	2,667	2,609	80	0,0	2,559	2,156	100	0,0

Продолжение Таблицы Ж.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
Ж _Е	91	3,219	3,127	80	0,0	3,044	2,501	100	0,0
Ж _К	91	2,715	2,689	60	0,0	2,544	2,222	100	0,0
К _А	88	6,218	5,363	100	0,0	6,218	4,039	100	0,0
К _Б	88	5,004	4,676	100	0,0	5,004	3,593	100	0,0
К _В	88	3,410	3,29- 7	0	1,1	2,714	2,673	20	2,3
К _Г	88	3,694	3,650	60	0,0	3,136	2,892	100	2,3
К _Д	88	3,393	3,349	0	1,1	2,779	2,714	80	2,3
К _Е	88	4,001	3,959	80	0,0	3,115	3,095	100	2,3
К _Ж	88	3,395	3,305	0	1,1	2,694	2,675	40)	2,3
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				65,7	0,3			87,1	1,2

Таблица Ж.4 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 1526ЛА10 алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
А _Б	96	0,972	0,325	100	0,0	1,178	0,680	100	0,0
А _В	96	3,133	1,007	100	0,0	3,166	0,680	100	1,0
А _Г	96	4,842	1,551	100	0,0	4,565	0,680	100	0,0
А _Д	96	3,657	1,173	100	0,0	3,931	0,680	100	0,0
А _Е	96	1,615	0,525	100	0,0	2,080	0,680	100	0,0
А _Ж	96	2,674	0,860	100	0,0	2,974	0,680	100	0,0
А _К	96	3,414	1,096	100	0,0	3,796	0,680	100	0,0
Б _А	99	0,543	0,200	100	0,0	0,693	0,680	100	0,0
Б _В	99	1,534	0,495	100	0,0	1,505	0,680	100	0,0
Б _Г	99	3,284	1,039	100	0,0	2,831	0,680	100	0,0
Б _Д	99	1,917	0,613	100	0,0	1,577	0,680	100	0,0
Б _Е	99	0,232	0,200	100	0,0	0,474	0,680	0	0,0
Б _Ж	99	0,964	0,317	100	0,0	0,814	0,680	100	0,0
Б _К	99	1,689	0,542	100	0,0	1,585	0,680	100	0,0
В _А	93	0,215	0,200	100	4,3	1,924	0,680	100	0,0
В _Б	93	0,149	0,200	0	0,0	1,186	0,680	100	0,0
В _Г	93	0,208	0,200	100	5,4	0,607	0,680	0	0,0
В _Д	93	0,219	0,200	0	5,4	0,752	0,680	100	2,2
В _Е	93	0,180	0,200	0	0,0	0,765	0,680	100	0,0
В _Ж	93	0,188	0,200	0	0,0	0,625	0,680	0	0,0
В _К	93	0,200	0,200	0	5,4	0,625	0,680	0	0,0
Г _А	103	2,625	0,823	100	0,0	4,832	0,680	100	0,0
Г _Б	103	1,907	0,606	100	0,0	3,792	0,680	100	0,0
Г _В	103	0,220	0,200	100	1	1,673	0,680	100	0,0
Г _Д	103	0,749	0,258	100	0,0	1,490	0,680	100	0,0
Г _Е	103	1,796	0,574	100	0,0	3,297	0,680	100	0,0

Продолжение Таблицы Ж.4

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
$\Gamma_{Ж}$	103	1,063	0,351	100	0,0	1,988	0,680	100	0,0
$\Gamma_{К}$	103	0,808	0,274	100	0,0	1,591	0,680	100	0,0
D_A	98	2,010	0,647	100	0,0	2,119	0,680	100	1,0
D_B	98	1,180	0,388	100	0,0	3,054	0,680	100	0,0
D_B	98	0,136	0,200	0	0,0	1,472	0,680	100	0,0
$D_{Г}$	98	0,444	0,200	100	0,0	1,892	0,680	100	0,0
D_E	98	0,462	0,200	100	0,0	2,543	0,680	100	0,0
$D_{Ж}$	98	0,097	0,200	0	0,0	0,234	0,680	0	0,0
$D_{К}$	98	0,127	0,200	0	0,0	2,322	0,680	100	0,0
E_A	100	0,349	0,200	100	0,0	1,331	0,680	100	0,0
E_B	100	0,085	0,200	0	0,0	0,621	0,680	100	0,0
E_B	100	0,121	0,200	0	0,0	0,998	0,680	100	0,0
$E_{Г}$	100	0,265	0,200	100	0,0	2,218	0,680	100	0,0
E_D	100	0,124	0,200	0	0,0	0,939	0,680	100	0,0
$E_{Ж}$	100	0,090	0,200	0	0,0	0,549	0,680	0	0,0
$E_{К}$	100	0,094	0,200	0	0,0	1,331	0,680	100	0,0
$Ж_A$	91	1,867	0,628	100	0,0	3,891	0,680	100	0,0
$Ж_B$	91	1,074	0,367	100	0,0	2,382	0,680	100	0,0
$Ж_B$	91	0,304	0,200	100	0,0	1,285	0,680	100	0,0
$Ж_{Г}$	91	0,821	0,287	100	0,0	3,223	0,680	100	0,0
$Ж_D$	91	0,136	0,200	0	0,0	0,968	0,680	100	0,0
$Ж_E$	91	0,376	0,200	100	0,0	1,481	0,680	100	0,0
$Ж_{К}$	91	0,124	0,200	0	0,0	1,074	0,680	100	0,0
K_A	88	0,827	0,313	100	0,0	3,346	0,680	100	0,0
K_B	88	0,467	0,200	100	2,3	2,285	0,680	100	0,0
K_B	88	0,169	0,200	0	0,0	0,461	0,680	0	0,0
$K_{Г}$	88	0,234	0,200	100	6,8	1,673	0,680	100	0,0
K_D	88	0,125	0,200	0	0,0	0,296	0,680	0	0,0
K_E	88	0,260	0,200	100	2,3	1,850	0,680	100	0,0
$K_{Ж}$	88	0,130	0,200	0	0,0	0,969	0,680	100	0,0
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				67,9	0,6			85,7	0,1

Исходя из условия $dR_{EV} > dR_{max}$ для всех партий ОБ для Алг.2 принимается:
 $dR_{EV}^{min} = 0,200$.

Величина порогового значения dp_{EV} для Алг3 определяется из условия выполнения двух неравенств:

- $dp_{EV} > dp_{max}$ для всех партий ОБ. Параметр dp_{max} принимает максимальное значение для партии К: $dp_{max} = 0,571$, поэтому: $dp_{EV} > 0,571$;

- $dp_{EV} > dp_{max}$ для партии K_B : $dp = 0,680$, т.к. в противном случае для партии D_B алгоритм Алг.3 дает плохой результат: $N_{ош} = 1$. Отсюда определим: **$dp_{EV} = 0,680$** .

По результатам расчетов ЭВ партий ОВ и ДОВ ЭКБ 1526ЛА10 можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

1) Наилучший по эффективности определения ЭВ результат дает Алгоритм 3, для которого:

- средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ: $Pc_{EV}^{OB} = 85,7\%$;
- средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ДОВ: $Pc_{ER}^{OB} = 0,1\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ВЫБРОСОВ ПАРТИЙ МИКРОСХЕМ 564ЛА7В

В Таблицах К.1–К.4 представлены результаты определения ЭВ партий ОВ и ДОВ микросхем 564ЛА7В.

Таблица К.1 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 564ЛА7В алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)			Алг.1($2\sigma_R$)		
		R_{max}	R_{EV}	PC_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	PC_{ERP}^{OB}
А	96	3,022	3,081	0,0	2,786	2,647	5,2
Б	130	3,865	4,278	0,0	3,865	3,622	0,8
В	95	3,996	4,468	0,0	3,996	3,744	1,1
Г	94	3,456	3,935	0,0	3,329	3,321	4,3
Д	94	3,420	3,326	2,1	2,802	2,757	6,4
Е	96	3,692	3,427	1,0	3,013	2,859	6,3
Ж	65	3,151	3,723	0,0	3,151	3,196	0,0
К	141	4,232	4,155	2,1	3,632	3,412	5,0
PC_{ER}^{OB}				0,65			3,75

Таблица К.2 - Результаты определения ЭВ партий ОВ
ЭКБ 564ЛА7В алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2			Алг.3		
		dR_{max}	dR_{EV}	PC_{ERP}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	PC_{ERP}^{OB}
А	96	0,103	0,200	0,0	0,214	0,450	0,0
Б	130	0,081	0,200	0,0	0,139	0,450	0,0
В	95	0,086	0,200	0,0	0,180	0,450	0,0
Г	94	0,038	0,200	0,0	0,133	0,450	0,0
Д	94	0,095	0,200	0,0	0,431	0,450	0,0
Е	96	0,088	0,200	0,0	0,260	0,450	0,0
Ж	65	0,050	0,200	0,0	0,147	0,450	0,0
К	141	0,122	0,200	0,0	0,211	0,450	0,0
PC_{ERP}^{OB}				0,0			0,0

Таблица К.3 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 564ЛА7В
алгоритмами Алг.1($3\sigma_R$) и Алг.1($2\sigma_R$)

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	PC_{EVP}^{OB}	PC_{ERP}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	PC_{EVP}^{OB}	PC_{ERP}^{OB}
А _Б	101	7,012	5,923	100	0,0	7,012	4,541	100	0,0
А _В	101	9,238	7,091	100	0,0	9,238	5,289	100	0,0
А _Г	101	7,455	5,904	100	0,0	7,455	4,530	100	0,0
А _Д	101	6,654	5,601	100	0,0	6,654	4,380	100	0,0

Продолжение Таблицы К.3

П	$N_{эл}$	Алг 1($2\sigma_R$)				R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
		R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}			
A _Е	101	6,339	100	0,0	8,071	4,805	100	0,0
A _Ж	101	7,155	100	0,0	8,404	5,418	100	0,0
A _К	101	5,492	100	0,0	6,754	4,251	100	0,0
Б _А	135	5,263	100	0,0	6,268	4,252	100	0,0
Б _В	135	5,531	100	0,0	6,528	4,453	100	0,0
Б _Г	135	4,367	0	0,0	3,704	3,694	20	0,7
Б _Д	135	4,925	100	0,0	5,398	4,061	100	0,0
Б _Е	135	4,632	60	0,0	4,440	3,867	100	0,0
Б _Ж	135	5,299	100	0,0	5,654	4,337	100	0,0
Б _К	135	4,415	0	0,0	3,801	3,720	60	0,7
В _А	100	6,755	100	0,0	8,268	5,212	100	0,0
В _Б	100	6,246	100	0,0	7,065	4,940	100	0,0
В _Г	100	6,389	100	0,0	6,997	5,034	100	0,0
В _Д	100	6,985	100	0,0	8,534	5,414	100	0,0
В _Е	100	5,673	100	0,0	6,001	4,580	100	0,0
В _Ж	100	7,286	100	0,0	8,662	5,622	100	0,0
В _К	100	6,352	100	0,0	7,129	4,984	100	0,0
Г _А	99	6,025	100	0,0	7,004	4,715	100	0,0
Г _Б	99	4,218	0	0,0	3,781	3,529	40	0,0
Г _В	99	6,667	100	0,0	7,625	5,207	100	0,0
Г _Д	99	4,586	100	0,0	4,801	3,756	100	0,0
Г _Е	99	5,467	100	0,0	5,823	4,385	100	0,0
Г _Ж	99	5,085	100	0,0	5,261	4,115	100	0,0
Г _К	99	4,754	60	0,0	4,330	3,884	100	0,0
Д _А	99	5,708	100	0,0	6,736	4,390	100	0,0
Д _Б	99	5,417	100	0,0	6,217	4,133	100	0,0
Д _В	99	7,429	100	0,0	9,528	5,510	100	0,0
Д _Г	99	4,619	100	0,0	5,289	3,589	100	0,0
Д _Е	99	5,531	100	0,0	6,817	4,234	100	0,0
Д _Ж	99	5,112	100	0,0	5,290	3,954	100	0,0
Д _К	99	5,491	100	0,0	6,432	4,184	100	0,0
Е _А	101	6,411	100	0,0	8,279	4,837	100	0,0
Е _Б	101	5,411	100	0,0	6,242	4,193	100	0,0
Е _В	101	5,804	100	0,0	6,647	4,492	100	0,0
Е _Г	101	5,402	100	0,0	5,706	5,402	100	0,0
Е _Д	101	5,490	100	0,0	6,798	4,246	100	0,0
Е _Ж	101	6,705	100	0,0	8,141	5,112	100	0,0
Е _К	101	5,472	100	0,0	6,048	4,263	100	0,0
Ж _А	70	7,034	100	0,0	7,377	5,452	100	0,0
Ж _Б	70	6,052	60	0,0	5,675	4,748	100	0,0
Ж _В	70	7,637	100	0,0	8,186	5,842	100	0,0
Ж _Г	70	5,472	60	0,0	4,805	4,805	100	0,0

Продолжение Таблицы К.3

П	$N_{эл}$	Алг.1($3\sigma_R$)				Алг.1($2\sigma_R$)			
		R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	R_{max}	R_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
Ж _Д	70	5,412	5,348	60	0,0	5,279	4,318	100	0,0
Ж _Е	70	7,042	6,647	100	0,0	7,042	5,184	100	0,0
Ж _К	70	5,870	5,669	60	0,0	5,373	4,535	100	0,0
К _А	146	6,693	5,359	100	0,0	6,693	5,359	100	0,0
К _Б	146	4,781	4,705	80	0,0	3,841	3,784	100	2,7
К _В	146	9,006	6,625	100	0,0	9,006	5,096	100	0,0
К _Г	146	4,578	4,465	60	0,0	3,773	3,631	100	3,4
К _Д	146	6,365	5,131	100	0,0	6,365	4,073	100	0,0
К _Е	146	6,672	5,529	100	0,0	4,575	4,366	100	1,4
К _Ж	146	5,542	5,105	100	0,0	4,482	4,093	100	1,4
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				89,3	0,0			96,8	0,2

Таблица К.4 - Результаты определения ЭВ партий ДОВ ЭКБ 564ЛА7В алгоритмами Алг.2 и Алг.3

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
А _Б	101	1,702	0,541	100	0,0	3,879	0,450	100	0,0
А _В	101	2,934	0,919	100	0,0	4,208	0,450	100	0,0
А _Г	101	1,805	0,571	100	0,0	2,707	0,450	100	0,0
А _Д	101	1,184	0,379	100	0,0	1,649	0,450	100	0,0
А _Е	101	2,205	0,694	100	0,0	3,274	0,450	100	0,0
А _Ж	101	1,982	0,629	100	0,0	2,531	0,450	100	0,0
А _К	101	1,673	0,529	100	0,0	2,895	0,450	100	0,0
Б _А	135	0,746	0,224	100	0,0	0,801	0,450	100	0,0
Б _В	135	0,861	0,239	100	0,0	1,724	0,450	100	0,0
Б _Г	135	0,046	0,200	0	0,0	0,399	0,450	0	0,0
Б _Д	135	0,429	0,200	100	0,0	1,248	0,450	100	0,0
Б _Е	135	0,202	0,200	100	0,0	2,442	0,450	100	0,0
Б _Ж	135	0,499	0,200	100	0,0	0,626	0,450	100	0,0
Б _К	135	0,045	0,200	0	0,0	0,149	0,450	0	0,0
В _А	100	1,778	0,564	100	0,0	1,942	0,450	100	0,0
В _Б	100	0,981	0,321	100	0,0	2,543	0,450	100	0,0
В _Г	100	0,962	0,317	100	0,0	1,759	0,450	100	0,0
В _Д	100	1,708	0,542	100	0,0	1,527	0,450	100	0,0
В _Е	100	0,634	0,214	100	0,0	0,999	0,450	100	0,0
В _Ж	100	1,694	0,540	100	0,0	1,735	0,450	100	0,0
В _К	100	1,143	0,370	100	0,0	1,771	0,450	100	0,0
Г _А	99	0,989	0,323	100	0,0	1,394	0,450	100	0,0
Г _Б	99	0,107	0,200	0	0,0	0,412	0,450	0	0,0
Г _В	99	1,228	0,397	100	0,0	4,482	0,450	100	0,0
Г _Д	99	0,411	0,200	100	0,0	1,079	0,450	100	0,0

Продолжение Таблицы К.4

П	$N_{эл}$	Алг.2				Алг.3			
		dR_{max}	dR_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}	dp_{max}	dp_{EV}	Pc_{EVp}^{OB}	Pc_{ERp}^{OB}
Γ_E	99	0,649	0,220	100	0,0	1,740	0,450	100	0,0
$\Gamma_{Ж}$	99	0,605	0,207	100	0,0	0,800	0,450	100	0,0
Γ_K	99	0,215	0,200	100	0,0	1,077	0,450	100	0,0
D_A	99	1,258	0,412	100	0,0	1,613	0,450	100	0,0
D_B	99	1,572	0,507	100	0,0	4,052	0,450	100	0,0
D_B	99	2,867	0,909	100	0,0	5,213	0,450	100	0,0
$D_{Г}$	99	1,054	0,346	100	0,0	2,527	0,450	100	0,0
D_E	99	1,594	0,515	100	0,0	2,863	0,450	100	0,0
$D_{Ж}$	99	0,779	0,281	100	0,0	1,652	0,450	100	0,0
D_K	99	1,513	0,495	100	0,0	3,304	0,450	100	0,0
E_A	101	2,703	0,848	100	0,0	2,672	0,450	100	0,0
E_B	101	0,944	0,313	100	0,0	3,533	0,450	100	0,0
E_B	101	0,887	0,299	100	0,0	2,016	0,450	100	0,0
$E_{Г}$	101	0,619	0,234	100	0,0	2,699	0,450	100	0,0
E_D	101	1,553	0,494	100	0,0	1,764	0,450	100	0,0
$E_{Ж}$	101	1,414	0,455	100	0,0	2,754	0,450	100	0,0
E_K	101	0,650	0,650	100	0,0	4,316	0,450	100	0,0
$Ж_A$	70	1,577	0,611	100	0,0	1,385	0,450	100	0,0
$Ж_B$	70	1,097	0,429	100	0,0	1,274	0,450	100	0,0
$Ж_B$	70	2,043	0,784	100	0,0	3,545	0,450	100	0,0
$Ж_{Г}$	70	0,686	0,280	100	0,0	0,955	0,450	100	0,0
$Ж_D$	70	0,779	0,310	100	0,0	1,095	0,450	100	0,0
$Ж_E$	70	1,302	0,507	100	0,0	2,324	0,450	100	0,0
$Ж_K$	70	0,748	0,298	100	0,0	0,979	0,450	100	0,0
K_A	146	0,691	0,200	100	0,0	0,908	0,450	100	0,0
K_B	146	0,100	0,200	0	0,0	0,912	0,450	100	0,0
K_B	146	1,035	0,279	100	0,0	4,584	0,450	100	0,0
$K_{Г}$	146	0,085	0,200	0	0,0	0,586	0,450	100	0,0
K_D	146	0,631	0,200	100	0,0	0,702	0,450	100	0,0
K_E	146	0,444	0,200	100	0,0	3,143	0,450	100	0,0
$K_{Ж}$	146	0,215	0,200	100	0,0	0,382	0,450	0	0,0
$Pc_{EV}^{OB}, Pc_{ER}^{OB}$				91,1	0,0			92,9	0,0

Исходя из условия $dR_{EV} > dR_{max}$ для всех партий ОБ для Алг.2 принимается:
 $dR_{EV}^{min}=0,200$.

Величина порогового значения dp_{EV} для Алг3 определяется из условия выполнения неравенства $dp_{EV} > dp_{max}$ для всех партий ОБ. Параметр dp_{max} принимает максимальное значение для партии Д: $dp_{max}=0,431$, поэтому: $dp_{EV} > 0,331$. Отсюда определим:
 $dp_{EV}=0,450$.

По результатам расчетов ЭВ партий ОВ и ДОВ ЭКБ 1526ЛА10 можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

1) Наилучший по эффективности определения ЭВ результат дает Алгоритм 3, для которого:

- средняя доля верно определенных ЭВ по ДОВ: $P_{EV}^{OB}=92,9\%$;
- средняя доля ошибочно определенных ЭВ по ОВ ДОВ: $P_{ER}^{OB}=0,0\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ**АКТ**

о внедрении результатов диссертационного исследования
«Алгоритмы автоматической группировки электронных компонентов
с учетом заданной эффективности разделения на группы»
Голованова Сергея Михайловича

Настоящим актом подтверждается, что, алгоритмы автоматической группировки электронных компонентов в соответствии с принадлежностью к различным производственным партиям, а также алгоритмы выявления потенциально-ненадежных элементов, разработанные Головановым Сергеем Михайловичем, успешно используются в деятельности АО "Испытательный технический центр - НПО ПМ" (г. Железногорск Красноярского края) в процессе дополнительных испытаний электронной компонентной базы космического применения.

Применение данных алгоритмов позволяет повысить общую эффективность дополнительных испытаний электронной компонентной базы космического применения за счет повышения достоверности разрушающих испытаний и эффективности выявления потенциально ненадежных элементов.

Директор АО "Испытательный технический
центр - НПО ПМ", канд. техн. наук



В.И. Орлов