

ПЕДАГОГИКА

(шифр научной специальности: 5.8.7)

Научная статья

УДК 37

doi: 10.18522/2070-1403-2024-103-2-168-178

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗВИТИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЫШЛЕНИЯ ОБУЧАЕМЫХ

© *Виктор Анатольевич Нефедовский*¹, *Юрий Александрович Савицкий*²,
*Владимир Валерьевич Терехов*³

^{1, 2, 3}*Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского
Союза А.К. Серова, г. Краснодар, Россия*

¹*yura_helen@mail.ru* ²*victor_anna@mail.ru* ³*kvvaul@mil.ru*

Аннотация. Исследуется использование метода кластерного анализа для оценки результатов развития пространственного мышления у обучаемых. Показано, что применение такого метода на практике позволит, во-первых, на начальном этапе классифицировать всех участников с учетом разнородных характеристик, полученных по результатам оценки выполнения упражнений. Во-вторых – произвести проверку исходной гипотезы о различном уровне развития пространственного мышления у участников. В-третьих – проанализировать состав полученных кластеров с точки зрения выявления факторов, имеющих наибольшее влияние на вероятность попадания в ту или иную группу.

Ключевые слова: информация, знания, умения, пространственное мышление, метод кластерного анализа, оценка результатов, кластер.

Для цитирования: Нефедовский В.А., Савицкий Ю.А., Терехов В.В. Использование метода кластерного анализа для оценки результатов развития пространственного мышления обучаемых // Гуманитарные и социальные науки. 2024. Т. 103. № 2. С. 168-178. doi: 10.18522/2070-1403-2024-103-2-168-178

PEDAGOGY

(specialty: 5.8.7)

Original article

Using the cluster analysis method to evaluate the results of spatial development the thinking of the trainees

© *Viktor A. Nefedovskiy*¹, *Yuri A. Savitskiy*², *Vladimir V. Terekhov*³

^{1, 2, 3}*Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov,
Krasnodar, Russian Federation*

¹*yura_helen@mail.ru* ²*victor_anna@mail.ru* ³*kvvaul@mil.ru*

Abstract. The use of the cluster analysis method to evaluate the results of the development of spatial thinking in students is investigated. It is shown that the application of such a method in practice will allow, firstly, at the initial stage to classify all participants taking into account the heterogeneous characteristics obtained from the results of evaluating the performance of exercises. Secondly, to verify the initial hypothesis about the different level of spatial thinking development among the participants. Thirdly, to analyze the composition of the obtained clusters in terms of identifying the factors that have the greatest impact on the probability of falling into a particular group.

Keywords: information, knowledge, skills, spatial thinking, cluster analysis method, evaluation of results, clustering.

For citation: Nefedovskiy V.A., Savitskiy Yu.A., Terekhov V.V. Using the cluster analysis method to evaluate the results of spatial development the thinking of the trainees. *The Humanities and Social Sciences*. 2024. Vol. 103. No 2. P. 168-178. doi: 10.18522/2070-1403-2024-103-2-168-178

Введение

Профессия летчика считается одной из самых сложных. Это определяется и огромным количеством поступающей информации, которая по своей природе имеет различную физическую природу, и необходимостью высокой скорости обработки этой информации, и высокой

скоростью принятия решений на основе поступившей информации, и многими другими факторами. Для того чтобы справляться со всеми перечисленными задачами, человеку мало обладать достаточными знаниями и умениями, необходимо еще иметь определенный склад мышления, важнейшей составной частью которого является пространственное мышление [1, с. 180].

Основой развития пространственного мышления могут быть различные упражнения, например, преобразование пространственных образов, т.е. мысленное создание проекции пространственного объекта; оперирование пространственными объектами (вращение, перемещение, анализ пространственных объектов, их синтез); оперирование плоскими объектами (анализ). Кроме этого, на основе решения поставленных задач можно получить еще несколько важных характеристик. Мы в своих публикациях уже приводили примеры решения задач, выполнения тестовых заданий и обработки результатов исследований.

В настоящее время не существует количественных оценок уровня развития пространственного мышления. Для предложенных упражнений оценивается как время, затраченное на их выполнение, так и количество сделанных ошибок. Эти параметры имеют разное физическое значение, поэтому для оценки результатов на первом этапе целесообразно будет применить методы кластерного анализа. Применение этих методов позволит, во-первых, на начальном этапе классифицировать всех участников с учетом разнородных характеристик, полученных по результатам оценки выполнения упражнений. Во-вторых, позволит произвести проверку исходной гипотезы о различном уровне развития пространственного мышления у участников. В-третьих, позволит проанализировать состав полученных кластеров с точки зрения выявления факторов, имеющих наибольшее влияние на вероятность попадания в ту или иную группу [2, с. 94].

Обсуждение

Для проведения исследования необходимо провести исходное разбиение с использованием метода k-средних, в качестве метрики (расстояния) будет использоваться Евклидово расстояние, начальное количество кластеров равно 4. Перед началом разбиения будет производиться стандартизация параметров. Разбиение будет проводиться отдельно для каждого упражнения. Выбор начальных центров кластеров будет производиться по максимальному расстоянию между ними. Результат будет считаться полученным по выполнению 50 итераций. В качестве независимых переменных выбирается общее время выполнения упражнения, количество ошибок, среднее время правильных и среднее время неправильных ответов. Все остальные переменные (время, затраченное на правильные и неправильные ответы) хоть и не являются линейно зависимыми от указанных, но включение их в расчет разбиения приведет к только к уменьшению точности разбиения.

В результате такого разбиения для первого этапа получено 4 кластера следующего состава: 1 – 20,3%; 2 – 50,5%; 3 – 5,5%; 4 – 23,7%. Стандартизированное расстояние между центроидами представлено в табл. 1.

Таблица 1

Стандартизированное расстояние между центроидами по 4 кластерам

№ кластера	Стандартизированное расстояние между центроидами		
	1	2	3
1	0,000000	1,093455	1,239373
2	1,093455	0,000000	1,188442
3	1,239373	1,188442	0,000000
4	1,140528	1,049940	1,074302

Для сравнительной оценки кластеров желательно на одном графике отобразить изменение всех параметров. Но они имеют разный порядок величин, поэтому необходимо преобразовать значения всех параметров таким образом, чтобы полученные значения отображали средние значения, масштабированные к общим диапазонам наблюдаемых значений для соответствующих переменных:

$$\bar{x}'_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij} - x_{i-min}}{x_{i-max} - x_{i-min}},$$

где: \bar{x}'_{ij} – преобразованное (масштабированное) среднее значение для переменной i и кластера j ; \bar{x}_{ij} – среднее арифметическое («не масштабированное») для переменной i и кластера j ; x_{i-max} , x_{i-min} – максимальное и минимальное наблюдаемые значения для непрерывной переменной i .

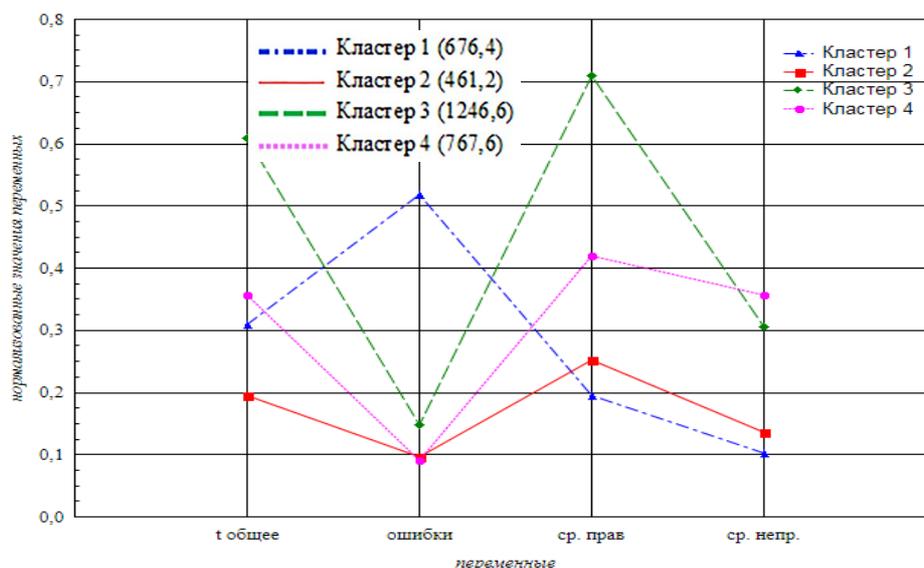
Такой график представлен на рис. 1. Из анализа этого графика можно сделать следующие выводы.

Кластер 1 – представители этого кластера характеризуются средним значением общего времени выполнения упражнения, максимальным количеством ошибок, минимальными средними временами правильных и неправильных ответов. Представители этой группы стараются выполнить задание быстрее, но при этом делают большое количество ошибок [3, с. 57].

Кластер 2 – минимальное общее время, минимальное количество ошибок, минимальные средние времена правильных и неправильных ответов. Представители этого класса составляют самую большую группу (50,5%), характеризуются достаточно развитым пространственным мышлением. По всей вероятности, ошибки появляются в результате невнимательности, так как среднее время правильных и неправильных ответов приблизительно одинаковы.

Рисунок 1.

Сравнительная оценка кластеров отображающих изменение всех параметров



Кластер 3 – максимальное общее время, минимальное количество ошибок, максимальное среднее время правильных и неправильных ответов. Представители этого кластера составляют самую маленькую группу – 5,5%. На каждый вопрос представители этого кластера затрачивают большое количество времени, поэтому делают минимальное количество ошибок. Большая разница между средним временем правильного и неправильного ответа говорит о том, что ошибки появляются в результате торопливости.

Кластер 4 – среднее общее время, минимальное количество ошибок, средние значения среднего времени правильных и очень высокое среднее время неправильных ответов. Это второй по численности класс (23,7%). Исходя из среднего значения среднего времени, затраченного на правильные ответы, вдумчиво подходят к решению каждой задачи упражнения, не торопятся давать ответ, проверяют верность решения. Однако ошибки возникают при значительном увеличении времени, затрачиваемого на ответ (чистое среднее время неправильных отве-

тов – самое высокое. Это единственная группа, у которой не масштабированное среднее время неправильных ответов больше, чем среднее правильных). Вероятная причина появления неправильных ответов – неуверенность в правильности выбранного решения [4, с. 119].

Следует отметить, что нумерация кластеров – величина чисто условная, номера кластеров при разбиении присваиваются в случайном порядке при начальном определении центров по максимальному удалению. Поэтому ориентироваться необходимо только по характеристикам кластеров.

По средним масштабированным значениям переменных можно судить об их общем соотношении, но для оценки качественных и количественных соотношений между переменными необходимо будет рассмотреть средние не масштабированные значения переменных (табл. 2). Графическое соотношение средних времен правильных и неправильных ответов представлено на рис. 2, численные значения параметров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Численные значения параметров

Общее время	Средние значения переменных		
	676,4	461,2	1246,6
Количество ошибок	34,7	6,5	9,8
Среднее время правильных ответов	14,0	17,6	46,01
Среднее время неправильных ответов	12,1	16,2	36,3

Величиной, характеризующей «торопливость», можно считать отношение средних времен правильных и неправильных ответов. У представителей кластера 4 этот показатель, во-первых, самый низкий – 0,66, а во-вторых – меньше единицы, то есть среднее время неправильного ответа больше, чем среднее время правильного. У представителей кластера 3 этот показатель самый высокий – 1,26. У представителей кластеров 1 и 2 этот показатель имеет значения соответственно 1,15 и 1,08.

Исходя из анализа средних значений переменных можно предположить, что наибольшим уровнем развития пространственного мышления обладают представители кластеров 2 и 4, а наименьшим – представители кластера 1. На рис. 2, 3, 4, 5 представлены ожидаемые распределения соответствующих переменных в различных кластерах.

Рисунок 2.

Ожидаемые распределения общего времени

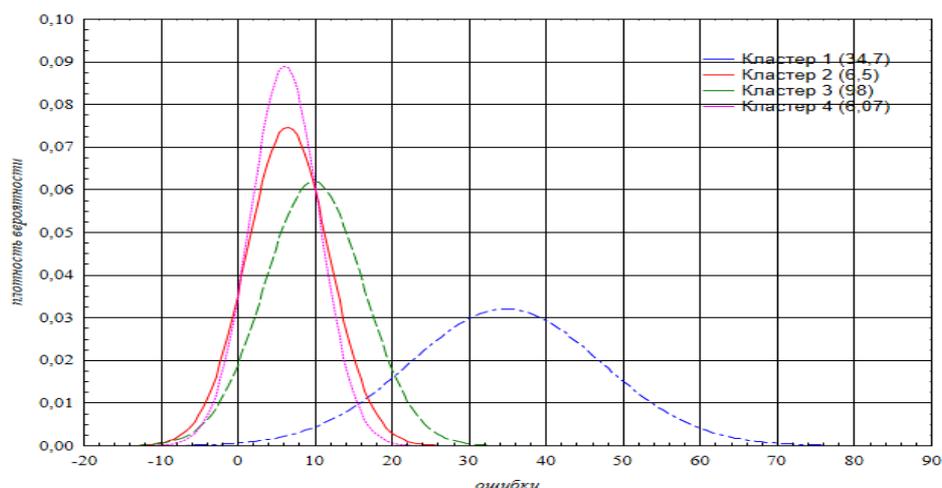


Рисунок 3.

Ожидаемые распределения ошибки

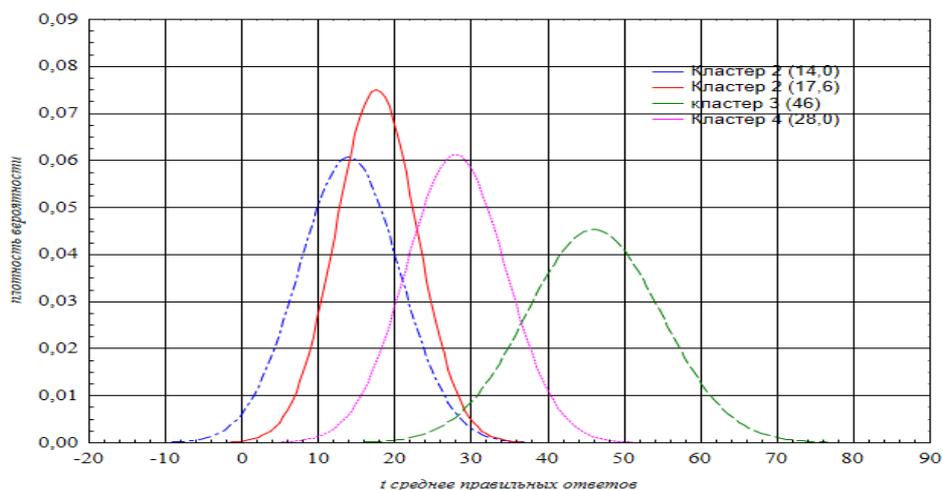


Рисунок 4.

Ожидаемые распределения среднего времени правильных ответов

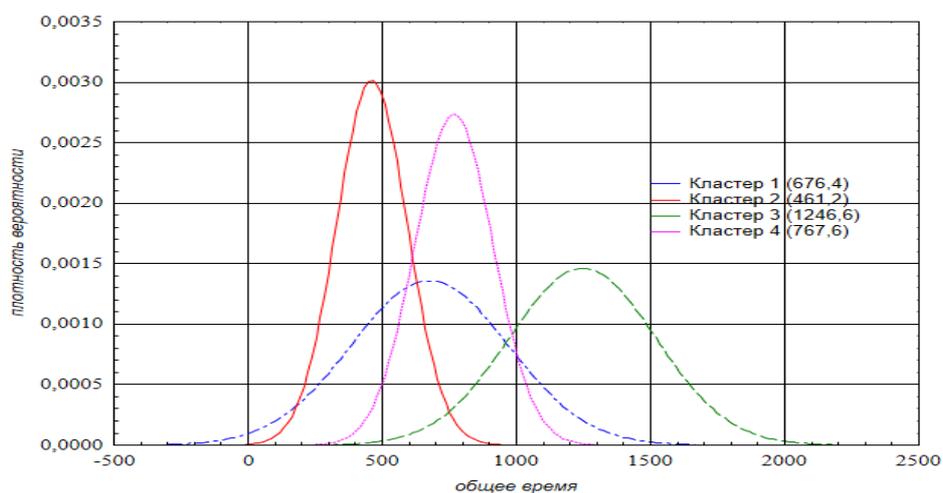
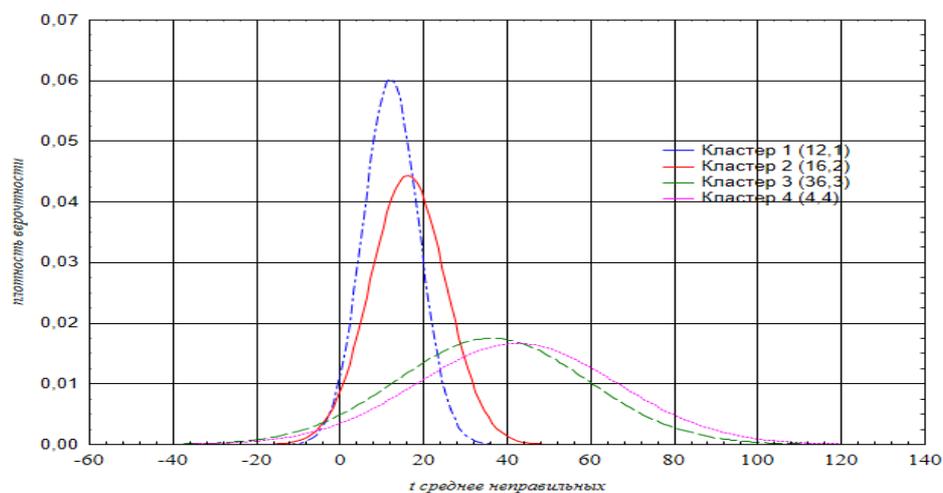


Рисунок 5

Ожидаемые распределения среднего времени неправильных ответов



Для определения отличий между кластерами необходимо сравнить некоторые параметры участников этих кластеров. Для сравнения будут использоваться параметры времени, затраченного на ответ $t_{отв}$, среднего времени правильных и неправильных ответов $t_{ср. прав}$ и $t_{ср. неправ}$ и частоты появления ошибки $f_{ош}$:

$$t_{ср. прав} = \frac{\sum_{i=1}^k t_{i.прав.}}{N_{k.прав.}} ; t_{ср. неправ.} = \frac{\sum_{i=1}^k t_{i.неправ.}}{N_{k.неправ.}} ; f_{к.ош.} = \frac{N_{к.неправ.}}{N_{к.прав.}},$$

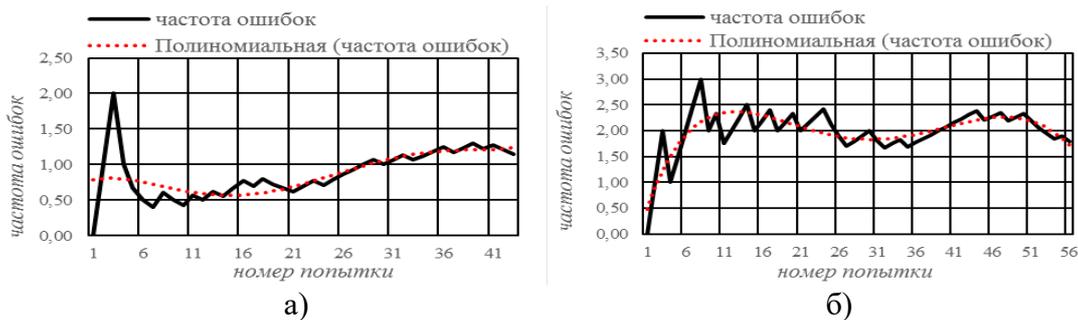
где: k – номер текущего ответа; $\sum_{i=1}^k t_{i.прав.}$ – суммарное время правильных ответов от начала до текущего; $\sum_{i=1}^k t_{i.неправ.}$ – суммарное время неправильных ответов от начала до текущего; $N_{k.прав.}$ – количество правильных ответов до момента k ; $N_{k.неправ.}$ – количество неправильных ответов до момента k .

Для сравнения в каждом кластере будут выбираться по два участника – с минимальным и максимальным расстоянием до центроиды.

На рис. 6 (а), представлены частотные характеристики для участника из первого кластера с минимальным расстоянием до центроиды, на рис. 6 (б), – с максимальным расстоянием. Пунктиром показана полиномиальная аппроксимация исходной кривой [5, с. 170].

Рисунок 6.

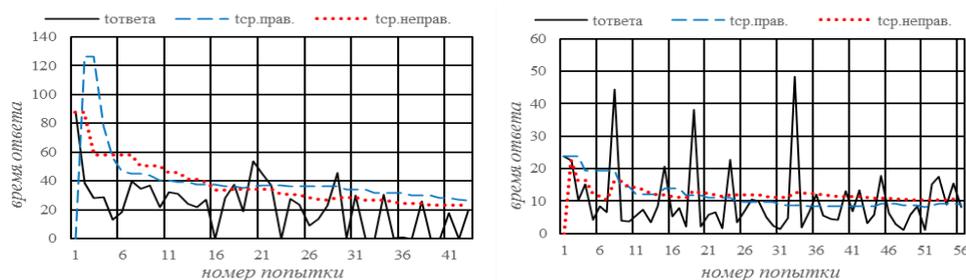
Частотные характеристики для участника из первого кластера



На обоих графиках можно отметить повышение частоты ошибок в начале и конце выполнения упражнения и снижение в середине упражнения. Причиной такого поведения частоты ошибок может быть следующее. В начале упражнения участник привыкает к заданиям упражнения, осваивает работу с ними, поэтому после первых 5–10 попыток выполнения заданий упражнения частота ошибок стабилизируется. После этого у участника наступает усталость, и в последней трети упражнения происходит подъём частоты ошибок. Чем ближе к центроиде, тем больше относительное повышение частоты ошибок. Ближе к концу выполнения упражнения влияние наработки опыта выполнения заданий упражнения становится больше влияния фактора усталости, поэтому частота ошибок начинает несколько снижаться.

Рисунок 7.

Зависимости времени попытки ответа, времени правильного и неправильного ответов от номера попытки.



На рис. 7 для тех же участников представлены зависимости времени попытки ответа, времени правильного и неправильного ответов от номера попытки. У обоих участников происходит снижение среднего времени попытки, причем наиболее заметно это снижение у участника из центра кластера. Но как следует из графика времени ответов, такое снижение произошло за счет большого количества неправильных ответов с около нулевым временем в последней трети упражнения. Это говорит о том, что участник потерял концентрацию внимания в конце упражнения, и рост частоты ошибок в конце упражнения обусловлен в том числе и этим фактором. У участника из периферийной части кластера отмечается низкая концентрация внимания на протяжении практически всего упражнения. На графике времени ответов неправильные ответы распределены достаточно равномерно по всему упражнению, причем первая и последняя трети упражнения характеризуются длинными сериями ошибок [6, с. 231].

Частотные характеристики для участников из кластера 2 приведены на рис. 8 (а – ближний к центроиду, б – дальний от нее). Характер изменения частотной характеристики для обоих участников одинаков – подъем в начале, с последующим снижением и стабилизацией. Причем для участника с большим центроидным расстоянием абсолютная величина ошибок практически в два раза меньше, чем у участника с малым центроидным расстоянием. Физический смысл этого графика описывается следующим образом. На начальном этапе «привыкания» к выполнению упражнения количество ошибок достаточно высоко, в дальнейшем при наработке определенного опыта выполнения заданий количество ошибок снижается, но в отличие от участников из первого кластера эффект «усталости» не проявляется, поэтому количество ошибок стабилизируется на некотором значении.

Рисунок 8.

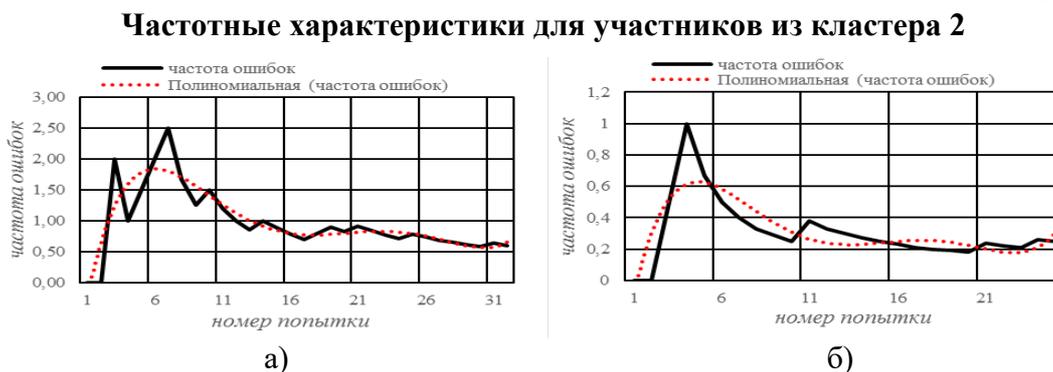
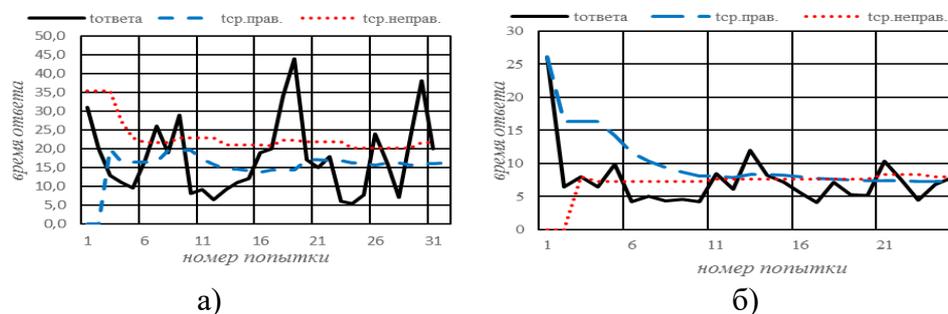


Рисунок 9

Зависимости времени ответа, среднего времени правильных и неправильных ответов

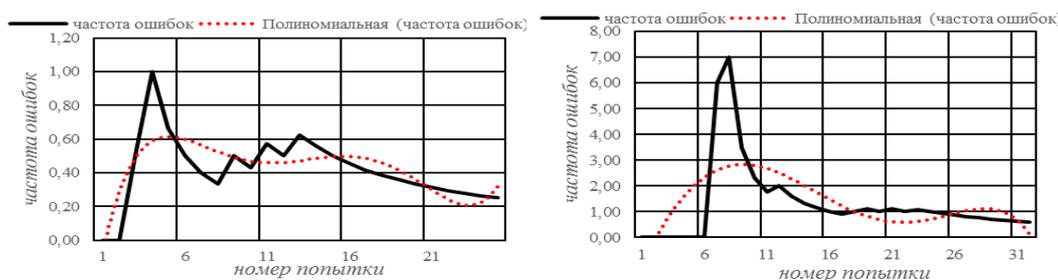


Зависимости времени ответа, среднего времени правильных и неправильных ответов для обоих участников имеют несколько больше различий (рис. 9, а и б). Эти отличия и определяют разницу значений на частотных характеристиках. Участник с малым центроидным расстоянием на начальном этапе на неправильные ответы затрачивает значительно больше времени, чем на правильные. У участника с большим центроидным расстоянием все происходит наоборот – на правильные ответы затрачивается много времени, а ошибки появляются из-за желания быстрее

дать ответ. В дальнейшем средние времена правильных и неправильных ответов стабилизируются, но у участника с большим центроидным расстоянием разница между средними временами правильных и неправильных ответов очень невелика и в последней трети упражнения практически равна 0. У участника с малым центроидным расстоянием разница между этими временами существенно заметна и практически постоянна. Корреляция между временем ответа и частотой ошибок у первого участника выражена слабо, у второго – значительно [7, с. 217].

Рисунок 10.

Частотные характеристики представителей кластера 3.

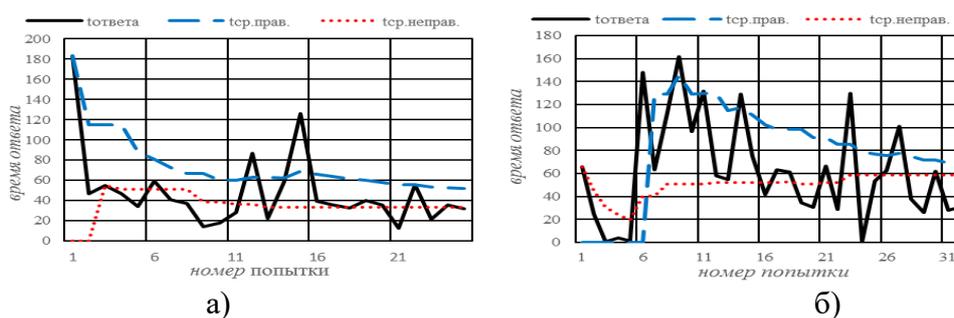


Частотные характеристики представителей третьего кластера приведены на рис. 10. Характер изменения основных параметров в этом кластере похож на кластер 2, основная разница только в абсолютных значениях величин общего времени, количество ошибок и средних времен правильных и неправильных ответов. У первого представителя (ближнего к центроиде) отмечается незначительное падение частоты ошибок во второй трети упражнения и значительное – в последней трети. Абсолютные значения частот ошибок соизмеримы с представителем из второго кластера с большим удалением от центроиды. Характер изменения частоты ошибок так же совпадает, заметная разница только в амплитудных значениях.

То же самое можно сказать и о представителе периферийной части 3 кластера – по абсолютным значениям его частотная характеристика очень похожа на характеристику представителя центральной части второго кластера. Поэтому описание поведения участников второго и третьего кластеров с точки зрения частотной характеристики будет одинаковым [8, с. 404].

Рисунок 11.

Зависимости времени ответа, средних времен правильных и неправильных ответов.



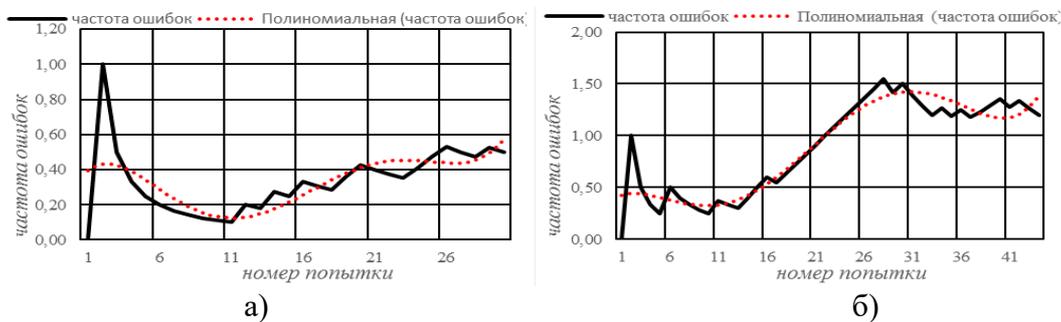
Зависимости времени ответа, средних времен правильных и неправильных ответов представлены на рис. 11. И для этих зависимостей наблюдается сильная корреляция представителей третьего и второго кластеров. Для представителя центральной части третьего кластера так же наблюдается увеличенное значение среднего времени правильного ответа в начальной части с последующим снижением и стабилизацией. Среднее время неправильного ответа так же достаточно быстро стабилизируется. В дальнейшем сохраняется заметная стабильная разница средних времен правильных и неправильных ответов, причем среднее время правильного ответа на протяжении всего упражнения больше среднего времени неправильного ответа, что может свидетельствовать о том, что причиной появления неправильных ответов является попытка ускорить ответ (для этого участника «коэффициент торопливости» составляет 1,55).

Для представителя периферийной части кластера 3 особенностью является большое количество ошибок в начале выполнения упражнения. Причем этот участок характеризуется большим разбросом времени, затраченного на каждый ответ. Можно предположить, что этот участник не совсем понял принцип решения задач упражнения, с чем и связано большое количество ошибок. В дальнейшем, после того, как он разобрался с методами выполнения упражнения, среднее время правильного ответа начало резко снижаться, а среднее время неправильного ответа стало практически постоянным. Корреляция между частотой ошибок и временем выполнения задания у обоих участников выражена достаточно отчетливо [9, с. 447].

С учетом того, что количественный состав 3 кластера самый маленький (около 5%) из большого сходства зависимостей для участников 2 и 3 кластеров можно предположить, что при сокращении количества кластеров большая часть участников из 3 кластера будет мигрировать во второй во второй.

Рисунок 12.

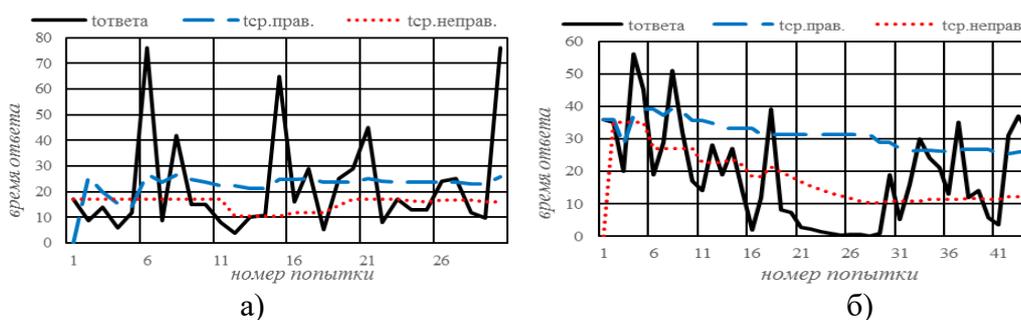
Частотные характеристики представителей кластера 4.



Частотные характеристики представителей 4 кластера представлены на рис. 12. У обоих представителей (центральной и периферийной части кластера) характер изменения частотных характеристик достаточно схожий. Некоторое начальное снижение частоты в конце первой трети упражнения сменяется длительным ростом частоты ошибок, которая достигает своего максимума к началу последней трети. Затем следует стабилизация (у представителя центральной части кластера) или небольшое снижение частоты (у представителя периферийной части кластера). Такой характер поведения частоты ошибок может свидетельствовать о низком пороге «выносливости» - в конце первой трети наступает усталость, и участник либо теряет концентрацию, либо не может сосредоточиться на поиске правильного ответа. По мере выполнения упражнения наработанный опыт позволяет в некоторой степени снизить влияние усталости, но полностью компенсировать ее влияние не удастся. В этом смысле частотные характеристики четвертого кластера очень схожи с характеристиками первого кластера, где частота ошибок так же начинает увеличиваться в начале первой трети упражнения.

Рисунок 13

Зависимости времени ответа, среднего времени правильного и неправильного ответа.



Зависимости времени ответа, среднего времени правильного и неправильного ответа представлены на рис. 13. Здесь внимания заслуживает практически постоянное время

правильного ответа, что так же было характерно для участников из кластера 1. Среднее время неправильных ответов для участника из центральной части кластера мало изменяется в течении выполнения упражнения, а у участника из периферийной части оно в начале существенно повышено и даже в некоторый момент превышает среднее время правильного ответа. В дальнейшем оно снижается и в последней трети упражнения стабилизируется, что так же может служить косвенным признаком наработки определенных умений по выполнению заданий упражнения.

Кроме этого, у участника из периферийной части кластера «коэффициент торопливости» очень высок и составляет 2,15, тогда как у участника из центральной части кластера он равен 1,59. Нельзя не заметить, что это не совсем стыкуется со средними данными по кластеру, где «коэффициент торопливости» меньше единицы и равен 0,66. При анализе средних времен правильных и неправильных ответов для всех участников кластера можно сделать вывод, что коэффициент торопливости, меньший единицы, свойственен приблизительно половине участников кластера 4. У некоторых участников количество ошибок в упражнении равно 0, поэтому получается, что весовая доля больших значений средних времен неправильных ответов значительно больше, чем времен правильных ответов, и средний по кластеру «коэффициент торопливости» действительно меньше единицы [10, с. 153].

Выводы

Таким образом, проведенное авторами статьи исследование по использованию метода кластерного анализа для оценки результатов развития пространственного мышления у обучаемых показало:

- использование метода кластерного анализа дает хороший результат при проведении тщательного анализа выполнения тестов обучаемыми;
- возможность использования этой методики для оценки результатов развития пространственного мышления обучаемых.

Список источников

1. Варфоломеева С.В., Терехов В.В. Применение образовательных метаданных для овладения сравнительным методом и компаративным анализом в процессе изучения социально-гуманитарных дисциплин // Гуманитарные и социальные науки. 2020. № 1. С. 178–186.
2. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Исследование инновационных образовательных технологий подготовки военных специалистов, основанных на методах получения информационных, механических и синтетических знаний. Краснодар, 2019. С. 190.
3. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Разработка научно-практических и учебно-методических принципов (положений) качественного повышения обучения курсантов-летчиков в ВУЗ-ах МО РФ. Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2016. 122 с.
4. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Исследование инновационных образовательных технологий подготовки военных специалистов, основанных на методах получения информационных, механических и синтетических знаний. Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2019. 196 с.
5. Курбасов А.М., Савицкий Ю.А., Терехов В.В. Педагогические условия развития мышления обучающихся в современном образовании // Общество: социология, психология, педагогика. 2022. № 6. С. 169–175.
6. Нефедовский В.А., Савицкий Ю.А., Терехов В.В. Исследование в области развития пространственного мышления будущего военного летчика // Гуманитарные и социальные науки. 2021. № 2. С. 226–237.
7. Павелко Н.Н., Павлов С.О. Психология и педагогика: Учебное пособие. М.: КНОРУС, 2012. 497 с.

8. *Савицкий Ю.А., Нefeldовский В.А., Терехов В.В.* Современный взгляд на естественно-научную грамотность обучаемых // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2020. № 3. С. 405–408.
9. *Савицкий Ю.А., Нefeldовский В.А., Степанова М.В., Терехов В.В.* Системный подход к самостоятельной работе обучающихся // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2019. № 1. С. 445–448.
10. *Энсис Е.И., Колесников В.П., Терехов В.В.* Разработка методов повышения качества культуры образования на основе синтеза знаний. Краснодар: КВВАУЛ, 2020. 194 с.

References

1. *Varfolomeeva S.V., Terekhov V.V.* The use of educational metadata for mastering the comparative method and comparative analysis in the process of studying social and humanitarian disciplines // Humanities and social Sciences. 2020. No. 1. P. 178–186.
2. *Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V.* Research of innovative educational technologies for training military specialists based on methods of obtaining information, mechanical and synthetic knowledge. Krasnodar, 2019. P. 190.
3. *Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V.* Development of scientific, practical and educational principles (provisions) for the qualitative improvement of the training of cadet pilots at the Higher Education Institution of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Krasnodar: Publishing House – Yug, 2016. 122 p.
4. *Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V.* Research of innovative educational technologies for training military specialists based on methods of obtaining information, mechanical and synthetic knowledge. Krasnodar: Publishing House – Yug, 2019. 196 p.
5. *Kurbasov A.M., Savitsky Yu.A., Terekhov V.V.* Pedagogical conditions for the development of students' thinking in modern education // Society: sociology, psychology, pedagogy. 2022. No. 6. P. 169–175.
6. *Nefedovsky V.A., Savitsky Yu.A., Terekhov V.V.* Research in the field of spatial thinking development of the future military pilot // Humanities and social sciences. 2021. No. 2. P. 226–237.
7. *Pavelko N.N., Pavlov S.O.* Psychology and pedagogy: Textbook. M.: KNORUS, 2012. 497 p.
8. *Savitsky Yu.A., Nefedovsky V.A., Terekhov V.V.* A modern view on the natural science literacy of students // Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2020. No.3. P. 405–408.
9. *Savitsky Yu.A., Nefedovsky V.A., Stepanova M.V., Terekhov V.V.* A systematic approach to the independent work of students // Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2019. No. 1. P. 445–448.
10. *Ensis E.I., Kolesnikov V.P., Terekhov V.V.* Development of methods to improve the quality of education culture based on the synthesis of knowledge. Krasnodar: KVVAUL, 2020. 194 p.

Статья поступила в редакцию 23.01.2024; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 15.02.2024.

The article was submitted 23.01.2024; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 15.02.2024.