

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

УДК 330.101.54

А.Ю. Трусова\*

### АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРАНАХ СНГ СРЕДСТВАМИ МНОГОМЕРНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ

В статье рассматриваются методы метрического и неметрического многомерного шкалирования при анализе показателей информационно-коммуникационной сферы. Многомерные данные визуализируются, учитывая меру сходства и различия субъектов исследования. Выделенные теоретические шкалы формируют направления в изучении многомерных статистических данных.

**Ключевые слова:** многомерные статистические методы, метрическое и неметрическое шкалирование, пространство стимулов.

В настоящее время глобальный уровень информационной сферы претерпевает стремительное развитие. Распространение информационно-коммуникационных технологий несет с собой кардинальные изменения в государственных структурах и институтах гражданского общества, экономической и социальной сферах, науке и образовании, культуре и др. Исследования на международном уровне подчеркивают существующую тесную связь между процессом развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и экономическим благополучием.

Развитие ИКТ является одним из стратегических направлений модернизации экономики, и развитие телекоммуникационной инфраструктуры способствует усилению стратегического положения любой страны в долгосрочной перспективе. Ключевыми задачами анализа рынка ИКТ в странах СНГ являются перспективность внедрения данных технологий в странах содружества, целесообразность развития электронного бизнеса на данных территориях, а также изучение инвестиционной привлекательности сферы ИКТ в странах СНГ. Развитие информационных технологий в странах СНГ в настоящее время изучено недостаточно. Данная проблема является актуальной, в этой связи вопросы об использовании интернет-технологий, разработок в сфере IT-технологий, телефонных сетей рассматриваются в этой статье. В качестве методов многомерного анализа используются методы метрического и неметрического шкалирования. Эти методы позволяют визуализировать как изучаемые показатели, так и объекты в новом теоретическом пространстве. Возможности применения многомерного шкалирования имеют широкий спектр выбора метрик. В статье использовались меры сходства и различия, рассчитываемые по известным формулам Евклидовой метрики. Получение образов объектов осуществлялось с учетом рангов объектов в исходном пространстве показателей. Алгоритм проведения анализа соответствует хорошо изученному алгоритму Торгерсона. Расчеты показателей стресса проводились по формулам Краскала и коэффициентам отчуждения.

Исходные данные приведены в таблице 1. По строкам представлены изучаемые объекты – страны СНГ, по столбцам указаны изучаемые признаки.

Таблица 1

Показатели развития ИКТ стран СНГ за 2016 год

X №	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>
1	9,6	4,6	10,7	7,51	19,9	46,8	23,329	67	54	43	40
2	3	1,1	3,5	1,76	9,1	34,2	5,627	60	49	38	38
3	9,5	4,6	11,4	5,91	28,8	55	28,937	99	97	86	57
4	17,5	8,5	26,3	9,97	12,9	59,8	17,585	71	66	60	20
5	6	2,3	7	1,01	3	2,5	4,242	43	39	23	28
6	3,6	1,2	4,3	1,49	14,7	49,4	4,149	69	59	43	30
7	8,5	2,3	21,5	0,87	0,1	0,01	3,389	30	15	1	10
8	5,4	2,4	4,3	0,11	0,0001	0,001	3,345	28	0,1	0	4
9	31,3	12,8	21,8	15,45	2,8	0,01	35,836	35	31	22	27

\* © Трусова А.Ю., 2018

Трусова Алла Юрьевна (a\_yu\_ssu@mail.ru), кафедра математики и бизнес-информатики, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

**Анализируемые государства:**

– Азербайджан (1), Армения (2), Беларусь (3), Казахстан (4), Кыргызстан (5), Молдова (6), Таджикистан (7), Туркменистан (8), Узбекистан (9).

**Исследуемые показатели:**

- среднегодовая численность населения (млн чел.) в 2016 г. ( $X_1$ );
- численность занятого населения (млн чел.) в 2016 г. ( $X_2$ );
- численность абонентов сотовых мобильных телефонных сетей (млн) в 2016 г. ( $X_3$ );
- численность пользователей сети Интернет (млн чел.) в 2016 г. ( $X_4$ );
- численность абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет (на 100 чел. населения) в 2016 г. ( $X_5$ );
- численность абонентов мобильного широкополосного доступа к сети Интернет (на 100 чел. населения) в 2016 г. ( $X_6$ );
- численность персонала, занятого исследованиями и разработками (тыс. чел.) в 2016 г. ( $X_7$ );
- организации, использовавшие информационные и коммуникационные технологии (в % от общего числа организаций предпринимательского сектора), а именно персональные компьютеры в 2016 г. ( $X_8$ );
- организации, использовавшие информационные и коммуникационные технологии (в % от общего числа организаций предпринимательского сектора), а именно сеть Интернет в 2016 г. ( $X_9$ );
- организации, использовавшие информационные и коммуникационные технологии (в % от общего числа организаций предпринимательского сектора), а именно широкополосный доступ к сети Интернет в 2016 г. ( $X_{10}$ );
- организации, использовавшие информационные и коммуникационные технологии (в % от общего числа организаций предпринимательского сектора) и имевшие web-сайт в 2016 г. ( $X_{11}$ ).

Координатное пространство стимулов и их показателей, рассчитанное средствами метрического и неметрического многомерного шкалирования, представлено на рис. 1. В качестве метрики использовалась мера различия и сходства.

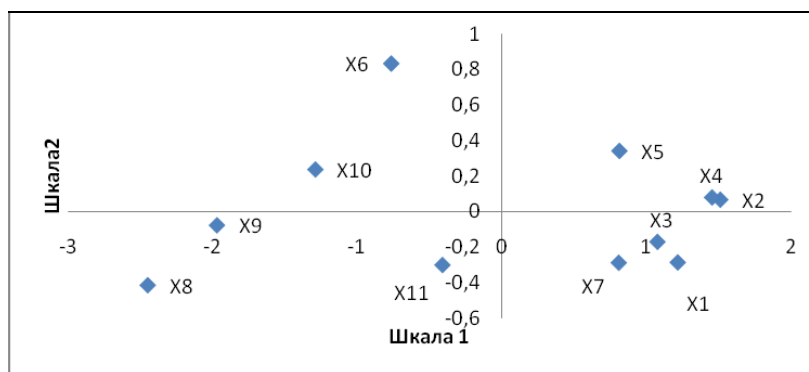


Рис. 1. Показатели информационно-коммуникационных технологий в пространстве стимулов (мера различия)

Учитывая не сами показатели, а меру их различия, можно выявить положительную связь показателей  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$  и  $X_7$  со шкалой координат стимулов. Данные показатели свидетельствуют об удовлетворительном уровне развития населения в изучаемых государствах, именно эти показатели позволяют осуществлять развитие ИКТ. Максимальную величину уровня показателя по первой шкале стимулов имеют показатели «численность занятого населения» и «численность пользователей сети Интернет». Такие показатели, как «число организаций, использовавших персональные компьютеры» и «число организаций, использовавших сеть Интернет», необходимо развивать с целью их роста и развития. Численность абонентов мобильного широкополосного доступа к сети Интернет является лидирующим показателем по второй шкале стимулов. Остальные показатели имеют примерно одинаковый разброс в пространстве стимулов.

Представление изучаемых объектов – государств в пространстве стимулов позволяет выделить группы государств, имеющих общую локализацию, при анализе различий показателей. На рис. 2 показаны пространство стимулов и локализация в нем изучаемых государств. Как видно, Азербайджан, Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и Молдова формируют доминирующий кластер по второй шкале стимулов, а такие государства, как Таджикистан и Туркменистан, образуют локализованный диаметрально противоположно по второй шкале стимулов; Узбекистан занимает нейтральное положение по второй шкале. По первой шкале стимулов все государства, кроме Узбекистана, локализованы примерно одинаково в пространстве стимулов.

Учитывая не сами показатели, а меру их сходства, можно выявить положительную связь показателей  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_7$ ,  $X_{10}$  и  $X_{11}$  со шкалой координат стимулов (рис. 3). Численность абонентов сотовых мобильных телефонных сетей; численность персонала, занятого исследованиями и разработками; число организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, и число организаций, имевших web-сайт, находятся на удовлетворительном уровне развития. Максимальную величину уровня развития по первой шкале стимулов имеет показатель «число организации, имевших web-сайт». Такие показатели, как численность абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет и

численность абонентов мобильного широкополосного доступа к сети Интернет, необходимо усиленно развивать с целью их роста и совершенствования. Численность занятого населения и численность абонентов сотовых мобильных телефонных сетей являются лидирующими показателями по второй шкале стимулов. Организации, использовавшие именно персональные компьютеры и сеть Интернет, по второй шкале в пространстве стимулов требуют особенного подхода при развитии данных показателей.

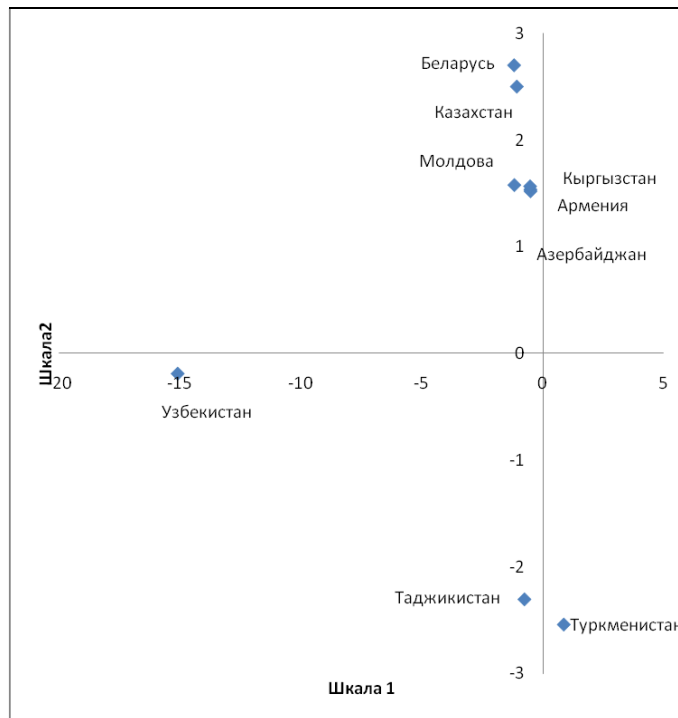


Рис. 2. Государства в пространстве стимулов по метрике различий

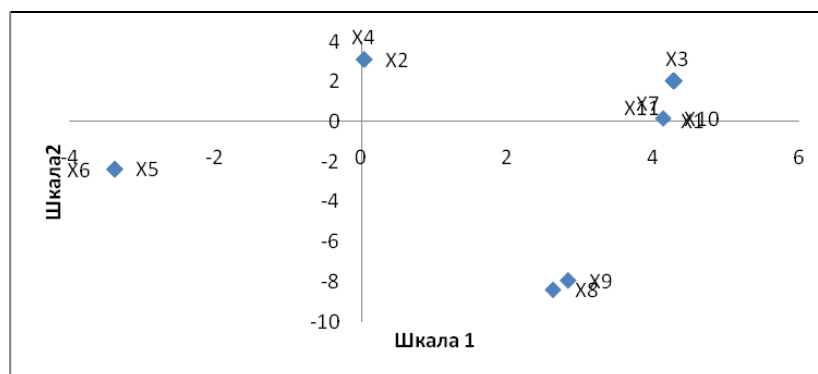


Рис. 3. Показатели информационно-коммуникационных технологий в пространстве стимулов (мера сходства)

Учитывая меру сходства изучаемых показателей, представление изучаемых объектов – государств в пространстве стимулов позволяет также выделить группы, имеющие практически сходные координаты. На рис. 4 представлено пространство стимулов и локализация в нем изучаемых государств. Как видно, аналогично с пространством по метрике различия Азербайджан, Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и Молдова формируют доминирующий кластер по первой шкале стимулов; такие государства, как Таджикистан и Узбекистан, образуют кластер, локализованный полярно как по первой, так и по второй шкале стимулов. Туркменистан занимает отдельное положение по обеим шкалам.

Используя статистический пакет MSPSS, были получены совместные графики образов как государств, так и показателей, их описывающих в пространстве стимулов, учитывая меру различия и меру сходства (рис. 5). Из графиков видно, что такие показатели, как  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_7$  и  $X_8$ , могут быть обобщены одним интегральным показателем. Пары показателей  $X_2$  и  $X_4$ ,  $X_5$  и  $X_6$ ,  $X_9$  и  $X_{10}$  могут быть заменены одним из показателей, указанных в паре. Государства Азербайджан (1), Армения (2), Беларусь (3), Казахстан (4), Кыргызстан (5), как видно из рисунков, образуют единый кластер по информационно-коммуникационным показателям. Таким образом, метрическое пространство стимулов позволяет, изучая специфику показателей, отобразить взаимное расположение одновременно как стимулов, так и объектов. При этом совместная локализация свидетельствует о том, насколько однонаправленно или

разнонаправленно развиваются изучаемые государства и показатели, характеризующие развитие ИКТ в них. Используя меру различия, можно установить, что показатели, описывающие ИКТ, располагаются несимметрично относительно нулевого значения как по первой, так и по второй шкале теоретического пространства. Это позволяет выявить приоритетные показатели или отдельный доминирующий показатель, на который необходимо обратить первостепенное внимание. В метрике различий такими показателями являются «численность абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет» и «численность абонентов мобильного широкополосного доступа к сети Интернет» по первой шкале и «число организаций, использовавших персональные компьютеры и сеть Интернет» – по второй шкале.

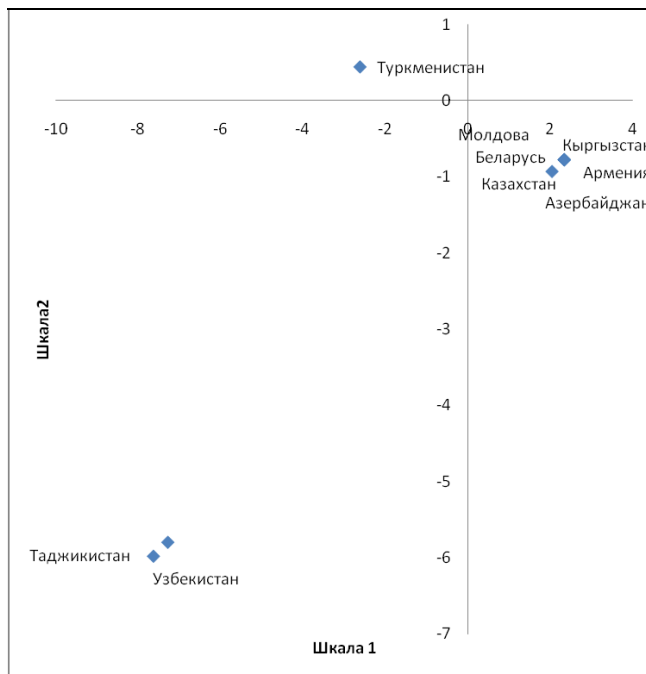


Рис. 4. Государства в пространстве стимулов по метрике сходства

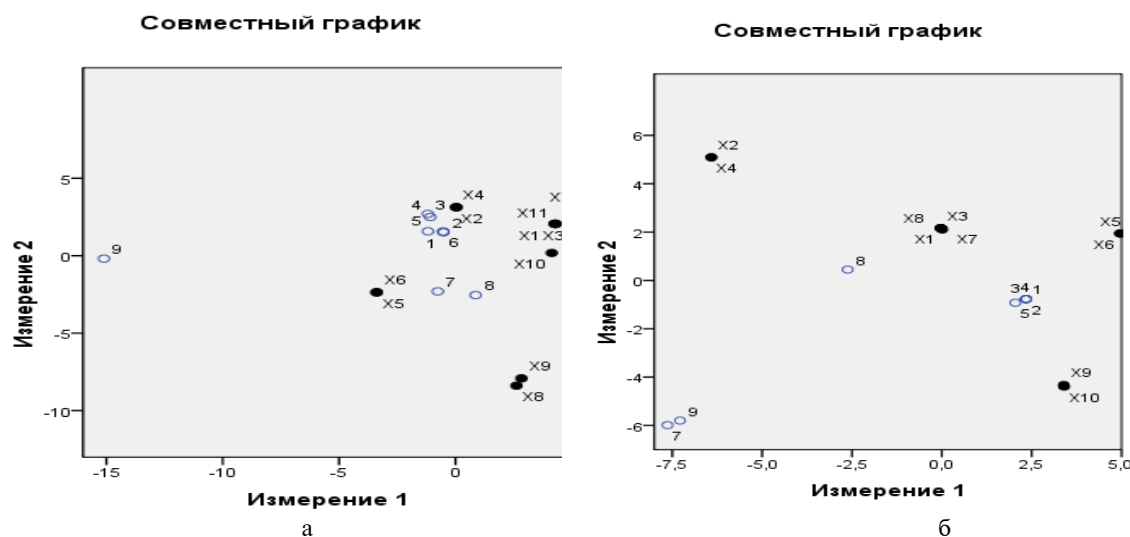


Рис. 5. Совместное расположение показателей и государств в теоретическом пространстве: а – метрика различия; б – метрика сходства

В теоретическом пространстве с использованием меры сходства можно установить, что аналогичные показатели, описывающие ИКТ, располагаются несимметрично относительно нулевого значения как по первой, так и по второй шкале теоретического пространства. Кроме того, взаимное расположение объектов – государств относительно нулевого значения координат как по первой, так и по второй шкале свидетельствует о наличии значительной обособленности и специфичности в развитии ИКТ в таких странах, как Таджикистан и Узбекистан. Это позволяет выявить приоритетные направления сотрудничества при развитии показателей ИКТ в этих государствах. Расположение остальных государств в теоретическом пространстве предполагает совместное развитие указанных показателей ( $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_8$  и  $X_9$ ).

После изучения коэффициентов корреляций между выделенными факторами и исследуемыми признаками в работе был выделен первый главный фактор, который определяет собой в общем использование ИКТ-технологий. Второй фактор представляет собой занятость исследованиями и разработками в сфере ИКТ.

Изучение шкал теоретического пространства проводилось средствами компонентного анализа. Были выделены две компоненты, описывающие 96 % от общей дисперсии.

На рис. 6 отражены изучаемые показатели в пространстве латентных факторов после варимаксного вращения.

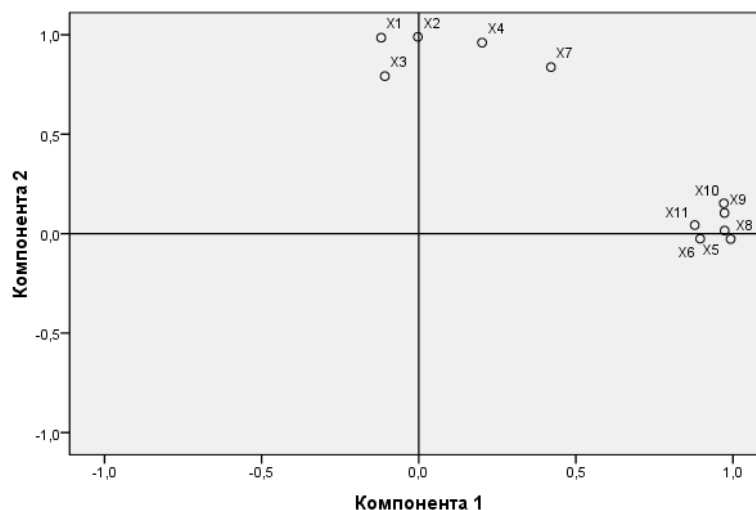


Рис. 6. Изучаемые показатели в пространстве латентных факторов после варимаксного вращения

Из рис. 6 видно, что первая шкала теоретического пространства должна быть связана с такими показателями, как  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_8$ ,  $X_9$ ,  $X_{10}$  и  $X_{11}$ . Вторая шкала связана с такими показателями, как  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_4$ . Таким образом, первая шкала определяется развитием организаций, использующих различные виды ИКТ, а вторая шкала – развитием социального фактора, а именно занятого населения, использующего ИКТ. Показатель, характеризующий уровень занятых в сфере ИКТ и занимающихся разработками в этой сфере, требует особого внимания во всех государствах.

Статистическая значимость полученных результатов оценивалась по критериям, представленным в таблице 2.

Таблица 2

#### Проверка статистической значимости

Название критерия	Величина критерия
Нормализованный стресс	0,0000012
Стресс-I Крускала	0,0011145
Стресс-II Крускала	0,0064012
S-стресс-I Янга	0,0022856
S-стресс-II Янга	0,0076895

Коэффициенты ранговой корреляции по Спирмену и Кендаллу составили 0,9467 и 0,8867 соответственно.

Из таблицы 2 следует, что критерии качества неметрического и метрического шкалирования подтверждают статистическую значимость полученных результатов на уровне 0,05.

Таким образом, многомерное шкалирование позволяет визуализировать многомерные данные в теоретическом пространстве образов. Изучение координат образов как показателей, так и объектов в пространстве стимулов позволяет всесторонне исследовать параметры стран СНГ в фокусе применения ИКТ, а также и сами показатели, характеризующие ИКТ.

Интеграция процессов в странах СНГ требует постоянного изучения текущих показателей ИКТ, их сравнительный анализ с целью постоянного улучшения и совершенствования растущего объема информационных потоков. Это с необходимостью предполагает регулярный мониторинг состояния сферы информационно-коммуникационных технологий и ее комплексный анализ. В этой связи средствами многомерного шкалирования возможно выделение приоритетных направлений, учитывающих как меру сходства и различия между показателями, так и ранговую связь изучаемых объектов – стран СНГ.

### Библиографический список

1. Дейвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных / пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1988.
2. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: учебник. М.: Финансы и статистика, 2000. 352 с.
3. Сошникова Л.А., Тимашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике: учеб. пособие для вузов / под ред. проф. В.Н. Тимашевича. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. 598 с.
4. Наследов А.Д. SPSS 17: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2008.
5. Трусова А.Ю. Анализ социально-экономических данных средствами многомерного шкалирования // Прикладная информатика. 2009. № 6.
6. Трусова А.Ю. Многомерное шкалирование структуры общества // Вестник Самарского государственного университета. 2008. № 7. С. 62–71.

### References

1. Devison M. *Mnogomernoe shkalirovanie: Metody nagliadnogo predstavleniia dannykh. Per. s angl.* [Multidimensional scaling: Methods of visual presentation of data. Translation from English]. M.: Finansy i statistika, 1988 [in Russian].
2. Dubrov A.M., Mkhitaryan V.S., Troshin L.I. *Mnogomernye statisticheskie metody: uchebnik* [Multidimensional statistical methods: Tutorial]. M.: Finansy i statistika, 2000, 352 p. [in Russian].
3. Soshnikova L.A., Timashevich V.N., Uebe G., Shefer M. *Mnogomernyi statisticheskii analiz v ekonomike: ucheb. posobie dlia vuzov. Pod red. prof. V.N. Timashevicha* [Multivariate statistical analysis in economics: teaching aids for the universities. V.N. Timashevich (Ed.)]. M.: IuNITI-DANA, 1999, 598 p. [in Russian].
4. Nasledov A.D. *SPSS 17: professional'nyi statisticheskii analiz dannykh* [SPSS 17: Professional Statistical Data Analysis]. SPb.: Piter, 2008 [in Russian].
5. Trusova A.Yu. *Analiz sotsial'no-ekonomicheskikh dannykh sredstvami mnogomernogo shkalirovaniia* [Analysis of socio-economic data by means of multidimensional scaling]. *Prikladnaia informatika* [Applied Informatics], 2009, no. 6 [in Russian].
6. Trusova A.Yu. *Mnogomernoe shkalirovanie struktury obshchestva* [Multidimensional scaling of the structure of society]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2008, no. 7, pp. 62–71 [in Russian].

*A. Yu. Trusova* \*

### ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE CIS COUNTRIES BY MEANS OF MULTIDIMENSIONAL SCALING

The article discusses the methods of metric and non-metric multidimensional scaling in the analysis of indicators of information and communication sphere. Multidimensional data is visualized, taking into account the degree of similarity and differences between the subjects of the study. The theoretical coordinates of the stimuli form the directions in the study of multivariate statistics.

**Key words:** multivariate statistical methods, metric and non-metric scaling, stimulus space.

Статья поступила в редакцию 15/VII/2018.  
The article received 15/VII/2018.

---

\* Trusova Alla Yurievna (a\_yu\_ssu@mail.ru), Department of Mathematics and Business Informatics, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.