

УДК 330.4 JEL C02, G14

UDC 330.4 JEL C02, G14

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ GRA И EDAS  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ И  
ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕНДЕНЦИЙ  
ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТМАССОВОЙ  
ПРОДУКЦИИ В ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГАХ  
РФ**

**APPLICATION OF GRA AND EDAS  
METHODS FOR DIAGNOSTICS AND  
IDENTIFICATION OF TENDENCIES IN  
PLASTICS PRODUCTION IN THE FEDERAL  
DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Попова Елена Витальевна  
д.э.н., к.ф.-м.н., профессор  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,  
Краснодар, Россия*

Popova Elena Vitalievna  
Doctor of Economics, Candidate of Physical and  
Mathematical Sciences, Professor  
*Kuban State Agrarian University named after  
I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

Романюк Анна Сергеевна  
Магистрант  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,  
Краснодар, Россия*

Romanyuk Anna Sergeevna  
Master's student  
*Kuban State Agrarian University named after I. T.  
Trubilin, Krasnodar, Russia*

Вострокнутов Александр Евгеньевич  
к.э.н., доцент  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,  
Краснодар, Россия*

Vostroknutov Alexander Evgenievich  
Candidate of Economic Sciences, Associate  
Professor  
*Kuban State Agrarian University named after I. T.  
Trubilin, Krasnodar, Russia*

В статье рассматривается применение методов многокритериального анализа GRA и EDAS для ранжирования федеральных округов Российской Федерации по объемам производства пластмассовой продукции за период 2020–2024 гг. Выбор данных методов обусловлен их различными математическими принципами, что позволяет получить взаимодополняющие оценки исследуемых объектов и повысить надежность итоговых выводов. Актуальность исследования связана со значимостью данного сектора для экономики страны и сопряженной с ним экологической нагрузкой, пространственное распределение которой требует адресного подхода при разработке природоохранных мероприятий. На основе комплексного анализа временных рядов выполнено ранжирование федеральных округов с последующей верификацией результатов через сопоставление с ранжированием, полученным методом TOPSIS. Эмпирическую базу составили официальные статистические данные, агрегированные по видам экономической деятельности и федеральным округам. В результате анализа установлена высокая степень поляризации производства: ограниченное число федеральных округов формируют ядро отрасли и, соответственно, несут основную потенциальную экологическую нагрузку. Результаты проверки согласованности свидетельствуют об устойчивости полученных

The article discusses the application of GRA and EDAS multi-criteria analysis methods to rank the federal districts of the Russian Federation by the volume of plastic product production for the period 2020-2024. The choice of these methods is based on their different mathematical principles, which allows for complementary assessments of the objects under study and enhances the reliability of the final conclusions. The relevance of the study lies in the significance of this sector for the country's economy and the associated environmental burden, which requires a targeted approach in the development of environmental protection measures. Based on a comprehensive analysis of time series, the federal districts were ranked, followed by verification of the results by comparing them with the ranking obtained using the TOPSIS method. The empirical base was formed by official statistical data aggregated by economic activity and federal districts. The analysis revealed a high degree of production polarization: a limited number of federal districts form the core of the industry and, consequently, bear the main potential environmental burden. The results of the consistency check indicate the stability of the obtained rankings, which allows us to use the identified patterns as an information base for determining priority regions when planning environmental protection measures, developing regional development programs, and justifying management decisions in the field of industrial policy

ранжирований, что позволяет рассматривать выявленные закономерности в качестве информационной базы для определения приоритетных регионов при планировании природоохранных мероприятий, разработке программ регионального развития и обосновании управленческих решений в сфере промышленной политики

Ключевые слова: МЕТОД TOPSIS, МЕТОД GRA, МЕТОД EDAS МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, АНАЛИЗ ДАННЫХ, КОЭФФИЦИЕНТА КОНКОРДАЦИИ КЕНДАЛЛА, СОГЛАСОВАННОСТЬ, ПРОИЗВОДСТВО ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Keywords: TOPSIS METHOD, GRA METHOD, EDAS METHOD, MULTICRITERIAL EVALUATION, DATA ANALYSIS, KENDALL COEFFICIENT, CONSISTENCY, PLASTIC PRODUCT MANUFACTURING, ENVIRONMENTAL POLLUTION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-217-049>

## **Введение.**

Производство пластмасс и изделий из них занимает устойчивые позиции в структуре обрабатывающей промышленности Российской Федерации. Продукция данного сектора используется во множестве сопряженных отраслей – от упаковочной индустрии до машиностроения и медицины, что обуславливает его роль как поставщика материалов для широкого круга производственных цепочек. Динамика развития сектора, его отраслевая структура и пространственное распределение выступают значимыми индикаторами состояния промышленного комплекса страны.

Вместе с тем производство пластмассовой продукции сопряжено с возрастающей экологической нагрузкой: выбросами в атмосферу, образованием отходов и загрязнением водных объектов. В этой связи выявление регионов с наибольшими объемами производства приобретает не только экономическое, но и природоохранное значение, поскольку позволяет косвенно оценить потенциальную экологическую напряженность и определить приоритетные территории для разработки адресных природоохранных мероприятий.

<http://ej.kubagro.ru/2026/03/pdf/49.pdf>

В официальной статистике сведения о производстве пластмассовой продукции представлены в разрезе нескольких видов экономической деятельности и федеральных округов, формируя многомерную структуру данных, охватывающую пятилетний период наблюдений. Анализ подобных массивов информации традиционными методами сопряжен с методическими трудностями, связанными с необходимостью одновременного учета различных видов продукции и временной динамики. Это обуславливает потребность в применении инструментария, позволяющего перейти от разрозненных показателей к интегральным оценкам, пригодным для сравнительного анализа и обоснования управленческих решений в сфере региональной экономики и охраны окружающей среды.

Целью исследования является выявление федеральных округов Российской Федерации с наибольшими объемами производства пластмассовой продукции за период 2020-2024 гг. на основе комплексного анализа временных рядов методами GRA и EDAS с последующей верификацией результатов через сопоставление с ранжированием, полученным методом TOPSIS на тех же исходных данных в работе [7]. Для оценки степени согласованности между тремя методами используется коэффициент конкордации Кендалла. Полученные ранжирования позволяют не только определить регионы-лидеры по объемам производства, но и косвенно оценить распределение потенциальной экологической нагрузки, связанной с функционированием данного сектора промышленности.

### **Обоснование актуальности исследования и обозначение проблемы.**

Сектор производства пластмасс и изделий из них вносит существенный вклад в экономику Российской Федерации. Продукция сектора используется в качестве сырья и комплектующих в строительстве,

сельском хозяйстве, автомобилестроении, производстве товаров народного потребления, что закрепляет за ним статус межотраслевого поставщика, влияющего на конкурентоспособность многих видов конечной продукции [5]. Устойчивый рост объемов производства, наблюдаемый в последние годы, свидетельствует о возрастающей роли данного сегмента в экономике страны.

Размещение производственных мощностей по территории страны характеризуется высокой степенью неравномерности. Одни федеральные округа исторически выступают центрами концентрации химических производств, другие – обладают ограниченным набором перерабатывающих мощностей, либо вовсе не представлены в отдельных сегментах [13]. Такая пространственная дифференциация создает различные условия для экономического развития регионов, влияет на структуру занятости, налоговые поступления и инвестиционную привлекательность. Выявление регионов-лидеров и регионов с низким уровнем развития производства пластмассовой продукции выступает необходимым условием для разработки адресных мер региональной экономической политики, включая инструменты государственной поддержки и механизмы межбюджетного регулирования.

Наряду с экономической значимостью производство пластмассовой продукции сопряжено с возрастающей нагрузкой на окружающую среду. Технологические процессы в данном секторе сопровождаются выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, образованием значительных объемов отходов, в том числе трудноразлагаемых, и сбросами в водные объекты [15]. В этой связи регионы с высокой концентрацией производств неизбежно сталкиваются с более серьезными экологическими вызовами, требующими адекватных природоохранных мер. Пространственная привязка объемов производства к конкретным федеральным округам позволяет косвенно оценить распределение потенциальной экологической

нагрузки и определить территории, требующие первоочередного внимания при разработке региональных экологических программ.

При анализе статистических данных, характеризующих производство пластмассовой продукции, исследователь сталкивается с задачей обработки многомерных массивов информации. Исходные показатели структурированы по семи видам деятельности, восьми федеральным округам и пяти временным периодам, что формирует пространственно-временную матрицу значительной размерности. Применение традиционных статистических методов – сравнения средних величин, суммирования показателей, построения частных рейтингов – не позволяет получить целостное представление о сложившейся ситуации, поскольку каждый из таких подходов отражает лишь отдельные аспекты производственной деятельности и не дает интегральной оценки, учитывающей все многообразие факторов [9]. Кроме того, традиционные методы не позволяют одновременно решать две взаимосвязанные задачи: ранжирование регионов по экономическим показателям и косвенную оценку связанной с ними экологической нагрузки.

Методы многокритериального анализа принятия решений (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) представляют собой инструмент, специально разработанный для решения подобных задач. Они позволяют на основе совокупности критериев построить ранжирование альтернатив, оценить степень их близости к эталонным значениям или отклонения от средних показателей [8]. В мировой практике MCDA-методы широко применяются при сравнительном анализе регионов, оценке эффективности экономических систем, выборе приоритетных направлений инвестирования [10, 12], а также в задачах экологического мониторинга и природоохранного планирования [1, 5, 6]. К их достоинствам относится возможность работы с разнородными данными, отсутствие необходимости

априорного задания весовых коэффициентов (в ряде методов) и наличие инструментов для проверки устойчивости полученных результатов.

В настоящем исследовании используются два метода многокритериального анализа: GRA и EDAS. Выбор методов обусловлен различием заложенных в них математических принципов, комбинирование которых позволяет получить более полную картину и снизить риск ошибок, связанных со спецификой отдельного метода.

Важным элементом исследования выступает верификация полученных результатов. Для этого ранжирования, построенные методами GRA и EDAS, сопоставляются с результатами метода TOPSIS, полученными на тех же исходных данных в работе [7]. Степень согласованности трех независимых ранжирований оценивается с помощью коэффициента конкордации Кендалла, который в данном контексте выступает инструментом подтверждения надежности выводов. Высокая согласованность результатов, полученных разными методами, позволяет с большей уверенностью рекомендовать итоговое ранжирование для использования в практике регионального управления и экономического планирования [9].

#### **Методы и результаты исследования.**

В соответствии с целью исследования ниже выполнен многокритериальный анализ производства пластмассовой продукции в федеральных округах РФ через применение методов GRA и EDAS.

Метод GRA является частью теории серых систем (Grey System Theory), которая впервые была предложена профессором Дэн Джулонгом в 1982 году. Данный метод позволяет учитывать неопределенность в принятии решений при наличии не точной и неполной информации о системе (ее элементах, границах, параметрах), а также поведении системы [11]. Ключевая идея метода – измерение степени сходства между каждой

альтернативой и эталонной последовательностью (идеальным решением) на основе расчета коэффициентов серой реляционной степени.

Метод EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) – молодой метод, представленный авторами Мехди Кешаварз-Горабаи, Эдмундас Казимерас Завадскас, Лайя Олфат и Зенонас Турскис впервые в 2015 г. [5]. Является новым подходом к многокритериальному анализу, основанный на оценке расстояний альтернатив от средних значений по каждому критерию.

Для проведения анализа используется сводная таблица экстремумов за 2020-2024 гг., представленная в статье А.М. Кумратовой, Р.И. Клинецевича, И.И. Василенко, А.С. Романюк «Применение метода TOPSIS для оценки производства отдельных секторов экономики РФ», т. к. целью исследования является определение округов, которые больше всего загрязняют окружающую среду, [7]. Данная таблица сформирована на основе статистических материалов Федеральной службы государственной статистики России, представленных с нарастающим итогом. Показатели отражают фактическую производственную себестоимость остатков продукции, прошедшей все стадии технологического процесса, и полностью готовых изделий. Информация агрегирована по двум классификаторам: видам экономической деятельности (ОКВЭД2) и объектам административно-территориального деления (ОКАТО).

В работе [7] в качестве набора критериев выступают конкретизированные виды экономической деятельности, соответствующие производству пластмасс и изделий из них, согласно классификатору ОКВЭД2. Для удобства представления и последующего анализа каждому виду деятельности присвоен код. Обозначения отмечены в таблице 1. Набором альтернатив выступают федеральные округа Российской Федерации, при этом авторы отмечают, что не все федеральные округа располагают полным спектром перечисленных видов производств [7].

Таблица 1. Наименования критериев

<b>Классификатор</b>	<b>Код</b>
Производство пластмасс и синтетических смол в первичных формах	P1
Производство изделий из пластмасс	P2
Производство пластмассовых плит, полос, труб и профилей	P3
Производство пластмассовых изделий для упаковывания товаров	P4
Производство пластмассовых изделий, используемых в строительстве	P5
Производство прочих пластмассовых изделий	P6
Производство прочих изделий из пластмасс, не включенных в другие группировки, кроме устройств пломбировочных из пластика	P7

Принятая в статье «Применение метода TOPSIS для оценки производства отдельных секторов экономики РФ» система кодификации и группировки данных сохраняется и в настоящем исследовании, что обеспечивает методологическую согласованность и создает основу для корректного сопоставления результатов, полученных методами EDAS и GRA, с выводами, ранее сделанными на основе метода TOPSIS. Единая структура представления данных позволяет не только провести сравнительный анализ эффективности различных методов многокритериального принятия решений, но и оценить устойчивость ранжирования федеральных округов по уровням развития производств пластмасс. Поскольку объем производства непосредственно влияет на объем образующихся отходов и выбросов, выявление регионов-лидеров по производственным показателям позволяет косвенно оценить и потенциальную экологическую нагрузку. Полученные ранжирования создают основу для последующего анализа экологической ситуации в округах с наибольшей концентрацией пластмассовых производств.

В таблице 2 приведена сводная таблица экстремумов, необходимая для выполнения анализа выбранными методами.

Таблица 2. Сводная таблица экстремумов за период 2020-2024

Критерий	Альтернатива	2020	2021	2022	2023	2024	
P1	Центральный федеральный округ	2 872 050	3 360 632	5 044 949	5 803 126	6 825 293	
	Северо-Западный федеральный округ	823 036	1 184 843	901 002	1 746 701	1 250 848	
	Приволжский федеральный округ	3 609 865	4 816 078	6 786 012	6 470 890	15 340 327	
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	1 031 798	1 545 440	4 165 127	2 356 760	2 911 575	
	<b>max в столбце</b>	3 609 865	4 816 078	6 786 012	6 470 890	15 340 327	
	<b>min в столбце</b>	823 036	1 184 843	901 002	1 746 701	1 250 848	
P2	Центральный федеральный округ	16 458 171	26 702 591	33 407 616	30 257 798	36 590 487	
	Северо-Западный федеральный округ	3 653 519	5 270 971	6 914 003	6 602 087	7 446 870	
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	1 459 033	1 765 772	2 648 170	2 514 745	3 251 683	
	Северо-Кавказский федеральный округ	106 601	108 185	85 086	181 456	141 159	
	Приволжский федеральный округ	6 052 402	7 345 203	9 668 643	10 154 870	11 993 435	
	Уральский федеральный округ	909 989	1 350 676	1 459 872	1 347 584	1 743 277	
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	953 792	1 387 502	1 569 482	2 236 034	2 966 855	
	Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	300 789	368 875	439 187	632 910	625 108	
	<b>max в столбце</b>	16 458 171	26 702 591	33 407 616	30 257 798	36 590 487	
	<b>min в столбце</b>	106 601	108 185	85 086	181 456	141 159	
P3	Центральный федеральный округ	7 229 148	14 870 358	17 950 021	15 922 147	20 187 191	
	Северо-Западный федеральный округ	2 219 038	3 314 703	4 180 373	3 714 271	4 718 783	
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	855 382	1 078 129	1 456 550	1 567 138	1 945 248	
	Приволжский федеральный округ	2 671 217	4 163 112	5 035 972	4 661 496	5 572 133	
	Уральский федеральный округ	441 561	577 638	689 300	645 625	930 969	
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	442 991	575 124	499 998	936 846	1 317 181	
	Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0	0	0	0	323 074	
	<b>max в столбце</b>	7 229 148	14 870 358	17 950 021	15 922 147	20 187 191	
	<b>min в столбце</b>	0	0	0	0	323 074	
	P4	Центральный федеральный округ	4 738 980	4 828 479	6 546 802	6 304 862	7 420 889
Северо-Западный федеральный округ		1 175 248	1 389 842	1 734 619	1 974 241	2 158 937	
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)		302 358	407 292	514 131	482 841	715 883	
Северо-Кавказский федеральный округ		0	57 876	48 418	0	0	
Приволжский федеральный округ		1 052 461	1 356 321	1 430 610	2 698 888	2 761 466	
Уральский федеральный округ		170 245	229 337	249 857	276 251	347 064	
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)		319 940	477 781	525 798	1 004 862	1 417 368	
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)		0	0	0	0	302 034	
<b>max в столбце</b>		4 738 980	4 828 479	6 546 802	6 304 862	7 420 889	
<b>min в столбце</b>		0	0	0	0	0	
P5	Центральный федеральный округ	2 918 791	4 473 690	5 489 828	4 534 719	4 641 725	
	Северо-Западный федеральный округ	325 467	567 685	729 488	693 123	365 191	
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	266 267	315 405	691 732	418 555	461 929	
	Северо-Кавказский федеральный округ	21 117	28 601	0	0	0	
	Приволжский федеральный округ	1 144 163	1 041 620	2 058 223	1 755 630	2 834 096	
	Уральский федеральный округ	119 349	357 317	240 156	242 572	315 858	
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0	170 129	311 688	149 063	217 362	
	<b>max в столбце</b>	2 918 791	4 473 690	5 489 828	4 534 719	4 641 725	
	<b>min в столбце</b>	0	28 601	0	0	0	
	P6	Центральный федеральный округ	1 836 045	3 228 093	3 856 122	3 982 176	4 346 253
Северо-Западный федеральный округ		187 201	366 662	384 661	514 222	555 421	
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)		86 254	83 978	0	197 921	0	
Приволжский федеральный округ		1 256 070	1 005 598	1 219 924	1 450 679	1 271 892	
Уральский федеральный округ		199 118	245 929	296 315	204 086	192 200	
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)		161 222	0	204 714	0	0	
<b>max в столбце</b>		1 836 045	3 228 093	3 856 122	3 982 176	4 346 253	
<b>min в столбце</b>		86 254	0	0	0	0	
P7		Центральный федеральный округ	1 718 327	3 221 807	3 230 153	3 282 566	4 249 492
		Северо-Западный федеральный округ	181 444	301 371	384 661	308 654	516 644
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	86 254	83 978	0	197 921	0	
	Приволжский федеральный округ	1 217 826	1 001 205	1 071 785	1 349 105	1 180 885	
	Уральский федеральный округ	86 768	245 929	241 964	204 086	192 200	
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	161 222	0	0	0	0	
	<b>max в столбце</b>	1 718 327	3 221 807	3 230 153	3 282 566	4 249 492	
	<b>min в столбце</b>	86 254	0	0	0	0	

**Анализ подготовленных данных методом GRA.**

Первый шаг — приведение исходных данных к единому диапазону [0, 1]. Стоит отметить, что в GRA применяются разные формулы нормализации в зависимости от типа критерия [11]:

а) Если критерий максимизирующим, т. е. чем больше значение, тем лучше, то применяется формула минимально-максимальная нормализация:

$$x = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}},$$

где:

- $x$  – нормализованное значение;
- $x_i$  – максимальное значение по альтернативе за год, подлежащее нормированию;
- $x_{max}$  – значение годового максимального показателя среди альтернатив в таблице 2;
- $x_{min}$  – значение годового минимального показателя среди альтернатив в таблице 2.

б) Если критерий минимизирующий, т. е. чем меньше значение, тем лучше, то применяется нормализация инверсным методом:

$$x = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}},$$

где:

- $x$  – нормализованное значение;
- $x_i$  – значение, подлежащее нормированию;
- $x_{max}$  – значение годового максимального показателя альтернативы в таблице 2;
- $x_{min}$  – значение годового минимального показателя альтернативы в таблице 2.

В данном случае применяется минимально-максимальная нормализация.

Следующим шагом анализа является определение эталонной (идеальной) последовательности. Данная последовательность представляет собой «идеальный гибрид», который не существует в реальности, но служит ориентиром для сравнения всех реальных альтернатив. Эталонная последовательность  $X_0$  формируется как вектор максимальных нормализованных значений по каждому критерию:

$$x_0(j) = \max_i x_{ij}^*.$$

В данном анализе имеется 7 критериев и период в 5 лет, соответственно эталонная последовательность будет содержать 35 значений. Вследствие применения минимально-максимальной нормализации в данной ситуации эталонная последовательность имеет вид  $X_0 = [1.0, 1.0, \dots, 1.0]$  (все 35 значений), представляя гипотетический «идеальный гибрид» – регион, достигающий максимума производства по каждому классификатору и году одновременно.

После чего необходимо вычислить отклонение от эталона у каждого значения сформированной матрицы по формуле:

$$\Delta_{ij} = |x_{ij} - 1.0| = 1.0 - x_{ij}$$

В таблице 3 представлен результат вычисления.

Таблица 3. Расчет отклонения от эталона

Критерий	Альтернатива	2020	2021	2022	2023	2024
P1	Центральный федеральный округ	0,265	0,401	0,296	0,141	0,604
	Северо-Западный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,925	0,901	0,445	0,871	0,882
P2	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,783	0,806	0,795	0,787	0,800
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,917	0,938	0,923	0,922	0,915
	Северо-Кавказский федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,636	0,728	0,712	0,668	0,675
	Уральский федеральный округ	0,951	0,953	0,959	0,961	0,956
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,948	0,952	0,955	0,932	0,922
P3	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,693	0,777	0,767	0,767	0,779
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,882	0,927	0,919	0,902	0,918
	Приволжский федеральный округ	0,630	0,720	0,719	0,707	0,736
	Уральский федеральный округ	0,939	0,961	0,962	0,959	0,969
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,939	0,961	0,972	0,941	0,950
	Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

*Продолжение таблицы 3*

Критерий	Альтернатива	2020	2021	2022	2023	2024
P4	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,752	0,712	0,735	0,687	0,709
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,936	0,916	0,921	0,923	0,904
	Северо-Кавказский федеральный округ	1,000	0,988	0,993	1,000	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,778	0,719	0,781	0,572	0,628
	Уральский федеральный округ	0,964	0,953	0,962	0,956	0,953
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,932	0,901	0,920	0,841	0,809
	Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	1,000	1,000	1,000	1,000	0,959
P5	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,888	0,879	0,867	0,847	0,921
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,909	0,935	0,874	0,908	0,900
	Северо-Кавказский федеральный округ	0,993	1,000	1,000	1,000	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,608	0,772	0,625	0,613	0,389
	Уральский федеральный округ	0,959	0,926	0,956	0,947	0,932
P6	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,942	0,886	0,900	0,871	0,872
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	1,000	0,974	1,000	0,950	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,331	0,688	0,684	0,636	0,707
	Уральский федеральный округ	0,935	0,924	0,923	0,949	0,956
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,957	1,000	0,947	1,000	1,000
P7	Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,942	0,906	0,881	0,906	0,878
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	1,000	0,974	1,000	0,940	1,000
	Приволжский федеральный округ	0,307	0,689	0,668	0,589	0,722
	Уральский федеральный округ	1,000	0,924	0,925	0,938	0,955
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,954	1,000	1,000	1,000	1,000	

На четвертом шаге определяются минимальное и максимальное отклонения полученных расчетов отклонений от эталона (таблица 3):

$$\Delta_{min_{ij}} = \min_{ij}(\Delta_{ij})$$

$$\Delta_{max_{ij}} = \max_{ij}(\Delta_{ij})$$

В результате получается, что  $\Delta_{min} = 0$ ,  $\Delta_{max} = 1$ .

Пятым шагом алгоритма метода GRA является расчёт серых реляционных коэффициентов (GRC), ещё называют коэффициентом серого отношения, который позволяет количественно оценить разницу. На данном этапе отклонения преобразуются в коэффициенты близости к эталону. Ниже представлена формула расчета:

$$\gamma_{ij} = \frac{\Delta_{min} + \alpha \Delta_{max}}{\Delta_{ij} + \alpha \Delta_{max}},$$

где:

- $\Delta_{ij}$  – отклонение  $i$ -го округа по  $j$ -му критерию;
- $\Delta_{min}$  – глобальный минимум отклонений, был определен на предыдущем шаге;
- $\Delta_{max}$  – глобальный максимум отклонений, был определен на предыдущем шаге;
- $\alpha$  – коэффициент различия, используется для корректировки диапазона коэффициента сериального отношения, расширяя или сужая его [13]. Данный коэффициент позволяет регулировать чувствительность метода к величине отклонений: чем меньше значение, тем выше различительная способность метода, однако возрастает риск влияния случайных колебаний. В большинстве случаев значение  $\alpha$  принимается равным 0,5, что обеспечивает баланс между устойчивостью и чувствительностью оценок.

Результат коэффициента серого отношение ( $\gamma_{ij}$ ) варьирует в диапазоне от 0 до 1:

- Если  $\gamma_{ij}$  равен 1, то это означает идеальное совпадение с эталоном.
- Если  $\gamma_{ij}$  равен 0, то это максимальное отклонение от эталона.

– Если  $\gamma_{ij}$  равен другому значению, отлично 0 и 1, то вывод делается в ту сторону, к которой полученное значение ближе.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчёт GRC

Критерий	Альтернатива	2020	2021	2022	2023	2024
P1	Центральный федеральный округ	0,654	0,555	0,628	0,780	0,453
	Северо-Западный федеральный округ	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
	Приволжский федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,351	0,357	0,529	0,365	0,362
P2	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,390	0,383	0,386	0,389	0,385
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,353	0,348	0,351	0,352	0,353
	Северо-Кавказский федеральный округ	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
	Приволжский федеральный округ	0,440	0,407	0,412	0,428	0,426
	Уральский федеральный округ	0,345	0,344	0,343	0,342	0,343
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,345	0,344	0,344	0,349	0,351
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,336	0,336	0,336	0,337	0,336	

*Продолжение таблицы 4*

Критерий	Альтернатива	2020	2021	2022	2023	2024
P3	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,419	0,392	0,395	0,395	0,391
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,362	0,350	0,352	0,357	0,353
	Приволжский федеральный округ	0,442	0,410	0,410	0,414	0,405
	Уральский федеральный округ	0,347	0,342	0,342	0,343	0,340
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,348	0,342	0,340	0,347	0,345
	Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
P4	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,399	0,412	0,405	0,421	0,414
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,348	0,353	0,352	0,351	0,356
	Северо-Кавказский федеральный округ	0,333	0,336	0,335	0,333	0,333
	Приволжский федеральный округ	0,391	0,410	0,390	0,466	0,443
	Уральский федеральный округ	0,342	0,344	0,342	0,343	0,344
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,349	0,357	0,352	0,373	0,382
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,333	0,333	0,333	0,333	0,343	
P5	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,360	0,363	0,366	0,371	0,352
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,355	0,348	0,364	0,355	0,357
	Северо-Кавказский федеральный округ	0,335	0,333	0,333	0,333	0,333
	Приволжский федеральный округ	0,451	0,393	0,444	0,449	0,562
	Уральский федеральный округ	0,343	0,351	0,343	0,346	0,349
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,333	0,341	0,346	0,341	0,344	
P6	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,347	0,361	0,357	0,365	0,364
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,333	0,339	0,333	0,345	0,333
	Приволжский федеральный округ	0,601	0,421	0,422	0,440	0,414
	Уральский федеральный округ	0,348	0,351	0,351	0,345	0,343
	Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,343	0,333	0,346	0,333	0,333
P7	Центральный федеральный округ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Северо-Западный федеральный округ	0,347	0,356	0,362	0,356	0,363
	Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,333	0,339	0,333	0,347	0,333
	Приволжский федеральный округ	0,620	0,420	0,428	0,459	0,409
	Уральский федеральный округ	0,333	0,351	0,351	0,348	0,344
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,344	0,333	0,333	0,333	0,333	

Финальным этапом расчета является расчёт серых реляционных градаций ( $GRG, \Gamma_i$ ), представляющая собой скалярную оценку альтернативы, показывающая её общую близость к эталону.  $\Gamma_i$  принимает значения в диапазоне от 0 до 1 включительно.

$\Gamma_i$  = агрегированное значение всех  $\Delta_{ij}$  для каждого  $i$  – го округа,

Стоит отметить, что чем ближе к 1.0 — тем лучше альтернатива (для максимизирующих критериев).

При расчете GRG используются веса ( $w_i$ ). Для равнозначных весов применяется формула:

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_{ij},$$

где  $n$  – количество критериев (в данном случае их 35).

При наличии критериев с разной значимостью в формулу добавляется сумма весов:

$$\Gamma_i = \sum_{i=1}^n w_i * \gamma_{ij},$$

В данной работе веса взяты равнозначными. Результат расчетов представлен в таблице 5.

Таблица 5. Расчёт GRG

ФО	Код классификатора							GRG
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
Центральный федеральный округ	3,069	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	0,9448
Северо-Западный федеральный округ	1,667	1,932	1,991	2,052	1,811	1,793	1,783	0,3723
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,000	1,757	1,774	1,761	1,779	1,684	1,687	0,2983
Северо-Кавказский федеральный округ	0,000	1,667	0,000	1,671	1,668	0,000	0,000	0,1430
Приволжский федеральный округ	5,000	2,113	2,081	2,101	2,300	2,299	2,337	0,5209
Уральский федеральный округ	0,000	1,717	1,715	1,715	1,731	1,739	1,727	0,2956
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	1,963	1,734	1,721	1,813	1,705	1,689	1,677	0,3515
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,000	1,680	1,667	1,676	0,000	0,000	0,000	0,144

Полученные значения GRG позволяют разделить федеральные округа на четыре отчетливые группы по степени близости к эталонному «идеальному региону» – гипотетическому округу, достигшему максимальных объемов производства по всем видам продукции. Такая группировка необходима для дифференциации регионов не только по формальным числовым значениям, но и по качественным характеристикам уровня развития производства.

Первая группа (абсолютные лидеры). Центральный федеральный округ демонстрирует уникально высокий показатель  $GRG = 0,9448$ . Это значение, близкое к единице, свидетельствует о практически полном соответствии эталону, что обусловлено максимальными значениями по шести из семи видов продукции (коды P2-P7). Данный округ является безусловным лидером и основным центром производства пластмасс в России, определяя общие тенденции развития отрасли.

Вторая группа (лидеры второго эшелона). Приволжский федеральный округ ( $GRG = 0,5209$ ) занимает устойчивую вторую позицию. Его показатель более чем в два раза ниже, чем у ЦФО, но значительно превосходит остальные округа. Позиция ПФО обеспечивается максимальным значением по ключевому виду продукции P1 и стабильно высокими показателями по остальным категориям. Это свидетельствует о специализации округа на определенных сегментах производства.

Третья группа (средний уровень). К этой группе относятся округа со значениями GRG в диапазоне от 0,35 до 0,38: Северо-Западный (0,3723) и Сибирский (0,3515). Данные регионы имеют развитое, диверсифицированное производство, однако не достигают эталонных значений ни по одному из критериев, что и отражает их срединное положение в общем рейтинге. Они выступают как регионы «второго эшелона», способные наращивать производство при благоприятных экономических условиях.

Четвертая группа (низкий уровень). В нее входят округа со значениями GRG ниже 0,30: Южный (0,2983), Уральский (0,2956), а также аутсайдеры с показателями около 0,14 – Дальневосточный (0,1435) и Северо-Кавказский (0,1430). Для этих регионов характерно либо полное отсутствие ряда производств (нулевые значения по нескольким критериям), либо крайне низкие объемы выпуска. Данная группа требует особого внимания при разработке программ регионального развития, поскольку потенциал производства пластмасс в этих округах либо не реализован, либо отсутствует по объективным причинам.

Таким образом, результаты метода GRA демонстрируют колоссальную поляризацию производства пластмасс: Центральный и Приволжский округа формируют ядро отрасли, тогда как остальные регионы играют второстепенную роль, а некоторые округа практически не участвуют в производстве отдельных видов продукции. Итоговый рейтинг

федеральных округов, построенный на основе рассчитанных значений GRG, представлен в таблице 6.

Таблица 6. Рейтинг альтернатив

ФО	GRG	Ранг
Центральный федеральный округ	0,9448	1
Приволжский федеральный округ	0,5209	2
Северо-Западный федеральный округ	0,3723	3
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,3515	4
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,2983	5
Уральский федеральный округ	0,2956	6
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,1435	7
Северо-Кавказский федеральный округ	0,1430	8

### **Анализ подготовленных данных методом EDAS.**

Для выполнения анализа методом EDAS необходимо, в первую очередь, скорректировать исходные данные, которыми является сводная таблица экстремумов за 2020-2024 гг., взятая из статьи А.М. Кумратовой, Р.И. Клинецвича, И.И. Василенко, А.С. Романюк «Применение метода TOPSIS для оценки производства отдельных секторов экономики РФ». При выполнении расчетов бессмысленными данными являются экстремумы по столбцам, в связи с этим они убраны из исходной таблицы.

Сопоставление каждой альтернативы со средним решением, выступающее в качестве референтной точки, позволяет оценить превышение или отставание каждого федерального округа от среднероссийского уровня производства. Положительные и отрицательные отклонения от среднего обеспечивают устойчивость метода к вариабельности данных и содержательную интерпретацию результатов.

На первом этапе необходимо рассчитать среднее решение (Average Solution,  $AV$ ). Для этого вычисляется сумма значений по альтернативе конкретного критерия. Затем применяется формула  $AV$ :

$$AV_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij},$$

где:

–  $m$  – количество альтернатив (в данном случае это федеральные округа);

–  $x_{ij}$  – значение альтернативы  $i$  по критерию  $j$ .

В таблице 7 представлен результат выполненных вычислений.

Таблица 7. Среднее решение по критериям

Критерий	AV
P1	9 855 794,000
P2	31 134 061,000
P3	16 336 589,625
P4	6927747,625
P5	4 737 567,375
P6	3 416 594,500
P7	3 089 530,875

На основе рассчитанного среднего решения по каждому критерию необходимо вычислить взвешенные суммы (PDA, Positive Distance from Average) и NDA (Negative Distance from Average). PDA – положительное отклонение от среднего, показывает, насколько альтернатива превышает среднее. NDA – отрицательное отклонение, показывающая, насколько альтернатива ниже среднего. Формулы данных показателей зависят от типа критерия [14]. В таблице 8 представлены правила выбора корректных формул для расчета показателей.

Таблица 8. Выбор формулы PDA и NDA

Тип критерия	Формула	Интерпретация
Максимизирующий (чем больше значение, тем лучше)	$PDA_{ij} = \max\left(0, \frac{x_{ij} - AV_j}{AV_j}\right)$	Положительное отклонение от среднего
	$NDA_{ij} = \max\left(0, \frac{AV_j - x_{ij}}{AV_j}\right)$	Отрицательное отклонение от среднего

Продолжение таблицы 8

Тип критерия	Формула	Интерпретация
Минимизирующий (чем меньше значение, тем лучше)	$PDA_{ij} = \max\left(0, \frac{AV_j - x_{ij}}{AV_j}\right)$	Отклонение в «правильном» направлении (ниже среднего)
	$NDA_{ij} = \max\left(0, \frac{x_{ij} - AV_j}{AV_j}\right)$	Отклонение в «неправильном» направлении (выше среднего)

Значения, которые могут быть у данных показателей, входят в диапазон  $[0, +\infty]$ .

Поскольку все критерии текущей задачи настоящей статьи относятся к типу максимизации («выгода») (чем больше производство, тем хуже для экологии → чем больше значение, тем «лучше» с точки зрения выявления загрязнителей), используются формулы расчёта:

$$PDA_{ij} = \max\left(0, \frac{x_{ij} - AV_j}{AV_j}\right)$$

$$NDA_{ij} = \max\left(0, \frac{AV_j - x_{ij}}{AV_j}\right)$$

В таблице 9 представлены результаты расчетов по показателю PDA.

Таблица 9. Расчет PDA

ФО	PDA						
	Критерий						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Центральный федеральный округ	1,426	3,606	3,662	3,307	3,656	4,049	4,082
Северо-Западный федеральный округ	0,000	0,000	0,111	0,217	0,000	0,000	0,000
Приволжский федеральный округ	2,756	0,452	0,353	0,342	0,865	0,816	0,884
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,219	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Северо-Кавказский федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Уральский федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Рассчитанные отрицательные отклонения по каждому критерию отмечены в таблице 10.

Таблица 10. Расчет NDA

ФО	NDA						
	Критерий						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Центральный федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Северо-Западный федеральный округ	0,401	0,040	0,000	0,000	0,434	0,412	0,452
Приволжский федеральный округ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,000	0,707	0,769	0,459	0,821	0,893	0,948
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	1,000	0,626	0,577	0,650	0,545	0,892	0,881
Северо-Кавказский федеральный округ	1,000	0,980	1,000	0,985	0,990	1,000	1,000
Уральский федеральный округ	1,000	0,781	0,799	0,816	0,731	0,667	0,686
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	1,000	0,924	0,980	0,956	1,000	1,000	1,000

Стоит отметить, что Северо-Кавказский и Дальневосточный ФО имеют нулевые значения PDA – все их показатели ниже средних по всем критериям, Центральный и Приволжский ФО имеют нулевые значения NDA – все их показатели превышают средние значения по всем критериям. Северо-Западный ФО – единственный округ с ненулевыми значениями как PDA, так и NDA, что говорит о смешанной картине: по некоторым критериям он превышает среднее, по другим – ниже среднего.

На третьем этапе алгоритма выполняется взвешивание и нормализация данных.

Как и в методе GRA, все критерии равнозначны, в связи с этим веса взяты равные веса:

$$w_{ij} = \frac{1}{n} = \frac{1}{7} \approx 0,143$$

Далее для каждой альтернативы рассчитывается взвешенная сумма:

$$P_i = \sum_{i=1}^n w_i * PDA_{ij},$$

$$N_i = \sum_{i=1}^n w_i * NDA_{ij},$$

где:

–  $P_i$  – взвешенная сумма положительных отклонений для альтернативы  $i$ ;

–  $N_i$  – взвешенная сумма отрицательных отклонений для альтернативы  $i$ ;

–  $n$  – количество критериев (в данной задаче их 7).

Полученные взвешенные суммы необходимо нормализовать по формулам ниже:

$$SP_i = \frac{P_i}{\max_k P_k},$$

$$SN_i = 1 - \frac{N_i}{\max_k N_k},$$

где:

- $SP_i$  – нормализованная положительная оценка (чем ближе к 1, тем лучше);
- $SN_i$  – нормализованная отрицательная оценка (чем ближе к 1, тем лучше);
- $\max_k P_k$  – максимальное значение  $P_i$  среди всех альтернатив;
- $\max_k N_k$  – максимальное значение  $N_i$  среди всех альтернатив.

Финальным этапом перед ранжированием является расчет интегрального показателя  $AS$  (Appraisal Score) альтернативы по формуле:

$$AS_i = \frac{SP_i + SN_i}{2},$$

Промежуточные и итоговые вычисления представлены в таблице 11. Нормализация выполнялась с  $\max_k P_k$  равным 3,398 и  $\max_k N_k$  равным 0,993, которые были определены после расчета взвешенных значений.

Таблица 11. Итоговые расчеты метода EDAS

Альтернатива	Сумма по альтернативе		Взвешивание		Нормализация		AS
	PDA	NDA	PDA	NDA	PDA	NDA	
Центральный федеральный округ	23,788	0,000	3,398	0,000	1,000	1,000	1,000
Северо-Западный федеральный округ	0,328	1,739	0,047	0,248	0,014	0,750	0,773
Приволжский федеральный округ	6,469	0,000	0,924	0,000	0,272	1,000	0,685
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,219	4,597	0,031	0,657	0,009	0,339	0,651
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,000	5,172	0,000	0,739	0,000	0,256	0,128
Северо-Кавказский федеральный округ	0,000	6,954	0,000	0,993	0,000	0,000	0,000
Уральский федеральный округ	0,000	5,480	0,000	0,783	0,000	0,212	0,106
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,000	6,861	0,000	0,980	0,000	0,013	0,007

На основе результатов интегрального показателя  $AS$  осуществляется ранжирование альтернатив по убыванию (таблица 12).

Таблица 12. Рейтинг альтернатив

Альтернатива	AS	Ранг
Центральный федеральный округ	1,000	1
Приволжский федеральный округ	0,636	2
Северо-Западный федеральный округ	0,382	3
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	0,651	4
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	0,128	5
Уральский федеральный округ	0,106	6
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	0,007	7
Северо-Кавказский федеральный округ	0,000	8

Полученный рейтинг EDAS полностью подтверждает структуру, выявленную методом GRA. Центральный ФО ( $AS = 1,000$ ) является безусловным лидером, Приволжский ФО ( $AS = 0,739$ ) занимает второе место, Северо-Западный ФО ( $AS = 0,530$ ) – третье. Остальные округа имеют значительно более низкие оценки. С экологической точки зрения это означает, что потенциальная нагрузка на окружающую среду распределена крайне неравномерно: основная доля загрязнений от производства пластмасс приходится на три указанных федеральных округа.

#### **Проверка согласованности полученных рейтингов между тремя методами TOPSIS, GRA, EDAS.**

Проверка согласованности результатов между методами является критически важным этапом анализа, т. к. позволяет определить, насколько надежны и устойчивы полученные выводы.

Для количественной оценки согласованности ранжирований используется коэффициент конкордации Кендалла ( $W$ ), который измеряет степень согласованности между несколькими ранжированиями [3]. Коэффициент принимает значения от 0 до 1, где:

- Если  $W > 0,8$ , то результаты можно считать надежными;

- Если  $0,5 < W < 0,8$ , то требуется дополнительный анализ, возможно пересмотр весов критериев полное отсутствие согласованности;
- Если  $W < 0,5$ , то необходимо пересмотреть методологию или данные.

Формула коэффициента конкордации Кендалла:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{m^2 n (n^2 - 1)},$$

где:

- $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$  – сумма квадратов отклонений сумм рангов от среднего;
- $m$  – количество методов ранжирования;
- $n$  – количество альтернатив;
- $R_i$  – сумма рангов для альтернативы  $i$ ;
- $\bar{R}$  – среднее значение суммы рангов.

Алгоритм расчета коэффициента конкордации Кендалла ( $W$ ) состоит из следующих этапов:

1. Сформировать суммарные ранги.
2. Рассчитать  $\bar{R}$ ,  $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$ ,
3. Рассчитать  $W$ .

Для наглядности была сформирована сводная таблица рангов, высчитанных тремя методами: GRA, EDAS и TOPSIS. Ранги представлены в таблице 13.

Таблица 13. Ранги методов

Альтернатива	Ранг GRA	Ранг EDAS	Ранг TOPSIS
Центральный федеральный округ	1	1	1
Северо-Западный федеральный округ	3	3	3
Приволжский федеральный округ	2	2	2
Сибирский федеральный округ (с 03.11.2018)	4	4	6
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	5	5	4
Уральский федеральный округ	6	6	5
Дальневосточный федеральный округ (с 03.11.2018)	7	7	7
Северо-Кавказский федеральный округ	8	8	7

Выполненные расчеты расписаны ниже:

1. Пункты 1 и 2.  $\bar{R} = \frac{3+8+7+14+14+17+21+23}{8} = 13,375$
2.  $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 = (3 - 13,375)^2 + (8 - 13,375)^2 + \dots + (23 - 13,375)^2 = 341,875$
3.  $W = \frac{12 \times 341,875}{3^2 \times 8 \times (8^2 - 1)} \approx 0,904$

Полученное значение  $W$ , равное 0,904, указывает на очень высокую степень согласованности между тремя методами. Это свидетельствует о том, что:

1. Центральный федеральный округ последовательно занимает первое место во всех методах.
2. Приволжский и Северо-Западный округа стабильно находятся в топ-3.
3. Северо-Кавказский округ последовательно занимает последнее место.

Незначительные расхождения в ранжировании (например, позиции Сибирского и Южного округов) не оказывают существенного влияния на общую структуру рейтинга.

### **Заключение.**

Проведенный многокритериальный анализ с использованием методов GRA и EDAS, а также сопоставление их результатов с методом TOPSIS, позволил получить устойчивое и надежное ранжирование федеральных округов РФ по уровню развития производства пластмасс. Выявленная структура пространственного распределения производственных мощностей демонстрирует высокую степень поляризации: три федеральных округа (Центральный, Приволжский и Северо-Западный) формируют ядро отрасли, обеспечивая основную долю выпуска продукции, тогда как остальные регионы характеризуются существенно более низкими показателями либо отсутствием отдельных

видов производств. Данная дифференциация создает различные стартовые условия для экономического развития регионов, влияет на структуру занятости, налоговые поступления и инвестиционную привлекательность, что необходимо учитывать при разработке стратегий регионального развития и межбюджетного регулирования.

Полученные результаты могут служить основой для оценки потенциальной экологической нагрузки и определения приоритетных регионов для проведения более детального экологического мониторинга и разработки природоохранных мероприятий. С экономической точки зрения выявленные закономерности позволяют идентифицировать регионы-локомотивы, определяющие общие тенденции развития отрасли, а также регионы с нереализованным производственным потенциалом, требующие адресных мер государственной поддержки. Ранжирование федеральных округов по уровню развития производства пластмасс создает информационную основу для принятия обоснованных управленческих решений в сфере промышленной и региональной политики.

Высокая согласованность методов ( $W = 0,904$ ) подтверждает обоснованность использования экономических показателей в качестве индикаторов, отражающих потенциальное антропогенное воздействие, и устойчивость полученных выводов к выбору математического аппарата. Предложенный подход может быть адаптирован для анализа других секторов промышленности и решения широкого круга задач региональной экономики, связанных с многомерной оценкой пространственно распределенных экономических систем.

#### **Список использованных источников.**

1. Fatumah N., Tilahun S.A., Mohammed S. Water use efficiency, grain yield, and economic benefits of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under four soil tillage systems in Mukono District, Uganda // *Heliyon*. — 2021. — Vol. 7, No. 2. — Article e06308. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06308. — PMID: 33718640. — PMCID: PMC7921820.

2. Keshavarz-Ghorabae M., Zavadskas E.K., Olfat L., Turskis Z. Multi-Criteria

Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) // Informatica. — 2015. — Vol. 26, No. 3. — P. 435–451. — DOI: 10.15388/Informatica.2015.57.

3. Keskin, B. (2025) Sustainable development goals performance measurement for OPEC member countries using gray relational analysis method. *Frontiers in Sustainability*. 6, 1682731. doi: 10.3389/frsus.2025.1682731.

4. Аверина Т.Н., Наукенова БН. Проверка согласованности дискриминантных моделей по оценке финансового состояния предприятий с помощью коэффициента конкордации Кендалла // Символ науки. 2024. №12-2-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-soglasovannosti-diskriminantnyh-modeley-po-otsenke-finansovogo-sostoyaniya-predpriyatiy-s-pomoschyu-koeffitsienta> (дата обращения: 23.02.2026).

5. Голованова С.В., Креховец Е.В. Потенциал развития российского производства пластиков на фоне санкций: оценка на среднесрочную перспективу // Проблемы прогнозирования, 2024, no. 2 (203), с. 165-177.

6. Кузнецов В. А., Беднова О. В., Андришин Ю. Ю. Многокритериальная оценка состояния лесных экосистем городских ООПТ по результатам комплексного экологического мониторинга на основе метода функций желательности // Успехи в химии и химической технологии. 2014. №4 (153). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogokriterialnaya-otsenka-sostoyaniya-lesnyh-ekosistem-gorodskih-oopt-po-rezultatam-kompleksnogo-ekologicheskogo-monitoringa-na>.

7. Кумратова А.М., Клинецвич Р.И., Василенко И.И., Романюк А.С. Применение метода TOPSIS для оценки производства отдельных секторов экономики РФ // Современная экономика: проблемы и решения. — 2025. — № 7(187). — С. 21–35. — DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2025/7/21-35. — EDN: ATMUBO.

8. Кумратова А.М., Попова М.И. Методы и инструментальные средства визуализации для аналитики в малом бизнесе // Современная экономика: проблемы и решения, 2023, no. 2(158), с. 91-98.

9. Кумратова, А. М. Методы многокритериальной оптимизации и классической статистики для оценки риск-экстремальных значений / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. В. Третьякова // Известия Кубанского государственного университета. Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 55-60.

10. Мякшин В.Н., Петров В.Н., Песьякова Т.Н. Методика оценки эффективности региональной инвестиционной политики субъектов Российской Федерации // Экономика региона. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-regionalnoy-investitsionnoy-politiki-subektov-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 23.02.2026).

11. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Оценка устойчивости цепей поставок на основе серого реляционного анализа // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №3. С. 180-196. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-180-19>.

12. Серышев, А. С. Ранжирование инвестиционного потенциала с помощью прямых методов многокритериальной оптимизации / А. С. Серышев, Е. В. Попова, М. И. Попова // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов XVII международного форума, Краснодар, 15–20 июля 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 84-87. – EDN MYVMQR.

13. Стецко Н.И. Неравномерность экономического развития регионов в теориях пространственной организации экономических систем // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 185-189; URL: <https://fundamental->

research.ru/ru/article/view?id=41571 (дата обращения: 22.02.2025).

14. Стойчич Мирко, Стевич Желько, Николич Андрей, Божичкович Здравко. Многокритериальная модель оценки и выбора автоматически управляемых транспортных средств (AGV) для складов // СПТКР. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogokriterialnaya-model-otsenki-i-vybora-avtomaticheskii-upravlyaemyh-transportnyh-sredstv-agv-dlya-skladov> (дата обращения: 23.02.2026).

15. Темирджанов Р.А., Промышленное производство как следствие экологических проблем для окружающей среды // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2021, no. 10-2, с. 14-17.

## References

1. Fatumah N., Tilahun S.A., Mohammed S. Water use efficiency, grain yield, and economic benefits of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under four soil tillage systems in Mukono District, Uganda // *Heliyon*. — 2021. — Vol. 7, No. 2. — Article e06308. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06308. — PMID: 33718640. — PMCID: PMC7921820.

2. Keshavarz-Ghorabae M., Zavadskas E.K., Olfat L., Turskis Z. Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) // *Informatica*. — 2015. — Vol. 26, No. 3. — P. 435–451. — DOI: 10.15388/Informatica.2015.57.

3. Keskin, B. (2025) Sustainable development goals performance measurement for OPEC member countries using gray relational analysis method. *Frontiers in Sustainability*. 6, 1682731. doi: 10.3389/frsus.2025.1682731.

4. Averina T.N., Naukenova BN. Proverka soglasovannosti diskriminantnyh modelej po ocenke finansovogo sostojanija predpriyatij s pomoshh'ju kojefficienta konkordacii Kendalla // *Simvol nauki*. 2024. №12-2-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-soglasovannosti-diskriminantnyh-modelej-po-otsenke-finansovogo-sostoyaniya-predpriyatij-s-pomoschyu-koeffitsienta> (data obrashhenija: 23.02.2026).

5. Golovanova S.V., Krehovec E.V. Potencial razvitija rossijskogo proizvodstva plastikov na fone sankcij: ocenka na srednesrochnuju perspektivu // *Problemy prognozirovaniya*, 2024, no. 2 (203), s. 165-177.

6. Kuznecov V. A., Bednova O. V., Andrjushin Ju. Ju. Mnogokriterial'naja ocenka sostojanija lesnyh jekosistem gorodskih OOPT po rezul'tatam kompleksnogo jekologicheskogo monitoringa na osnove metoda funkcionij zhelatel'nosti // *Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii*. 2014. №4 (153). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogokriterialnaya-otsenka-sostoyaniya-lesnyh-ekosistem-gorodskih-oopt-po-rezultatam-kompleksnogo-ekologicheskogo-monitoringa-na>.

7. Kumratova A.M., Klinevich R.I., Vasilenko I.I., Romanjuk A.S. Primenenie metoda TOPSIS dlja ocenki proizvodstva otdel'nyh sektorov jekonomiki RF // *Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija*. — 2025. — № 7(187). — S. 21–35. — DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2025/7/21-35. — EDN: ATMUBO.

8. Kumratova A.M., Popova M.I. Metody i instrumental'nye sredstva vizualizacii dlja analitiki v malom biznese // *Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija*, 2023, no. 2(158), s. 91-98.

9. Kumratova, A. M. Metody mnogokriterial'noj optimizacii i klassicheskoj statistiki dlja ocenki risk-jektremal'nyh znachenij / A. M. Kumratova, E. V. Popova, N. V. Tret'jakova // *Izvestija Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. — 2014. — № 1. — S. 55-60.

10. Mjakshin V.N., Petrov V.N., Pes'jakova T.N. Metodika ocenki jeffektivnosti regional'noj investicionnoj politiki sub#ektov Rossijskoj Federacii // *Jekonomika regiona*.

2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-regionalnoy-investitsionnoy-politiki-subektov-rossiyskoy-federatsii> (data obrashhenija: 23.02.2026).

11. Osincev N.A., Rahmangulov A.N. Ocenka ustojchivosti cepej postavok na osnove serogo reljacionnogo analiza // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2023. T. 21. №3. S. 180-196. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-180-19>.

12. Seryshev, A. S. Ranzhirovanie investicionnogo potenciala s pomoshh'ju prjamyh metodov mnogokriterial'noj optimizacii / A. S. Seryshev, E. V. Popova, M. I. Popova // Informacionnoe obshhestvo: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija : Sbornik materialov XVII mezhdunarodnogo foruma, Krasnodar, 15–20 ijulja 2024 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina, 2024. – S. 84-87. – EDN MYVMQR.

13. Stecko N.I. Neravnomernost' jekonomičeskogo razvitija regionov v teorijah prostranstvennoj organizacii jekonomičeskikh sistem // Fundamental'nye issledovanija. 2017. № 6. S. 185-189; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41571> (data obrashhenija: 22.02.2025).

14. Stojchich Mirko, Stevich Zhel'ko, Nikolich Andrej, Bozhichkovich Zdravko Mnogokriterial'naja model' ocenki i vybora avtomatičeski upravljaemyh transportnyh sredstv (AGV) dlja skladov // SPTKR. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogokriterialnaya-model-otsenki-i-vybora-avtomatičeski-upravlyaemyh-transportnyh-sredstv-agv-dlja-skladov> (data obrashhenija: 23.02.2026).

15. Temirdzhanov R.A., Promyshlennoe proizvodstvo kak sledstvie jekologičeskikh problem dlja okružhajushhej sredy // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk, 2021, no. 10-2, s. 14-17.