

Орлов А. В., канд. хим. наук, доц.
Дзержинский политехнический институт (филиал)
Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева

КЛАССИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЭЛЕКТРОЁМКОСТИ

orlean2000@yandex.ru

Высокая энергоёмкость российской экономики дорого обходится стране с точки зрения обеспечения энергетической безопасности, доходной части государственного бюджета, конкурентоспособности промышленности, здоровья населения и охраны окружающей среды, но в то же время предоставляет значительные возможности для экономии. Специфика повышения энергоэффективности в отдельных отраслях промышленности предопределила необходимость выделения секторальных направлений по реализации программных мероприятий по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости. Рассмотрена группировка отраслей промышленности по показателям электроёмкости. Для снижения размерности статистической совокупности выполнен корреляционный анализ, позволивший определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование электроёмкости промышленности. С помощью метода регрессионного анализа рассмотрено влияние факторов на электроёмкость отраслей промышленности. На основании полученных данных следует, что использование кластерного анализа позволяет классифицировать отрасли промышленности по показателям электроёмкости и определить направления инвестиций в каждый из этих объектов анализа, а также является основанием для разработки программ по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости в отраслях промышленности.

Ключевые слова: электроёмкость, многомерная классификация, корреляция, кластерный анализ, уравнение регрессии, моделирование, отрасль промышленности.

В структуре потребления энергии в России доминирует промышленность: в потреблении первичной энергии доля промышленности в 2011 г. была равна 26%, а с учетом использования топлива на неэнергетические нужды - 32%; в конечном потреблении энергии доля промышленности остается довольно значительной: 35,3% в 2011 г. (43,6% при учете неэнергетических нужд), но постепенно снижается (на 3% в 2000-2011 гг.). [1]

В 2011 году на промышленное производство приходилась самая высокая доля конечного потребления электроэнергии (60,57% от всего конечного потребления или 194,5 млн. т.у.т.). Потребление первичных энергоресурсов в промышленном производстве в 2011 году составило 76,5 млн. т.у.т. или 37,6%, а потребление природного газа составило 67,4 млн. т.у.т. или 36,5%,

Высокая энергоёмкость российской экономики дорого обходится стране с точки зрения обеспечения энергетической безопасности, доходной части государственного бюджета, конкурентоспособности промышленности, здоровья населения и охраны окружающей среды, но в то же время предоставляет значительные возможности для экономии.

Повышение энергоэффективности снизит риски и затраты, связанные с высокой энергоёмкостью российской экономики, и позволит России:

- повысить энергетическую безопасность;
- стимулировать стабильное экономическое развитие, в частности повысить конкурентоспособность промышленности, получить дополнительные доходы от экспорта нефти и газа и высвободить бюджетные ресурсы;
- улучшить экологическую обстановку [2].

Специфика повышения энергоэффективности в отдельных отраслях промышленности предопределила необходимость выделения секторальных направлений по реализации программных мероприятий по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости.

Целью настоящих исследований являлось классифицировать отрасли промышленности по показателям электроёмкости.

В качестве метода классификации данных объектов нами был выбран кластерный анализ.

В данной работе проведена классификация множества объектов по множеству переменных. Для проведения такой многомерной классификации используются методы кластерного анализа. Группы близких по какому-либо критерию объектов обычно называются кластерами.

Кластерный анализ – это способ группировки многомерных объектов, основанный на представлении результатов отдельных наблюдений точками подходящего геометрического пространства с последующим выделением групп как «сгустков» этих точек [3,4].

Для оценки степени различия электроёмкости был проведен кластерный анализ по 15 отраслям промышленности.

Перед использованием метода кластерного анализа были выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование электроёмкости промышленности и которые целесообразно использовать как основу многомерной классификации.

В данной работе методом для выбора факторов является корреляционный анализ, который позволяет выбрать из всей совокупности рассматриваемых факторов для дальнейшего анализа наиболее существенные.

Главным инструментом корреляционного анализа является матрица корреляций, представляющая собой таблицу, в которой по вертикали и горизонтали располагаются наборы факторов, а внутри – парная корреляция факторов.

Для проведения корреляционного анализа исходными данными послужили данные официального сайта Федеральной службы государственной статистики за 2005–2011 годы [5].

В качестве зависимого показателя (Y) была взята электроёмкость промышленности (кг.у.т./тыс. рублей), факторными признаками (X) выступили следующие:

X₁ – удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе обследованных организаций, %;

X₂ – удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, %;

X₃ – рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг), %;

X₄ – потребление электроэнергии, миллионов тонн условного топлива;

X₅ – среднегодовая численность работников организаций, тысяч человек;

X₆ – инвестиции в основной капитал, триллион рублей;

X₇ – коэффициент выбытия основных фондов в организациях, %;

X₈ – коэффициент обновления основных фондов в организациях, %;

X₉ – число предприятий и организаций промышленности, единиц;

X₁₀ – степень износа основных фондов в организациях, %.

Влияние вышеназванных факторов на электроёмкость определяется с помощью корреляционной матрицы (табл. 1).

По данным, приведенным в табл. 1, можно заметить, что все факторы (X₁ - X₁₀) в разной степени связаны с результивным показателем. Парные коэффициенты корреляции определяют не только между зависимыми и факторными признаками. Большое значение имеют также коэффициенты корреляции, рассчитанные между факторными признаками.

Таблица 1

Матрица парных коэффициентов корреляции для совокупности отраслей промышленности

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Y	1,00										
X ₁	-0,54	1,00									
X ₂	-0,25	0,54	1,00								
X ₃	0,84	-0,16	-0,10	1,00							
X ₄	0,79	-0,32	0,28	0,69	1,00						
X ₅	0,86	-0,16	-0,03	0,99	0,73	1,00					
X ₆	-0,99	0,60	0,25	-0,83	-0,83	-0,84	1,00				
X ₇	0,87	-0,25	-0,38	0,87	0,51	0,86	-0,82	1,00			
X ₈	-0,68	0,65	-0,03	-0,29	-0,75	-0,35	0,71	-0,27	1,00		
X ₉	0,67	-0,43	-0,33	0,38	0,25	0,43	-0,58	0,61	-0,56	1,00	
X ₁₀	-0,65	0,11	0,43	-0,86	-0,30	-0,81	0,62	-0,89	-0,10	-0,29	1,00

Для отбора наиболее значимых факторов x_i учитываются следующие условия:

- связь между результивным признаком и факторным должна быть выше межфакторной связи;

- связь между факторами должна быть не более 0,7. Если в матрице есть межфакторный коэффициент корреляции $r_{x_jx_i} > 0,7$, то в данной модели множественной регрессии существует мультиколлинеарность;

- при высокой межфакторной связи признака отбираются факторы с меньшим коэффициентом корреляции между ними.

Исходя из данных табл. 1 видно, что мультиколлинеарность между факторными признаками существует. Проверка значимости парных коэффициентов корреляции показала, что связь между (y и x₃), (y и x₄), (y и x₅), (y и x₆), (y и x₇), (y и x₈), является существенной.

Следовательно, в основу классификации, целесообразно включить следующие признаки:

X_3 – рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг), %;

X_4 – потребление электроэнергии, миллионов тонн условного топлива;

X_5 – среднегодовая численность работников организаций, тысяч человек;

X_6 – инвестиции в основной капитал, миллиард рублей;

X_7 – коэффициент выбытия основных фондов в организациях, %;

X_8 – коэффициент обновления основных фондов в организациях, %.

Для объединения отраслей промышленности в кластеры по признакам, указанным выше

воспользовались методом Варда и Евклидовым расстоянием. Исследование проводилось с использованием программно-прикладного пакета STATISTICA.

Результатом объединения является дендрограмма (рис. 1.), по оси ординат, которой отражены отрасли промышленности, а по оси абсцисс показано значение интегрального показателя, представленного величиной, сформированной на основе исследуемых показателей. Данный показатель не имеет единицы измерения, а является многомерной статистической оценкой.

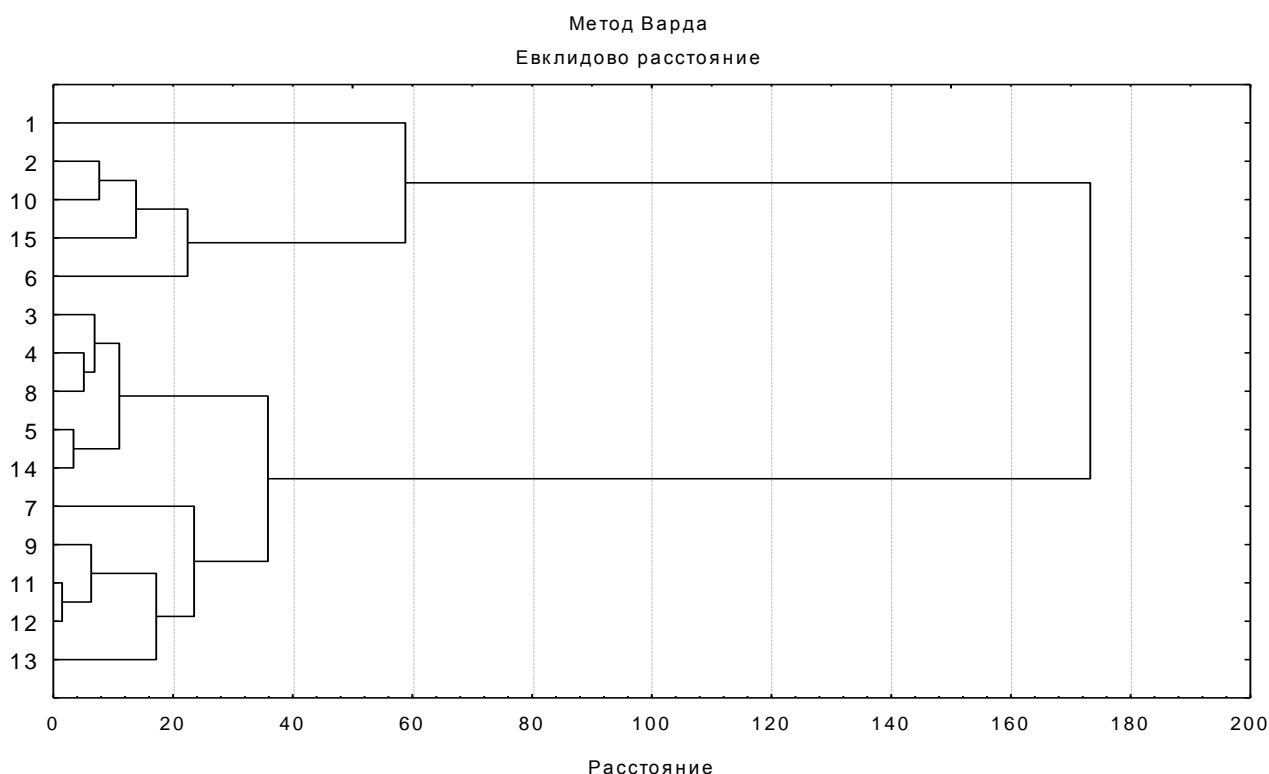


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации методом Варда

По результатам многомерной группировки получено 3 кластера (табл. 2), определяющие электроёмкость отраслей промышленности.

Анализируя полученные описательные характеристики (табл. 3) можно отметить, что по средним значениям, отрасли промышленности, попавшие в первый кластер, можно отнести к отраслям, характеризующимися высокими показателями потребления электроэнергии, объёма инвестиций в основной капитал, среднегодовой численности работников организаций. Показатели рентабельности проданных товаров и продукции являются средними по величине относительно второго и третьего кластера. Коэффициент выбытия основных фондов во всех трех кластерах одинаков. Коэффициент обновления основных фондов является низким и близок по

значению этому показателя для второго кластера.

Отрасли промышленности второго кластера характеризуются низкими показателями среднегодовой численности работников организаций и объёма инвестиций в основной капитал, высокой рентабельностью проданных товаров и продукции, средним потреблением электроэнергии.

Отрасли промышленности третьего кластера характеризуются низкими показателями рентабельности проданных товаров и продукции, объёма инвестиций в основной капитал и потреблением электроэнергии, средней среднегодовой численностью работников организаций и высоким коэффициентом обновления основных фондов.

Графически средние значения факторов электроёмкости представлены на рис. 2.

Таблица 2

Результаты кластеризации отраслей промышленности

№ кластера	Количество отраслей	Наименование отраслей промышленности
1	3	1 - Добыча полезных ископаемых 10 - Metallургическое производство и производство готовых металлических изделий 15 - Производство и распределение электроэнергии, газа и воды
2	2	6 - Производство кокса и нефтепродуктов 7 - Химическое производство
3	10	2 - Производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака 3 - Текстильное и швейное производство 4 - Обработка древесины и производство изделий из дерева 5 - Целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность 8 - Производство резиновых и пластмассовых изделий 9 - Производство прочих неметаллических минеральных продуктов 11 - Производство машин и оборудования 12 - Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования 13 - Производство транспортных средств и оборудования 14 - Прочие производства

Таблица 3

Характеристика отраслей промышленности по факторам электроёмкости

№ кластера	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1	17,33	45,00	12,53	9,39	0,73	12,57
2	23,00	10,95	2,61	2,00	0,85	18,25
3	7,33	3,75	5,93	0,71	0,85	13,23

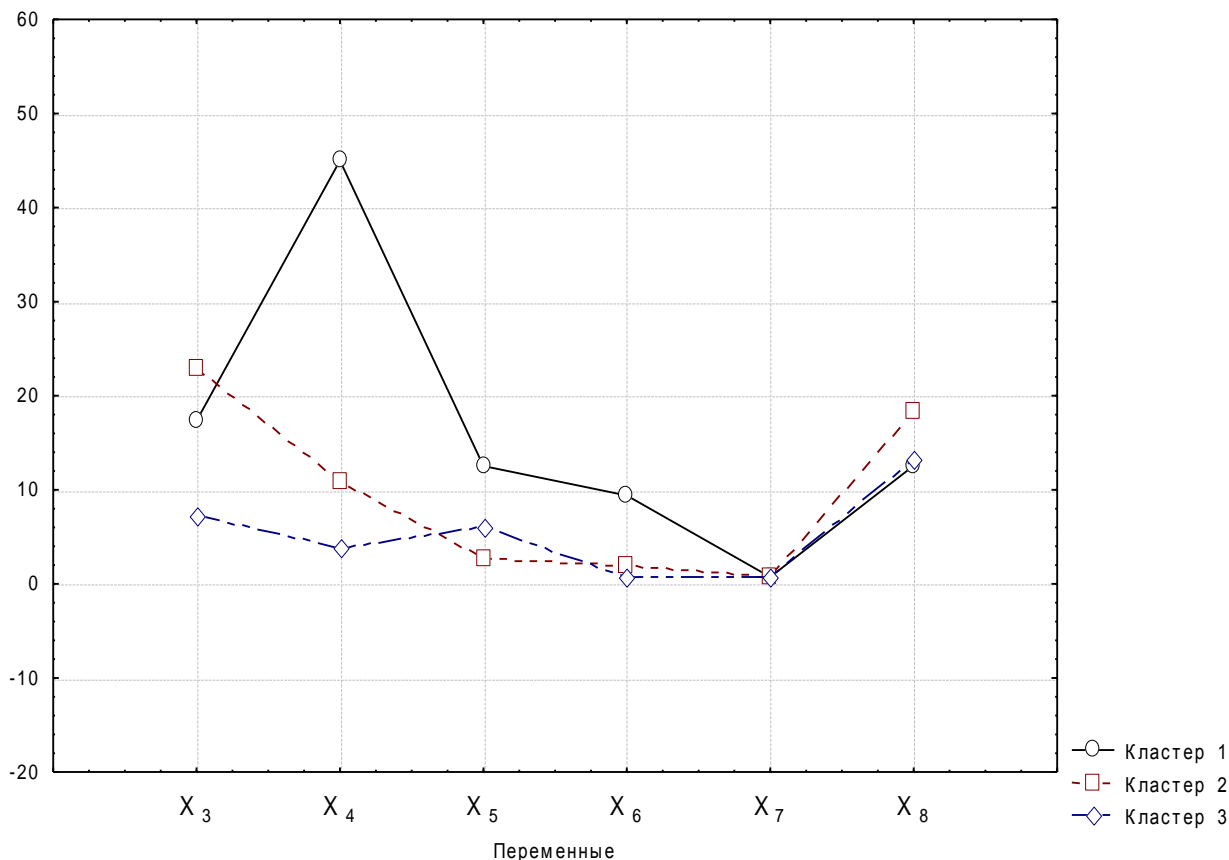


Рис. 2. График средних значений по кластерам

С помощью метода регрессионного анализа, позволяющего определить аналитическое выражение связи между результативными и факторными признаками, рассмотрено влияние

факторов на электроёмкость отраслей промышленности. Исследование проводилось с использованием программного пакета Statgraphics. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика регрессионных моделей

№ кластера	Модель	Множественный коэффициент детерминации	F-критерий (табличное значение при $\alpha = 0,05$)
1	$Y = 9,64 - 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot X_6 + 8,33 \cdot X_7$	0,982	109,74 (6,94)
2	$Y = 11,17 - 0,021 \cdot X_6$	0,866	32,34 (6,61)
3	$Y = -1,98 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot X_5 - 5,2 \cdot 10^{-3} \cdot X_6$	0,997	583,34 (6,94)

Зависимость результирующего фактора (Y – электроёмкость отраслей промышленности, кг.у.т./тыс. рублей) для трех кластеров описывается экономико-математическими моделями приведенными в таблице 4.

Качество и достоверность полученных регрессионных моделей были проверены с помощью статистики R^2 – коэффициента детерминации. По расчетам коэффициент детерминации для 1, 2 и 3 кластера составляют соответственно 98,2%, 86,6% и 99,7%. Статистическая значимость полученной модели подтверждается при помощи F-теста критерия Фишера. Расчетные показатели F приведены в таблице 4. Табличные значения F-критерия меньше фактических, отсюда подтверждается значимость полученных для каждого кластера уравнений регрессии и множественного коэффициента детерминации.

Следовательно, можно утверждать, что разработанные экономико-математические модели являются достоверными.

Анализ уравнений регрессии для первого кластера показал, что с ростом инвестиций в основной капитал и снижением коэффициента выбытия основных фондов электроёмкость будет иметь тенденцию к снижению.

Для второго кластера рост инвестиций в основной капитал будет снижать электроёмкость, причём во втором кластере влияние данного фактора на электроёмкость выше, чем в первом.

Рост инвестиций в основной капитал и снижение среднегодовой численности работни-

ков организаций для отраслей третьего кластера приведет к снижению электроёмкости.

На основании вышесказанного следует, что использование кластерного анализа позволяет классифицировать отрасли промышленности по показателям электроёмкости и определить направления инвестиций в каждый из этих объектов анализа, а также является основанием для разработки программ по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости в отраслях промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башмаков, И.А. Повышение энергоэффективности в российской промышленности. Что делать! / И.А. Башмаков // Энергосовет. – 2013. – № 3 (28). – с. 41–56.
2. Энергоэффективность в России: скрытый резерв // Отчёт, подготовленный экспертами Всемирного банка, Международной финансовой корпорации и Центра по эффективному использованию энергии. – 2008. – 162 с.
3. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. - М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
4. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка. - М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
5. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики // <http://www.gks.ru>