

**КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНДОТЕРМИЧЕСКИХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕПЛОЁМКОСТИ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА**

*Рассмотрена группировка эндотермических химических производств по совокупности таких показателей, как теплоёмкость и затраты на теплоэнергию. На основе общности теплоёмкости и затрат на теплоэнергию химические производства были классифицированы на четыре группы. Определены наиболее теплоёмкие и теплозатратные химические производства.*

**Ключевые слова:** многомерный статистический анализ, теплоёмкость, химическая промышленность, кластерный анализ, химические производства.

A. V. Orlov

**THE CLASSIFICATION OF THE ENDOTHERMIC CHEMICAL PRODUCTIONS ON THE HEAT CAPACITY INDICES BY THE CLUSTER ANALYSIS METHOD**

*The grouping of endothermic chemical productions on the set of such indices as heat capacity and heat costs is considered. On the basis of the heat capacity and heat cost, chemical productions were classified into four groups. The most heat-capacious and heat-consuming chemical productions are defined.*

**Key words:** multivariate statistical analysis, heat capacity, chemical industry, cluster analysis, chemical productions.

Химическая промышленность – одна из самых энергоемких отраслей во всем мире. Она играет важную роль в экономическом развитии практически всех отраслей промышленности и других сфер деятельности. Достижениями химии определяют конкурентоспособность таких отраслей, как машиностроение, автомобилестроение, авиастроение, энергетика, лесная промышленность, легкая промышленность, сельское хозяйство. Более того, без развития химической промышленности невозможно улучшение состояния окружающей среды и решение таких глобальных проблем, как нехватка ресурсов, энергии и продовольствия.

Российская химическая промышленность в докризисном 2008 году имела выручку в 74,1 млрд долларов США. В 2012 году после выхода из экономического кризиса объем выпуска продукции химического комплекса увеличился до 107,7 млрд долларов. Вклад химического комплекса в ВВП России невелик и может быть оценен в 1,5 %. В большинстве индустриально развитых стран вклад химической индустрии в ВВП значительно выше, причем особенно в этом отношении выделяется Южная Корея.

Химическая промышленность России является как крупным экспортером, так и крупным импортером различной продукции. Основными экспортными товарами являются аммиак, метанол, минеральные удобрения и синтетический каучук. Среди других химических товаров, которые в больших объемах поставляются за рубеж, можно отметить каустическую соду, полиэтилен, продукцию органического синтеза (капролактамы, бутиловые спирты, этиленгликоли, фталевый ангидрид), технический углерод, синтетические моющие средства, шины. Основными рынками сбыта российской химической продукции за рубежом являются Европа и страны СНГ.

Поскольку Россия располагает большими ресурсами углеводородного сырья, химическая промышленность в стране выполняет также функцию увеличения глубины его переработки и повышения отдачи от использования этих ограниченных ресурсов. При этом потенциал химической промышленности России в этой области сейчас используется минимально, большая часть ценного углеводородного сырья экспортируется или используется для топливных нужд.

В России химические предприятия используют около 12 % от общего объема первичного потребления энергоресурсов. Энергоёмкость отрасли в среднем оценивается в 15–17 %. По ряду производств, таких как, например, выпуск синтетических каучуков, доля энергоресурсов достигает 20–22 % в себестоимости продукции [1].

Рост химического производства в 2011 г. составил 105,2 % к 2010 г. Одновременно потребление электроэнергии увеличилось на 1,4 % (до 35,2 млрд кВт·ч).

Минеральных удобрений (в пересчете на 100 % питательных веществ) в натуральном выражении в 2011 г. было произведено около 18,8 млн т (увеличение на 4,4 % по сравнению с 2010 г.). Пластмасс в первичных формах в 2011 г. произведено на 9 % больше, чем в 2010 г. Производство гидроксида натрия (каустической соды) в 2011 г. составило 97,5 % к уровню производства в январе–декабре 2010 г. Снижение выпуска данного вида продукции продолжается с 2008 г. включительно, что обусловлено уменьшением произ-

водства хлорпотребляющей продукции (поливинилхлорид, хлорорганические соединения) и закрытием производства ООО «Усольехимпром» в связи с убыточностью производства продукта из-за высоких цен на сырье и энергию, а также частого выхода из строя изношенного оборудования. Выпуск синтетических каучуков в 2011 г. увеличился на 4,9 %.

В 2011 г. увеличился по сравнению с 2010 г. и выпуск химических волокон и нитей на 5,2 % (до 135,4 тыс. т). Рост производства обусловлен ростом спроса со стороны текстильной и нефтехимической промышленности (производство шин) [2].

Потребление первичных энергоресурсов в химической промышленности составляет 20 млн т.у.т., или 2 % общего потребления в России.

Для того чтобы снизить затраты на тепловую энергию, химические холдинги стараются снижать затраты на покупку энергоресурсов у внешних поставщиков, выкупать у генерирующих компаний источники энергоснабжения своих предприятий или строить собственную генерацию. Для уменьшения потребления энергоресурсов в отрасли реализуются программы энергоэффективности и энергосбережения.

В результате реализации программ энергоэффективности и энергосбережения химические предприятия могут получить еще более существенную экономию [1].

Одной из особенностей химической промышленности является одновременное потребление большого количества топлива, электрической и тепловой энергии. Непосредственное потребление топлива на энергетические цели составляет в химической промышленности около 12,5 % суммарного энергопотребления, при этом не учитывается использование топлива в качестве сырья химических производств. Около 40 % топлива сжигается в промышленных котельных и на ТЭЦ для производства тепловой и электрической энергии. Остальное топливо используется в технологических установках [2].

На технологические процессы расходуется около 75 % тепловой энергии. Тепловая энергия используется в большинстве химических производств для нагрева, перегонки, сушки, выпаривания, обжига, спекания, плавления и в других технологических процессах. Одной из характерных особенностей химических производств является большое потребление тепловой энергии на процессы, не связанные напрямую с технологией: отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха в производственных помещениях. На эти цели расходуется почти 25 % тепловой энергии. Причем для обеспечения такого теплоснабжения требуется теплота среднего и низкого температурного потенциала, что имеет особое значение при утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

В отличие от электро- и теплоэнергетики, отличающейся высокими потерями и общей неэффективностью производственного процесса, а также от черной металлургии, которая располагает значительными возможностями замены топлива побочными продуктами производства, химическая промышленность может повысить энергоэффективность главным образом за счет обновления парка оборудования, что представляет собой длительный процесс, связанный с высокими затратами. При замене старых производственных мощностей новыми снижаются и средние показатели энергоёмкости отрасли, и средние объемы удельных выбросов [3].

Эксперты подсчитали, что в связи с развитием отрасли потребление первичных энергоресурсов в российской химии может увеличиться с 20 млн т.у.т. в 2008 году до 34 млн т.у.т. в 2030 году. Однако внедрение мероприятий по сокращению энергопотребления позволит снизить затраты этой статьи себестоимости химической и нефтехимической продукции на 13–16 % [4].

Специфика повышения энергоэффективности в отдельных секторах экономики предопределила необходимость выделения конкретных направлений по реализации программных мероприятий по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости.

**Целью** настоящих исследований являлось определение наиболее теплоёмких и теплотратных производств химической промышленности.

По тепловому эффекту химические процессы подразделяются на экзотермические и эндотермические.

Экзотермическими процессами называются процессы, при которых теплота выделяется, а эндотермическими – процессы, при которых теплота поглощается. Числовое значение величин теплового эффекта определяется строением вещества и особенностями его переработки. Обычно тепловой эффект проявляется при сгорании вещества, образовании нового химического соединения либо изменении агрегатного состояния вещества при его растворении, плавлении, испарении или конденсации.

Отличительной особенностью эндотермических процессов является высокий расход топлива и электроэнергии для подвода теплоты обработки, в то время как экзотермические процессы характеризуются значительным расходом охлаждающего теплоносителя (воды, воздуха и др.) для отвода теплоты [5, 6].

В соответствии с поставленной целью в данной работе предусматривалось решение **задачи** кластеризации производств химической промышленности.

Исследование проводилось с использованием программного пакета Statgraphics. Исходными данными для исследования являлись данные официального сайта Федеральной службы государственной статистики и Международного энергетического агентства [7, 8].

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

В данной работе проведена классификация множества объектов по двум переменным. Для проведения такой многомерной классификации используются методы кластерного анализа. Группы близких по какому-либо критерию объектов обычно называются кластерами. Кластеризацию можно считать процедурой, которая, начиная работать с тем или иным типом данных, преобразует их в данные о кластерах. Многие методы кластерного анализа отличаются от других методов многомерного анализа отсутствием обучающих выборок, т.е. априорной информации о распределении соответствующих переменных генеральной совокупности [9, 10].

Для проведения многомерной классификации были отобраны показатели теплоёмкости и затрат на теплоэнергию эндотермическими производствами химической промышленности. Величины указанных показателей приведены в таблице.

**Затраты на теплоэнергию и теплоёмкость эндотермических производств химической промышленности в 2012 г.**

Наименование продукта	Затраты на теплоэнергию, млн руб.	Теплоёмкость, руб/т
Полипропилен	5,1	3,1
Метилтретбутиловый эфир	40,9	32,7
п-Ксилол	40,9	21,6
Полиэтилен н/д (HDPE)	51,1	35,5
Поливинилхлорид	61,4	32,4
Полиэтилен линейный в/д (LLDPE)	81,8	26,9
Хлор	97,1	97,2
Метакрилат	102,3	1,0
Толуол	102,3	27,4
Карбамидо-формальдегидные смолы	102,3	51,9
Карбамид	112,5	554,4
Оксо-спирты	117,6	51,9
Терефталевая кислота	132,9	31,4
Винилацетат	143,2	4,5
Этилбензол	168,7	87,3
Этиленгликоль	178,9	49,6
Уксусная кислота	209,6	35,8
Изопропиловый спирт	276,1	0,6
Метанол	434,6	1521,0
Фенол	465,2	93,3
Ацетон	501,0	62,8
Гидроксид натрия	511,3	570,1
Поликарбонат	526,6	18,8
Окись пропилена	726,0	40,6
Синтетический каучук	1017,4	1142,9

Источник: Росстат, IEA (Международное энергетическое агентство).

Кластерный анализ состоит из следующих этапов:

- выбор способа измерения расстояния или меры сходства;
- выбор метода кластеризации;
- принятие решения о количестве кластеров;
- интерпретация кластеров.

При кластерном анализе эндотермических производств химической промышленности в качестве меры сходства выбран квадрат евклидова расстояния. Данная мера расстояния используется в тех случаях, когда требуется придать большее значение более отдаленным друг от друга объектам.

После выбора меры сходства выбирается метод кластеризации. В данных исследованиях был использован иерархический агломеративный метод, в частности метод дальнего соседа. В этом методе расстояние между двумя кластерами определяется как расстояние между самыми удалёнными друг от друга значениями наблюдений, причём каждое наблюдение берётся из своего кластера.

Следующим этапом решения является принятие решения о количестве кластеров. Процессу группировки объектов в иерархическом кластерном анализе соответствует постепенное возрастание расстояния между объединяемыми кластерами. Скачкообразное увеличение расстояния между объединяемыми кластерами можно определить как характеристику числа кластеров, которые действительно существуют в исследуемом наборе данных. Таким образом, этот способ сводится к определению скачкообразного увеличения расстояния между объединяемыми кластерами, которое характеризует переход от сильно связанного к слабо связанному состоянию объектов.

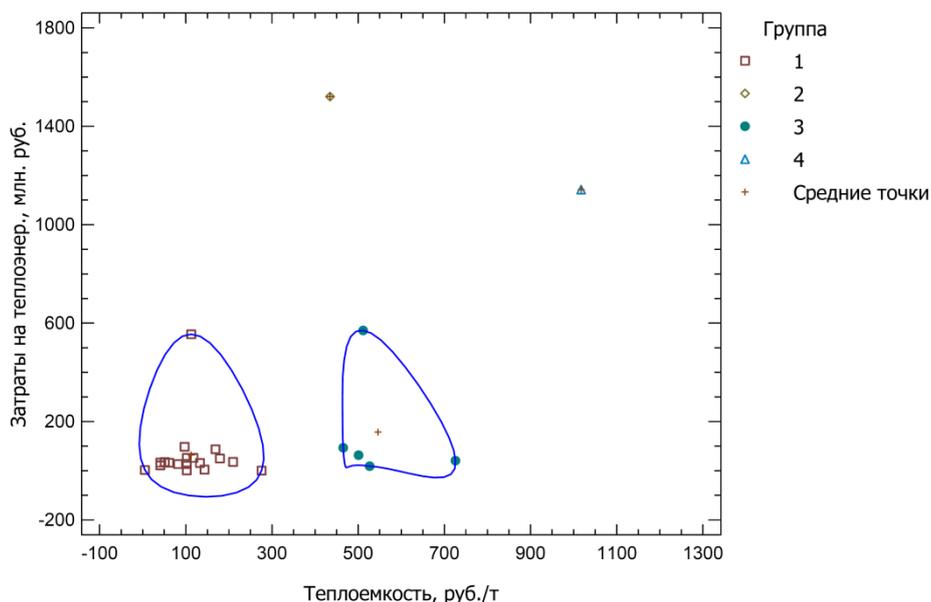
При исследовании эндотермических производств химической промышленности скачок происходит на 21-м шаге объединения кластеров. Разность количества наблюдений (25) и количества шагов до скачкообразного увеличения расстояния между объединяемыми кластерами (21) равна 4. Следовательно, как сказано выше, оптимальным считается количество кластеров, равное четырём. После создания четырёх кластеров объединений больше производить не следует.

Двухмерная диаграмма рассеивания затрат на теплоэнергию и теплоёмкости приведена на рисунке. Из диаграммы рассеяния видно, что первый кластер включает в себя восемнадцать объектов (1–18), второй – один объект (19), третий – пять объектов (20–24), четвертый кластер включает в себя один объект (25).

Анализ диаграммы рассеивания показал, что первый кластер характеризуется низкими затратами на теплоэнергию и низкой теплоёмкостью. Во втором кластере наблюдаются высокие затраты на теплоэнергию и низкая теплоёмкость (2 – производство метанола). Третий кластер характеризуется низкими затратами на теплоэнергию и средней теплоёмкостью (20 – производство фенола, 21 – производство ацетона, 22 – производство гидроксида натрия, 23 – производство поликарбоната, 24 – производство окиси пропилена). Четвёртый кластер характеризуется высокими затратами на теплоэнергию и высокой теплоёмкостью (17 – производство синтетического каучука).

Двухмерная диаграмма рассеивания

Centroid Method, Squared Euclidean



Двухмерная диаграмма рассеивания эндотермических процессов

По результатам проведенного анализа были определены наиболее теплоёмкие и теплозатратные эндотермические химические производства. Наиболее теплоёмким производством является производство синтетического каучука. Наиболее теплозатратным – производство метанола.

Из вышесказанного следует, что использование кластерного анализа позволяет определить наиболее теплоёмкие и теплозатратные эндотермические химические производства и направления инвестиций в каж-

дый из этих объектов анализа, а также является основанием для разработки программ по повышению энергоэффективности и снижению энергоёмкости в данных химических производствах.

### Литература

1. Системное энергосбережение // Сообщество «Рупек»: сайт. – URL: <http://www.rupec.ru/analytics/?ID=3821>.
2. Вяткин М.А., Рябцев Н.И., Чураков С.Д. Основные направления развития энергетики химической промышленности (экономия топлива и электроэнергии). – М.: Химия, 1987. – 32 с.
3. Энергоэффективная Россия: отчёт, подготовленный экспертами McKinsey & Company. – 2009. – 160 с.
4. Готова Н.В. Системное энергосбережение // Нефтехимия Российской Федерации. – 2011. – № 5 (10). – С. 24–28.
5. Технология важнейших отраслей промышленности: учеб. для эконом. спец. вузов / А.М. Гинберг, Б.А. Хохлов, И.П. Дрякина [и др.]; под ред. А.М. Гинберга, Б.А. Хохлова. – М.: Высш. шк., 1985. – 496 с.
6. Соколов Р.С. Химическая технология: учеб. пособие. Т. 1. Химическое производство в антропогенной деятельности. Основные вопросы химической технологии. Производство неорганических веществ. – М.: ВЛАДОС, 2000. – 368 с.
7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. – URL: <http://www.gks.ru>.
8. Международное энергетическое агентство. – URL: <http://www.iea.org>.
9. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
10. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.



УДК 330.111.4

В.В. Климук

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛИ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ В ОБЩИХ ЗАТРАТАХ НА ПРОИЗВОДСТВО (на примере предприятий Брестской и Калининградской областей)

*В данной статье представлен обзор литературных источников по проблеме эффективности использования материальных ресурсов, экономии материальных затрат. Автором выполнен анализ динамики удельного веса материальных затрат в общих затратах на производство продукции за 2005–2012 гг. по предприятиям Калининградской и Брестской областей. Выполнена кластеризация объектов исследования по временным отрезкам относительно направления тенденции изменения доли материальных затрат.*

**Ключевые слова:** доля материальных затрат, уровень использования материальных ресурсов, резервы экономии материальных ресурсов, кластер.

V.V. Klimyuk

#### THE RESEARCH OF THE MATERIAL COST SHARE IN THE TOTAL PRODUCTION COSTS (ON THE EXAMPLE OF BREST AND KALININGRAD REGIONS)

*The literary source review on the problem of the material resource use effectiveness, material cost economy is presented in the article. The author conducted the analysis of the material cost share dynamics in the total production costs in 2005–2012 on the enterprises of Kaliningrad and Brest regions. The research object clustering according to temporary segments relative to the trend direction of the material cost share change is conducted.*

**Key words:** material cost share, material resource use level, reserves of material resource economy, cluster.

---

В определении понятия материальных ресурсов, методики анализа их использования сложились различные подходы из-за всесторонней заинтересованности учёных в данной экономической категории, методах её определения и структурирования. Среди учёных, занимающихся вопросами структуры, анализа использования материальных ресурсов, можно выделить И.В. Сергеева, И.И. Веретенникову, В.И. Титова, А.И. Ильина, О.И. Волкова, Н.А. Сафронова, Н.Л. Зайцева, Т.Л. Ардашеву, В.Я. Горфинкеля, В.К. Склярченко, В.М. Прудникова, Л.Н. Нехорошеву, М.К. Старовойтова, П.А. Фомина, В.В. Акулича, В.И. Выборнова, Х. Ши-