Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Д. С. Колмыков, А. А. Гаврилова, Структурно-параметрическая идентификация региональной энергосистемы, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2005, выпуск 38, 136–141

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu388>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.207.124.84

26 апреля 2023 г., 14:37:54

ладать замкнутая система с датчиком концентрации воды в ВТЭ и датчиком расхода ВТЭ, установленными на выходе диспергатора. Недостатками такой структуры является:

- отсутствие в настоящее время стандартных датчиков концентрации воды в ВТЭ;
- влияние концентрации воды (плотность и вязкость ВТЭ) на показания датчика расхода ВТЭ (наиболее распространенных — ультразвукового или вихревого типа).

Наиболее простой с точки зрения реализации, доступности и стоимости компонентов (датчиков), но наименее точной является разомкнутая система стабилизации по втекающим объемным расходам топлива и воды. Разомкнутая система стабилизации была разработана и испытана для основных котлов танкеров. Время установления концентрации на уровне 2% от требуемой составляло 180 – 200 с. Такие показатели системы вполне удовлетворяют по параметру скорости выхода на номинальную производительность по пару. Однако для оптимизации в процессе функционирования это время необходимо снижать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 442 с.
2. Павлова Е.И. Экология транспорта: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. 326 с.

Поступила 16.03.2003 г.

УДК 620.9.603.13

Д. С. Колмыков, А. А. Гаврилова

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Рассмотрены различные по структуре модели идентификации региональной системы энергопроизводства как сложной производственно-экономической системы. Проведены расчеты и анализ параметров, показателей качества и аппроксимативных свойств моделей энергосистемы на основе производственных функций на различных временных интервалах.

В общем виде модель функционирования сложных производственно-экономических систем (СПЭС) можно представить процессом преобразования множества разнородных с экономической и технологической точек зрения ресурсов в некоторое множество конечных продуктов (рис. 1).

Р и с. 1. Общий вид модели СПЭС

Переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$ — это совокупность показателей входных ресурсов, в дальнейшем обозначаемых как вектор

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

а $y_1, y_2, \dots, y_m$ — перечень выпускаемой продукции, обозначенный через вектор

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m). \quad (2)$$

В этом случае задачей идентификации модели СПЭС является определение структурных и количественных связей между входными ресурсами X и выпускаемой продукцией Y , расчет и анализ показателей качества и аппроксимативных свойств модели.

В качестве моделей СПЭС взят класс производственных функций (ПФ), являющийся одной из форм математических моделей для описания процессов функционирования СПЭС. Непосредственным объектом моделирования для ПФ являются процессы производства продукции в реально функционирующих в течение определенного времени хозяйственных системах — на предприятии, в объединении, отрасли, регионе или в народном хозяйстве в целом. В ряде случаев в качестве самостоятельного объекта моделирования может рассматриваться не вся хозяйственная система, а ее часть, состоящая из технологически относительно однородных единиц.

В теории производственных функций производственный процесс рассматривается с точки зрения преобразования ресурсов в продукцию. Входами при этом являются потоки ресурсов различного вида, полностью или частично используемые при производстве, выходом — готовая к реализации продукция.

На основе ПФ можно определять: необходимые объемы ресурсов, при заданных количествах выпускаемой продукции; эффективность использования ресурсов; возможность замещения различных видов ресурсов, а также прогнозировать объемы выпускаемой продукции.

Производственная функция является экономико-математической моделью процесса производства продукции в производственно-экономической системе и позволяет выявлять устойчивые функциональные зависимости между затратами ресурсов и выпуском продукции [1].

В общем виде производственная функция (ПФ) может быть представлена формализованным соотношением между входными ресурсами и выпускаемой продукцией:

$$F(Y, X, A) = 0, \quad (3)$$

где Y — вектор выходных параметров (выпускаемой продукции), X — вектор входных ресурсов, факторов производства, A — вектор оценочных параметров.

В качестве объекта исследования рассматривается энергосистема Самарской области. Непосредственно объектом математического моделирования взят процесс преобразования входных ресурсов в выходные продукты — тепловую и электрическую энергию, а так же общий отпуск энергии. Исследуемый временной период был разделен на два интервала, соответствующих различному характеру поведения производственных процессов. Интервал 1976–1989 гг. экономически стабилен и характеризуется постоянным, устойчивым ростом всех показателей (рис. 2–5). В 1990 году в энергосистеме произошли структурные изменения. После 1990 года произошел резкий спад производства и снижение эффективности использования материальных и трудовых ресурсов (рис. 6–9).

Процесс идентификации строился в три итеративных этапа.

1. Проводилась структурная идентификация энергосистемы. Определялась структура ПФ, основываясь на сущности технологических и экономических процессов СПЭС.

2. Осуществлялась параметрическая идентификация. Определялся минимизируемый функционал. В качестве такового во всех случаях использовалось среднеквадратичное отклонение между рядами фактических значений выходного параметра и данных, полученных на модели [1]:

$$J = \min \sum_{i=1}^N (Y_i^{\Phi} - Y_i)^2, \quad (4)$$

где Y^{Φ} — ряд фактических данных; Y — ряд модельных данных; N — количество лет во временном интервале; i — переменная итерации.

3. Оценивались показатели качества и аппроксимативных свойств модели. Принимались решения о внесении изменений в структуру модели.

В практике построения ПФ [1, 2] обычно используются ПФ различного вида с одним выходным параметром, выраженном в денежном исчислении. В настоящей работе в качестве выходов объекта исследования брались два выходных параметра, выраженных в натуральных единицах (млн, кВт·ч и тыс. Гкал), что обусловило раздельное моделирование (декомпозицию по выходным параметрам) объекта и построение агрегированной модели с физически приведенным суммарным выходом.

Результаты идентификации всех синтезированных моделей приведены в табл. 1 и 2 (интервал 1976–1989 гг.) и табл. 3, 4 (интервал 1990–2001 гг.).

На начальном этапе в качестве структуры модели была выбрана однородная производственная функция Кобба-Дугласа:

$$Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}, \quad (5)$$

где Y — производство тепловой [тыс. Гкал], электрической [млн кВт·ч] и агрегированной [млн кВт·ч] энергии; K — количество основных фондов, млн. руб; L — численность персонала энергосистемы, чел; α — эластичность выпуска по основным фондам; A — масштабный коэффициент.

Статистический анализ аппроксимативных свойств модели на основе однородной производственной функции Кобба-Дугласа дал следующие результаты.

На интервале устойчивого роста производства 1976–1989 гг. (рис. 2) однородная модель для тепловой энергии имеет достаточно хорошие аппроксимативные и прогностические свой-

ства. Коэффициент детерминации R^2 , характеризующий взаимную корреляцию фактического ряда данных и результатов расчетов по модели, удовлетворителен и равен 0,86.

Среднеквадратическая ошибка δ , характеризующая погрешность расчетов по модели, составила 0,0975. Для удовлетворительных прогнозных свойств модели автокорреляция должна отсутствовать. Критерий Дарбина-Уотсона DW, выявляющий автокорреляцию во временных рядах погрешностей расчетов по модели, равен 2,46 и близок к удовлетворительному.

Параметр модели α характеризует эластичность выпуска по основным производственным фондам предприятия. Увеличение объема основных фондов на 1% приводит к увеличению выпуска основного продукта для тепловой энергии на 0,86%, а трудовых ресурсов – на 0,14. Коэффициент модели A характеризует эффект масштаба, и на данном интервале он положителен и больше единицы.

Р и с. 2. Однородная модель 1976–1989 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 3. Неоднородная модель 1976–1989 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 4. Неоднородная модель с топливом 1976–1989 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 5. Неоднородная модель с топливом и НТП 1976–1989 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 6. Однородная модель 1990–2001 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 7. Неоднородная модель 1990–2001 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■—однородная модель

Р и с. 8. Неоднородная модель с топливом
1990–2001 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■— однородная модель

Р и с. 9. Неоднородная модель с топливом и НТП
1990–2001 гг., тыс. Гкал:
—◆— фактический ряд; ■— однородная модель

Для ПФ электрической энергии, как видно из табл. 1 и 2, наблюдаются менее удовлетворительные аппроксимативные и прогнозные качества. Видна более сильная чувствительность производства электрической энергии от численности трудовых ресурсов по сравнению с тепловой энергией.

Как видно из табл. 1, аппроксимативные и прогностические свойства модели для общего отпуска энергии близки по своим значениям к модели выработки тепловой энергии, но несколько хуже нее.

На промежутке спада производства 1990–2001 гг. (рис. 6) однородная модель показывает неудовлетворительные результаты аппроксимации и прогнозные свойства. Для модели тепловой энергии $R^2 = 0,39$; $\delta = 0,815$; $DW = 0,22$. Следовательно, выбранная производственная функция не учитывает существенные факторы, влияющие на протекание анализируемых процессов.

На втором этапе в качестве структуры модели была выбрана неоднородная производственная функция Кобба-Дугласа:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta}, \alpha + \beta \neq 1, \quad (6)$$

где β — эластичность выпуска по трудовым ресурсам.

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициентов за 1976–1989 гг.

Показатели	A	a	b	g	u			
Однородная модель								
Тепловая энергия	2,603	0,859						
Электроэнергия	1,809	0,274						
Сумма	1,129	0,631						
Неоднородная модель								
Тепловая энергия	-6,511E-02	8,005	2,958					
Электроэнергия	7,090E-01	0,632	0,388					
Сумма	9,332E-01	0,632	0,388					
Неоднородная модель с топливом								
Тепловая энергия	6,608E-02	-0,520	1,982	8,892				
Электроэнергия	2,664E+00	-0,763	0,831	0,993				
Сумма	1,046E+00	-0,097	0,369	0,751				
Неоднородная модель с топливом и НТП								
Тепловая энергия	-1,8638779E-10	-0,098	0,368	8,376	0,00015			
Электроэнергия	9,9999992E-01	-0,793	0,831	0,994	0,00064			
Сумма	9,9999994E-01	-0,098	0,369	0,751	0,00003			

На интервале 1976–1989 гг. (рис. 3) для неоднородной модели производства тепловой энергии наблюдается незначительное улучшение аппроксимативных и прогностических свойств модели по сравнению с однородной ПФ. Для неоднородной модели для электроэнергии на промежутке 1976–1989 гг. аппроксимативные и прогностические свойства по-прежнему остаются неудовлетворительными, что говорит о неучтенности в модели важных факторов производства.

Значения показателей качества за 1976–1989 г.г.

Показатели	R^2 в форме Lt	СКВО	DW	R^2 в форме КД	R^2 в скоррект	F	At	at	bt	yt	vt
Однородная модель											
Тепловая энергия	0,8662	0,0975	2,46	0,9050	0,8758	77,7019	30,7014	8,8149			
Электроэнергия	0,1822	0,1674	1,84	0,6543	0,2407	2,6744	11,0779	1,6354			
Сумма	0,8537	0,0754	2,65	0,9272	0,8641	70,0095	5,0287	8,3672			
Неоднородная модель											
Тепловая энергия	0,9062	0,0286	2,48	0,8882	0,9117	53,1479	0,8718	8,3998	0,6892		
Электроэнергия	0,6581	0,0487	1,89	0,6884	0,6815	10,5876	-0,1468	1,6071	2,8301		
Сумма	0,9245	0,0221	2,59	0,9290	0,9326	67,3169	-0,0651	8,0054	2,9579		
Неоднородная модель с топливом											
Тепловая энергия	0,9682	0,0174	1,95	0,9623	0,9648	152,2623	1,8973	0,2723	0,3331	8,5547	
Электроэнергия	0,9426	0,0209	1,90	0,9845	0,9431	82,1246	0,9567	-4,5969	5,0063	7,9880	
Сумма	0,9716	0,0142	2,06	0,9812	0,9707	170,9197	0,0661	-0,5195	1,9819	8,5547	
Неоднородная модель с топливом и НТП											
Тепловая энергия	0,9678	0,0185	1,96	0,9623	0,9644	135,3245	-1,3Е-10	0,0066	0,0440	8,0008	0,0037
Электроэнергия	0,9423	0,0221	1,89	0,9848	0,9427	73,4680	-1,6Е-10	-0,5103	0,5346	7,5033	0,0042
Сумма	0,9716	0,0150	2,06	0,9812	0,9707	153,7596	-1,9Е-10	-0,0979	0,3685	8,0008	0,0001

В отличие от 1976–1989 гг. в период 1990–2001 гг. (рис. 7) картина при переходе к неоднородной ПФ изменяется коренным образом для всех моделей производства энергии. Коэффициент детерминации для тепловой энергии вырос с 0,39 до 0,94. Среднеквадратичная ошибка снизилась до 0,078. Модель обладает хорошими прогнозными свойствами — $DW = 2,18$.

Проанализируем влияние на аппроксимативные и прогностические свойства модели увеличения количества учитываемых факторов производства.

Исходя из специфики производства тепловой и электрической энергии и анализа статей себестоимости производства электрической и тепловой энергии, в качестве такого фактора выберем расход топлива. Так как в энергосистеме сжигается три вида топлива: газ, мазут и уголь с различной калорийностью, то для моделирования был выбран их эквивалент — условное топливо. Из вышеприведенных результатов видно, что применение неоднородной модели ПФ дает более удовлетворительные результаты по сравнению с использованием однофакторной ПФ. Поэтому, была синтезирована следующая трехфакторная и четырех параметрическая производственная функция:

$$Y = AK^{\alpha} L^{\beta} R^{\gamma}, \quad (7)$$

где R — расход условного топлива [т.у.т.](тонны условного топлива), γ — эластичность выпуска по расходу топлива.

Из результатов идентификации модели (7) на интервале 1976–1989 гг. (рис. 4) видно, что происходит значительное улучшение всех аппроксимативных и прогностических свойств модели по сравнению с двухфакторной ПФ. Наилучшие результаты наблюдаются для модели суммарного отпуска энергии. Коэффициент детерминации вырос с 0,9245 до 0,9716.

Среднеквадратичная ошибка снизилась до 0,0142. Модель обладает высокими прогнозными свойствами — $DW = 2,06$.

На отрезке 1990–2001 гг. (рис. 8) также происходит весомое улучшение показателей качества как для раздельного моделирования, так и для суммарной энергии. Для тепловой энергии коэффициент детерминации достигает значения 0,9886, что является максимальным значением R^2 для всех рассмотренных моделей. Происходит снижение среднеквадратической ошибки до минимальной на интервале 1990–2001 гг. в размере 0,0254. Однако следует отметить значительное падение прогнозных свойств модели производства электроэнергии до значения $DW = 2,75$.

Как видно из табл. 2 и 4 F -статистика для модели неоднородной ПФ с топливом показывает большую значимость коэффициентов топливной эластичности по сравнению с остальными коэффициентами модели, что также подтверждает обоснованность выбора в качестве входного фактора модели топливного ресурса.

На последнем этапе исследований в модели был учтен фактор научно-технического прогресса (НТП) в виде экспоненциальной зависимости от времени:

$$Y = AK^{\alpha} L^{\beta} R^{\gamma} e^t, \quad (8)$$

где t — время в годах.

Значения коэффициентов за 1990 – 2001 г. г.

Показатели	<i>A</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>g</i>	<i>u</i>			
Однородная модель								
Тепловая энергия	1,915	2,175						
Электроэнергия	0,823	1,742						
Сумма	0,697	2,044						
Неоднородная модель								
Тепловая энергия	1,853E+01	-6,880	-6,262					
Электроэнергия	3,150E+06	-1,521	-0,714					
Сумма	2,491E+13	-1,521	-0,714					
Неоднородная модель с топливом								
Тепловая энергия	2,042E+00	-3,317	-0,785	1,739				
Электроэнергия	3,302E+06	-0,157	-0,508	0,103				
Сумма	4,628E+07	-1,111	-0,263	0,539				
Неоднородная модель с топливом и НТП								
Тепловая энергия	-9,33633E-09	-2,233	-0,544	1,145	0,026			
Электроэнергия	9,99999E-01	-0,420	-0,577	0,080	0,009			
Сумма	9,99998E-01	-1,530	-0,373	0,486	0,012			

Т а б л и ц а 4

Значения показателей качества за 1990 – 2001 г. г.

Показатели	<i>R2</i> в форме <i>Ll</i>	СКВО	<i>DW</i>	<i>R2</i> в форме КД	<i>R2</i> в скоррект	<i>F</i>	<i>At</i>	<i>at</i>	<i>bt</i>	<i>yt</i>	<i>vt</i>
Однородная модель											
Тепловая энергия	0,3946	0,8518	0,22	-0,2528	0,4451	6,5186	5,9062	2,5532			
Электроэнергия	0,7350	0,3307	0,37	-0,7562	0,7571	27,7349	-4,5683	5,2664			
Сумма	0,4772	0,6767	0,23	-0,3564	0,5208	9,1287	-4,1294	3,0214			
Неоднородная модель											
Тепловая энергия	0,9435	0,0777	2,18	1,0283	0,9336	75,0812	14,5669	-6,3006	-4,0954		
Электроэнергия	0,9316	0,0282	2,03	0,9354	0,9447	61,3209	15,1530	0,0742	-8,5881		
Сумма	0,9635	0,0476	2,34	1,0104	0,9572	118,8459	18,5303	-6,8800	-6,2615		
Неоднородная модель с топливом											
Тепловая энергия	0,9886	0,0370	2,05	0,9946	0,9923	347,0488	2,0236	-1,2642	-0,4059	4,6246	
Электроэнергия	0,9509	0,0254	2,75	0,9499	0,9589	77,4765	16,9044	-1,0401	-3,3722	1,4071	
Сумма	0,9720	0,0442	2,06	1,0092	0,9711	138,6497	2,0422	-3,3172	-0,7848	4,6246	
Неоднородная модель с топливом и НТП											
Тепловая энергия	0,9871	0,0420	1,99	0,9981	0,9905	268,4299	-4,3E-09	-1,2325	-0,3344	4,1286	0,0443
Электроэнергия	0,9239	0,0338	2,35	0,9504	0,9327	42,4809	-8,2E-09	-1,2941	-1,7787	0,6765	0,1141
Сумма	0,9588	0,0573	2,13	1,0302	0,9512	81,5192	-9,3E-09	-2,2334	-0,5439	4,1286	0,0256

Как видно из результатов моделирования в результате учета НТП произошло улучшение прогнозных свойств моделей при незначительном ухудшении других показателей качества. Для модели электрической энергии значение критерия Дарбина-Уотсона сократилось с 2,75 до 2,35. Это обстоятельство свидетельствует о значительном влиянии фактора НТП на прогнозные свойства модели, и он должен быть учтен при выборе моделей для прогноза производства энергии.

Таким образом, предложен подход и разработаны алгоритмы итерационной структурно-параметрической идентификации региональной энергосистемы. Данный подход применим для различных систем и справедлив для дальнейшей детализации структуры предложенных моделей. Построенные модели обладают высокими аппроксимативными и прогнозными свойствами, что позволяет использовать их при построении прогнозов производства тепловой и электрической энергии и анализе тенденций развития региональной энергосистемы Самарской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клейнер Г. Б. Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. 239 с.
2. Замков О. О., Толстомятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике. М.: МГУ, 1997. 368 с.

Поступила 14.12.2003 г.