

УДК 338.24.01

Е. А. КОВАЛЕВА, Е. Ю. МИСЮРА

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ СЕБЕСТОИМОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Данная статья посвящена новому подходу к определению себестоимости теплоснабжения, а именно на основании построения эконометрических моделей с использованием статистических данных КП "Харьковские тепловые сети". В статье авторы рассматривают эконометрические модели двух типов – аддитивную и мультипликативную. Каждая из моделей построена прямым пошаговым методом, на каждой итерации которого методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на текущей итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации. Полученные модели подвергаются строгому эконометрическому анализу, на основании которого выявляется лучшая модель.

Ключевые слова: эконометрическая модель, себестоимость, теплоснабжение.

Дана стаття присвячена новому підходу до визначення собівартості теплопостачання, а саме на підставі побудови економітричних моделей з використанням статистичних даних КП "Харківські теплові мережі". У статті автори розглядають економітричні моделі двох типів - аддитивну і мультипликативну. Кожна з моделей побудована прямим покроковим методом, на кожній ітерації якого методом найменших квадратів оцінювалися значення параметрів моделі, аналізувалися статистична значимість коефіцієнта при змінній, введеної на поточній ітерації, і значення скоригованого коефіцієнта множинної детермінації. Отримані моделі піддаються строгому економітричному аналізу, на підставі якого виявляється найкраща модель.

Ключові слова: економітрична модель, собівартість, теплопостачання.

This article is devoted to a new approach to determining the cost of heat supply, namely, based on the construction of econometric models using the statistical data of the Kharkiv Heat Networks. In the article the authors consider econometric models of two types - additive and multiplicative. Each of the models is constructed by a direct step-by-step method, at each iteration of which the values of the model parameters were estimated by the least-squares method, the statistical significance of the coefficient was analyzed with the variable introduced at the current iteration and the value of the adjusted multiple determination coefficient. The obtained models are subject to rigorous econometric analysis, on the basis of which the best model is identified.

Keywords: econometric model, cost price, heat supply.

Введение. На сегодняшний день рейтинговое агентство "Fitch Ratings" повысило национальный долгосрочный рейтинг города Харькова с уровня "A+(ukr)" до "AA-(ukr)" с прогнозом "стабильный" [1]. Несмотря на такой достаточно оптимистичный прогноз, централизованное теплоснабжение Украины на современном этапе развития имеет серьезные недостатки. Главный из них состоит в том, что системы отопления, присоединенные к централизованному теплоснабжению, перегревают помещения, особенно в теплый период отопительного сезона. Этот недостаток характерен как для наиболее распространенных у нас систем теплоснабжения с теплоносителем горячей водой, так и в еще большей степени (при отсутствии автоматизации) для систем с теплоносителем паром. Такой недостаток носит технический характер и авторами статьи далее не рассматривается.

Другим сложным вопросом является тарификация централизованного теплоснабжения Украины. Тариф на тепло для населения Украины почти идентичный тарифу в Венгрии, но в шесть раз ниже, чем в Японии. Об этом сообщает сайт Национальной комиссии, осуществляющей государственное регулирование энергетики и коммунальных услуг [2]. Комиссия сравнила средневзвешенный тариф на тепловую энергию в разных странах мира с тарифом в Украине. Согласно представленным данным, дешевле, чем в Украине, тепло покупают только в Исландии – эквивалентно 363,5 грн/Гкалл. В свою очередь, авторы статьи хотят отметить, что пример Исландии не очень показательный – страна использует для теплоснабжения геотермальную теплоту (96 % потребностей) и электрические котлы (4 %).

Так как в последнее время новых методик расчета стоимости теплоснабжения не приводят, а проблема высоких тарифов для населения остается неизмен-

ной, в данной статье авторы предлагают свой вариант расчета себестоимости теплоснабжения, используя эконометрические модели, концепции, приемы. Это окажет колоссальное влияние на тарифы последнего.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для обоснованного выбора методологических подходов к моделированию себестоимости теплоснабжения проанализировано достаточное количество работ, включающих опыт эконометрического моделирования большинства социально-экономических систем. Так, в работах [3–6] показано, что на сегодняшний день лучшие результаты дают именно эконометрические модели. Работы [7, 8] посвящены ценообразованию и себестоимости различных объектов так же используя эконометрический подход. Но ни одна из выше перечисленных работ не описывает себестоимость теплоснабжения. Это объясняется тем, что теплоснабжение достаточно сложный вид продукции, себестоимость которого является задачей не только экономического характера, но и затрагивает другие области науки и техники.

С другой стороны, существует достаточное количество статей, посвященных работе систем централизованного теплоснабжения (ЦТ) [9, 10]. Нужно отметить, что в данных работах вопросам себестоимости ЦТ уделено недостаточное внимание, не имеющее математического подтверждения вообще.

Цели и задачи исследования. Исходя из проведенного анализа литературы в статье ставится следующая цель: разработать экономико-математическую модель себестоимости ЦТ на основании реальных статистических данных КП "Харьковские тепловые сети" (г. Харьков, Украина) и государственной службы статистики Украины.

© Е. А. Ковалева, Е. Ю. Мисюра. 2017

Для вышестоящей цели необходимо решить следующие задачи:

1. Отбор факторов (количественных показателей), тем или иным образом влияющих на результирующий признак – себестоимость теплоснабжения.

2. Спецификация формы модели на основании графического представления исходных данных и теоретико-экономического анализа.

3. Оценка параметров модели с учетом отобранных факторов и выбранной формой модели.

4. На основе реальных данных провести расчет себестоимости теплоснабжения для физических лиц, проживающих на территории г. Харькова.

Проверка мультиколлинеарности исходных данных и отбор определяющих факторов для построения модели. На рис. 1 приведены исходные данные, используемые при выполнении корреляционно-регрессионного анализа для выборки из 27 областей Украины, а так же показатели и обозначения, используемые при выполнении корреляционно-регрессионного анализа.

В результате проведения корреляционного анализа была получена матрица коэффициентов Пирсона (табл. 1). Пороговое значение значимости коэффициента

корреляции, определяющее наличие стохастической связи в данном исследовании, было выбрано 0,9.

Значения коэффициентов парной корреляции указывают на весьма тесную связь зависимой переменной Y с факторными переменными $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7$. В то же время межфакторная связь $r_{x_4x_5} = 0,9964$ весьма тесная и превышает тесноту связи с результирующей переменной Y , что свидетельствует о наличии мультиколлинеарности. В связи с этим для улучшения разрабатываемой модели необходимо исключить из ее структуры данный фактор как малоинформативный и недостаточно статистически надежный.

Таким образом, исследование результатов ранжирования показывает, что наибольшее влияние на результирующий признак Y (себестоимость ЭМИ) оказывают следующие показатели: X_1 (затраты на электроэнергию), X_4 (затраты оплату труда), X_5 (соц. отчисления); среднее влияние на результирующий признак Y оказывает показатели X_2 (затраты на воду), X_3 (прочие затраты) и X_7 (прочие операционные затраты); и наименьшее влияние оказывает показатель X_6 (амортизация).

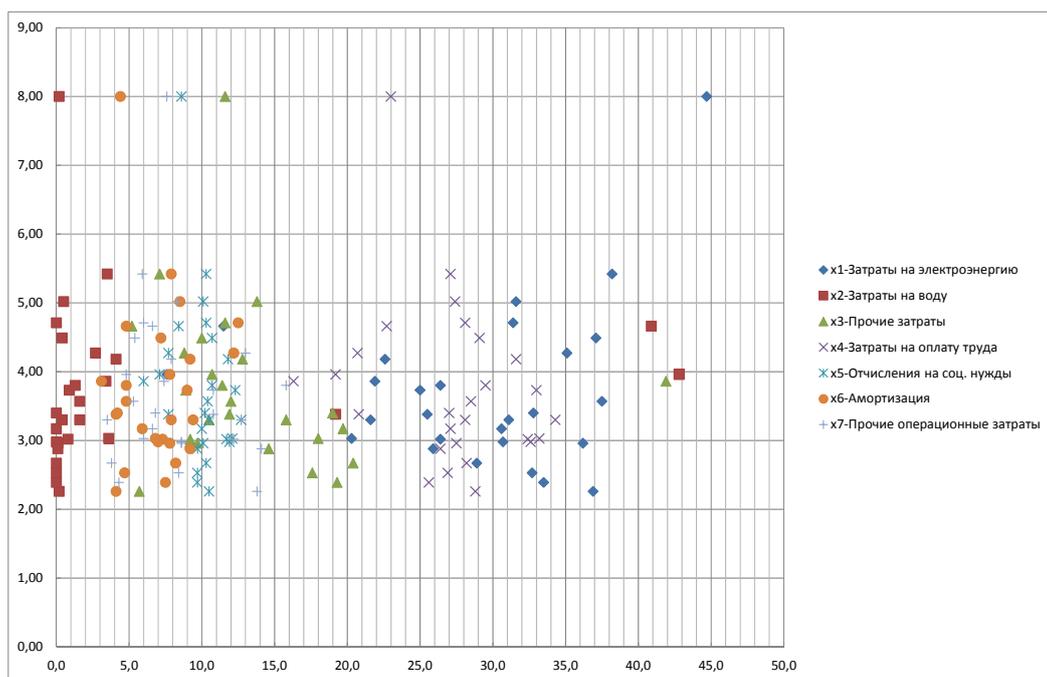


Рис. 1 – Исходные данные для построения модели: \blacklozenge – фактор X_1 , \blacksquare – фактор X_2 , \blacktriangle – фактор X_3 , \times – фактор X_4 , \ast – фактор X_5 , \bullet – фактор X_6 , $+$ – фактор X_7

Таблица 1 – Корреляционная матрица Пирсона

Факторы	Y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Y	1	0,2176	0,1355	-0,1763	-0,2781	-0,2517	0,0429	-0,1387
x_1	0,2176	1	-0,7168	-0,1023	0,1222	0,1344	-0,0027	-0,0190
x_2	0,1355	-0,7168	1	-0,2095	-0,4935	-0,4947	-0,1485	-0,1782
x_3	-0,1763	-0,1023	-0,2095	1	-0,3673	-0,3717	-0,2847	-0,2881
x_4	-0,2781	0,1222	-0,4935	-0,3673	1	0,9964	0,2322	0,1565
x_5	-0,2517	0,1344	-0,4947	-0,3717	0,9964	1	0,2503	0,1310
x_6	0,0429	-0,0027	-0,1485	-0,2847	0,2322	0,2503	1	-0,0382
x_7	-0,1387	-0,0190	-0,1782	-0,2881	0,1565	0,1310	-0,0382	1

Выбор спецификации и построение регрессионной модели определения себестоимости теплоснабжения. После того, как были выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на себестоимость рассматриваемого объекта, был проведен подбор вида функциональной зависимости, т. е. выбор вида многофакторной регрессионной модели, основываясь на графическом отображении исходных данных (рис. 1) и диаграммы рассеяния, приведенную на рис. 2.

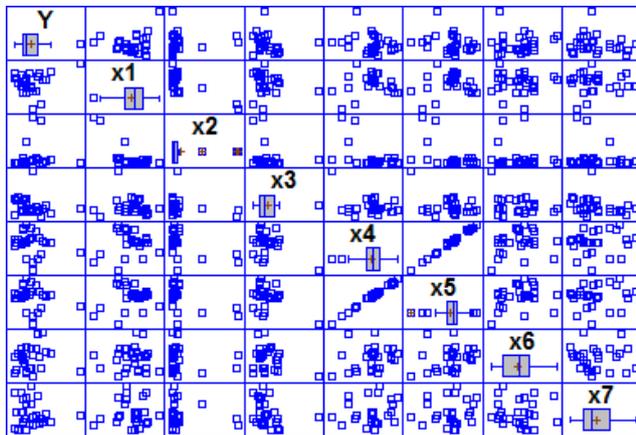


Рис. 2 – Диаграмма рассеяния для исходных наблюдений

От правильности этого выбора зависит, насколько построенная модель будет адекватна изучаемому явлению, т. е. будет ли она соответствовать ему при заданном уровне точности, что в свою очередь, предопределяет практическую ценность получаемых результатов.

Согласно рис. 2 можно использовать наиболее распространенную аддитивную модель, описывающуюся соотношением (1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j X_j \quad (1)$$

С другой стороны, задача построения модели себестоимости теплоснабжения является производственной задачей, для которой наиболее часто используются мультипликативные модели:

$$Y = \beta_0 \cdot \prod_{j=1}^m X_j^{\beta_j} \quad (2)$$

Одним из преимуществ модели (2) является то, что параметры b_j ($j = \overline{1, m}$) имеют конкретный экономический смысл – в таких моделях они являются коэффициентами эластичности.

Исходя из проведенного теоретического анализа автором было принято решение по построению модели многофакторной регрессии как вида (1), так и вида

(2) с дальнейшим выбором одной из них, максимально удовлетворяющей соответствующим критериям качества моделей.

Таким образом, результат выполнения построения моделей вида (1) и (2) описывается соответствующими соотношениями (3)–(5):

– аддитивная модель без учета корреляционной зависимости факторов с результирующим признаком:

$$Y = 343,434 + 3,51972 * X_1 + 3,49261 * X_2 + 3,4523 * X_3 + 2,80546 * X_4 + 5,17132 * X_5 + 3,4899 * X_6 + 3,43705 * X_7; \quad (3)$$

– аддитивная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$Y = 0,12739 + 0,102815 * X_1 + 0,0699473 * X_2 + 0,012562 * X_3 + 0,0218221 * X_4 + 0,0848401 * X_6; \quad (4)$$

– мультипликативная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$Y = X_1^{2.3} X_2^{1.1} X_3^{1.41} X_4^{2.03} X_6^{0.9} \quad (5)$$

Эконометрический анализ моделей, включающий в себя проверку гипотез о значимости моделей на основании коэффициента детерминации, F-критерия Фишера, t-критериев Стьюдента, проверку свойств оценок наименьших квадратов коэффициентов множественной регрессии, а так же проверку правильности выбора спецификации моделей, приведен в табл. 2.

Согласно табл. 2, проверка статистической значимости параметров регрессионных уравнений (1)–(3) (коэффициентов регрессии) была выполнена по t-критерию Стьюдента и подтвердила значимость последних (см. столбец 2). Используя F-критерий, так же была проверена гипотеза значимости множественной регрессии с признанием последней адекватной для всех трех моделей (см. столбец 3). Коэффициент детерминации оценивает долю дисперсии результата за счет представленных в уравнении факторов в общей вариации результата. Здесь эта доля составляет соответственно 24,8 %, 35 % и 26 % (см. столбец 4) и указывает на невысокую степень обусловленности вариации результата вариацией факторов, иными словами – на среднюю связь факторов с результатом. Авторы объясняют последнее явление недостаточностью исходных эмпирических данных, однако, согласно работам [7, 10], модели регрессии с невысоким коэффициентом детерминации на достаточном уровне будут аппроксимировать исходные данные.

Для подтверждения вышесказанного авторы статьи приводят графическое отображение остатков моделей. Рис. 3 демонстрирует зависимость остатков от объясняющих переменных. Эти графики не выявили квадратичных эффектов.

Таблица 2 – Эконометрический анализ моделей (3)–(5)

Модель	t-критерии Стюдента					F-критерий Фишера	Коэффициент детерминации
	Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value		
Модель (1)	CONSTANT	343,434	265,07	1,29563	0,2106	Standard Error of Est. = 1,11058	R-squared = 24,7668 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 6,85411 percent
	x1	3,51972	2,64461	1,3309	0,1990		
	x2	3,49261	2,6458	1,32006	0,2025		
	x3	3,4523	2,65567	1,29998	0,2092		
	x4	2,80546	2,78516	1,00729	0,3265		
	x5	5,17132	3,04146	1,70028	0,1054		
	x6	3,4899	2,64791	1,31798	0,2032		
Модель (2)	CONSTANT	0,12739	6,22439	0,0204663	0,9839	Standard Error of Est. = 1,13651	R-squared = 35,0034 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 11,0573 percent
	x1	0,102815	0,0700092	1,4686	0,1568		
	x2	0,0699473	0,0664597	1,05248	0,3045		
	x3	0,012562	0,0664464	0,189055	0,8519		
	x5	0,0218221	0,300075	0,0727221	0,9427		
	x6	0,0848401	0,110185	0,769981	0,4499		
Модель (3)	Col 1	2,34246	0,155224	0,498794	0,6234	Standard Error of Est. = 0,271494	R-squared = 26,0684 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 3,88897 percent
	Col 2	1,119541	0,13936	1,40224	0,1762		
	Col 3	1,40743	4,30623	1,337	0,1962		
	Col 4	2,02543	4,4092	1,18512	0,2499		
	Col 6	0,8571022	0,16797	0,339955	0,7374		

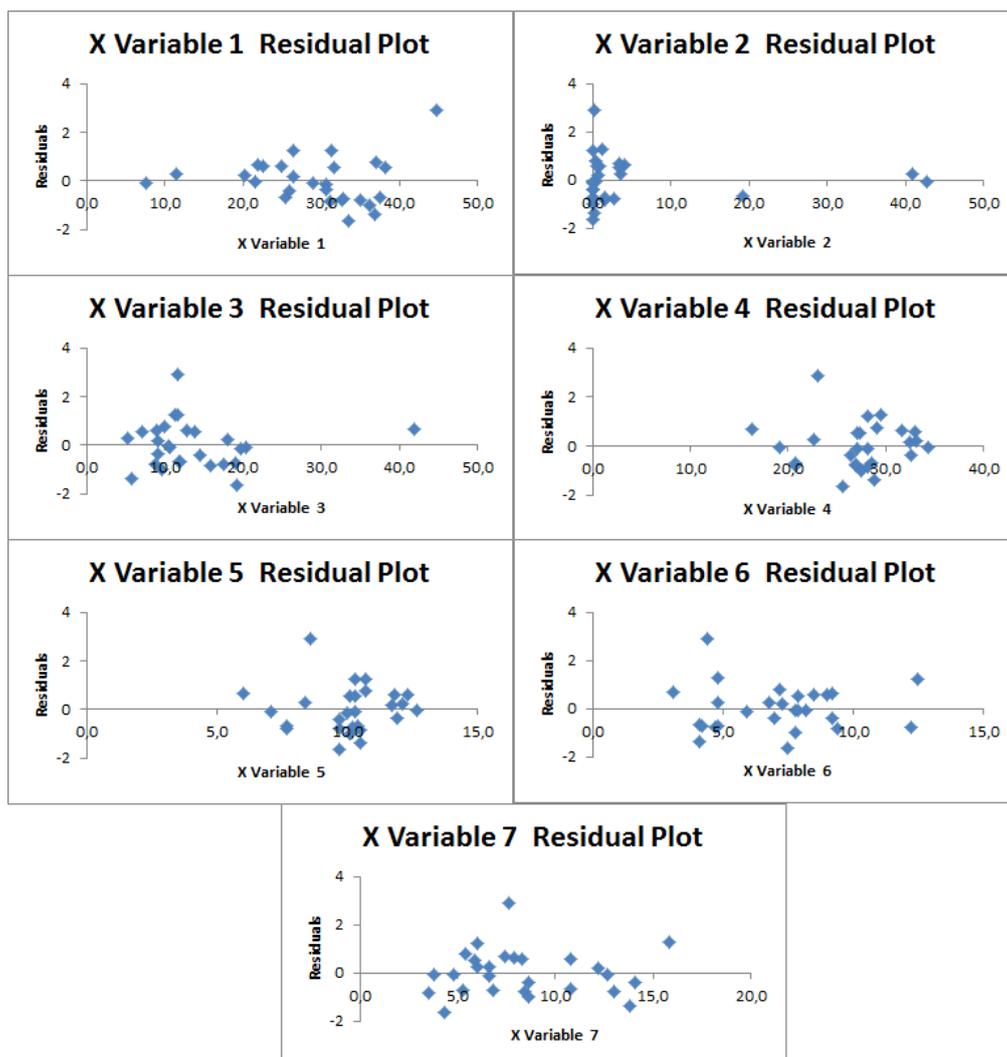


Рис. 3 – Зависимость остатков модели (1) от входящих в нее факторов

Таким образом, анализ качества уравнений (1)–(3) и проверка адекватности уравнения эмпирическим данным подтверждает возможность дальнейшего использования полученных моделей.

Пошаговый подход к построению регрессионной модели. Продолжая анализ задачи авторы определили такой набор объясняющих переменных, который позволил построить адекватную и точную модель без необходимости учитывать все переменные. Одним из основных способов построения таких моделей является пошаговая регрессия, с помощью которой можно определить наилучшую регрессионную модель

без перебора всех регрессионных моделей. В процессе шаговой регрессии F-критерий применяется к модели с любым количеством переменных. Важным свойством пошаговой процедуры является то, что объясняющие переменные, включенные в модель на предыдущих этапах, могут впоследствии исключаться из рассмотрения (табл. 3). Это значит, что на каждом этапе объясняющие переменные как включаются, так и исключаются из модели. Пошаговая регрессия останавливается, когда ни добавление, ни удаление объясняющих переменных не повышают точность модели.

Таблица 3 – Результаты применения метода выбора наилучшего подмножества для решения задачи о себестоимости теплоснабжения

MSE	R-Squared	Adjusted R-Squared	Cp	Included Variables	MSE	R-Squared	Adjusted R-Squared	Cp	Included Variables
					6	7	8	9	10
					1,21895	22,2406	12,0981	3,73087	ABG
1	2	3	4	5	1,2191	22,231	12,0872	3,73368	ACD
1,38671	0,0	0,0	4,23231		1,24735	20,4285	10,0496	4,26059	ACE
1,37392	4,73323	0,92256	4,84868	A	1,38671	11,5385	0,0	8,14794	ACF
1,38671	3,84615	0,0	5,69584	B	1,38671	11,5385	0,0	7,11531	ACG
1,38671	3,84615	0,0	5,32397	C	1,23758	21,0519	10,7544	4,07835	ADE
1,33063	7,73459	4,04397	3,97132	D	1,32354	15,5686	4,55577	5,68126	ADF
1,35078	6,3375	2,591	4,37972	E	1,33389	14,9083	3,8094	5,87427	ADG
1,38671	3,84615	0,0	6,17849	F	1,34511	14,1921	2,9998	6,08362	AEF
1,38671	3,84615	0,0	5,66963	G	1,35252	13,7199	2,46602	6,22166	AEG
1,16878	22,1991	15,7157	1,74301	AB	1,38671	11,5385	0,0	8,27585	AFG
1,38671	7,69231	0,0	6,14796	AC	1,26192	19,499	8,99891	4,5323	BCD
1,28957	14,1586	7,00512	4,09344	AD	1,30151	16,9737	6,14414	5,27052	BCE
1,31038	12,7735	5,5046	4,49833	AE	1,38671	11,5385	0,0	9,02033	BCF
1,38671	7,69231	0,0	6,79337	AF	1,38671	11,5385	0,0	8,09954	BCG
1,38671	7,69231	0,0	6,31891	AG	1,30758	16,5862	5,7061	5,3838	BDE
1,38671	7,69231	0,0	7,02706	BC	1,38671	11,5385	0,0	7,6141	BDF
1,38607	7,73501	0,046256	5,97119	BD	1,38671	11,5385	0,0	7,69439	BDG
1,38671	7,69231	0,0	6,37509	BE	1,38671	11,5385	0,0	8,02248	BEF
1,38671	7,69231	0,0	7,57709	BF	1,38671	11,5385	0,0	8,04695	BEG
1,38671	7,69231	0,0	7,29936	BG	1,38671	11,5385	0,0	9,20729	BFG
1,25147	16,6951	9,75301	3,35196	CD	1,18616	24,3322	14,4625	3,11945	CDE
1,28014	14,7867	7,68554	3,90983	CE	1,30261	16,9037	6,06504	5,29098	CDF
1,38671	7,69231	0,0	7,32229	CF	1,25664	19,8361	9,37992	4,43377	CDG
1,38671	7,69231	0,0	6,17879	CG	1,3321	15,0224	3,9384	5,84091	CEF
1,25325	16,5764	9,62449	3,38663	DE	1,27991	18,3516	7,70183	4,86771	CEG
1,36773	8,95602	1,36902	5,61426	DF	1,38671	11,5385	0,0	8,14541	CFG
1,37212	8,66378	1,05243	5,69969	DG	1,30473	16,7681	5,91182	5,3306	DEF
1,38671	7,69231	0,0	6,02978	EF	1,30762	16,5839	5,70349	5,38447	DEG
1,38671	7,69231	0,0	6,04701	EG	1,38671	11,5385	0,0	7,38745	DFG
1,38671	7,69231	0,0	7,62821	FG	1,38671	11,5385	0,0	7,74407	EFG
1,21914	22,2282	12,084	3,73451	ABC	1,25594	23,3642	9,43044	5,40241	ABCD
1,21044	22,7832	12,7114	3,57227	ABD	1,26776	22,6428	8,57786	5,6133	ABCE
1,21533	22,4711	12,3587	3,66348	ABE	1,23326	24,7478	11,0656	4,99795	ABCF
1,19022	24,0731	14,1696	3,19518	ABF	1,27423	22,2481	8,11138	5,72868	ABCG
1,36393	16,7748	1,64291	7,32866	DEFG	1,17833	28,0999	15,0271	4,01807	ABDE
1,22112	28,8759	11,9416	5,79122	ABCDE	1,22922	24,9943	11,3569	4,92591	ABDF
1,28774	24,9954	7,1372	6,92557	ABCDF	1,26477	22,8252	8,79346	5,55997	ABDG
1,28678	25,0513	7,20635	6,90925	ABCDG	1,23505	24,6387	10,9367	5,02984	ABEF
1,29166	24,7668	6,85411	6,99241	ABCEF	1,26978	22,5194	8,43206	5,64936	ABEG
1,31263	23,5454	5,34194	7,34945	ABCEG	1,24426	24,0769	10,2727	5,19407	ABFG
1,28807	24,9764	7,11359	6,93115	ABCDFG	1,17628	28,225	15,175	3,9815	ACDE
1,21926	28,9839	12,0754	5,75964	ABDEF	1,26922	22,554	8,47294	5,63925	ACDF
1,23093	28,3043	11,2339	5,9583	ABDEG	1,23032	24,9272	11,2776	4,94553	ACDG

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,28772	24,9967	7,13882	6,92519	ABDFG	1,29799	20,7984	6,39808	6,15247	ACEF
1,29377	24,644	6,70204	7,02832	ABEFG	1,25316	23,5341	9,63115	5,35277	ACEG
1,23229	28,2251	11,1359	5,98146	ACDEF	1,38671	15,3846	0,0	9,0954	ACFG
1,21832	29,039	12,1435	5,74354	ACDEG	1,28823	21,3938	7,10172	5,97842	ADEF
1,28698	25,0398	7,19218	6,91259	ACDFG	1,29368	21,0615	6,70901	6,07556	ADEG
1,31055	23,6669	5,49233	7,31394	ACEFG	1,37386	16,1685	0,926413	7,50589	ADFG
1,34943	21,4022	2,68839	7,97597	ADEFG	1,38671	15,3846	0,0	7,85441	AEFG
1,26091	26,558	9,07175	6,46881	BCDEF	1,20598	26,4125	13,0329	4,51134	BCDE
1,22589	28,5978	11,5972	5,87253	BCDEG	1,3188	19,5286	4,89747	6,52364	BCDF
1,28662	25,0605	7,21778	6,90655	BCDFG	1,22963	24,9693	11,3274	4,93321	BCDG
1,32064	23,0789	4,76437	7,48581	BCEFG	1,35958	17,0401	1,95644	7,25111	BCEF
1,38671	19,2308	0,0	9,32559	BDEFG	1,26149	23,0255	9,03012	5,50143	CEG
1,28371	25,2301	7,42771	6,85698	CDEFG	1,38671	15,3846	0,0	10,0871	BCFG
1,27697	29,1646	7,91402	7,70682	ABCDEF	1,36383	16,7808	1,65005	7,3269	BDEF
1,27883	29,0611	7,77942	7,73708	ABCDEG	1,36693	16,5915	1,42637	7,38222	BDEG
1,34999	25,1139	2,64808	8,89094	ABCDFG	1,38671	15,3846	0,0	9,38541	BDFG
1,23428	31,5325	10,9923	7,01463	ABCEFG	1,38671	15,3846	0,0	9,74388	BEFG
1,27593	29,2224	7,98909	7,68994	ABDEFG	1,23971	24,3547	10,601	5,11287	CDEF
1,27917	29,0424	7,75512	7,74255	ACDEFG	1,22615	25,1816	11,5782	4,87115	CDEG
1,28094	28,944	7,62725	7,7713	BCDEFG	1,31304	19,8799	5,3126	6,42096	CDG
1,23338	35,0034	11,0573	8,0	ABCDEF	1,33723	18,4039	3,56828	6,85242	CEFG

Пошаговый подход выявил условие взаимодействия всех факторов, приведенных на рис. 1. Таким образом, авторами статьи для дальнейшего прогноза из трех моделей выбрана первая.

Краткосрочное прогнозирование себестоимости теплоснабжения. Тарифы на централизованное теплоснабжение с 1 июля 2016 года утверждены Постановлением № 1101 от 9 июня 2016 года Национальной комиссии, осуществляющей государственное

регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг (рис. 4).

После проведения авторами статьи процесса разработки и составления прогнозов, т.е. научно обоснованных гипотез о вероятном будущем состоянии экономической системы и экономических объектов с использованием модели (1), были получены следующие результаты доверительных интервалов, приведенных в табл. 4.

N п/п	Название коммунальной услуги	Единица измерения	Тариф, грн. за единицу измерения (с НДС)
1	Централизованное отопление для жильцов жилых домов с домовыми или квартирными приборами учета тепловой энергии	1 Гкал	1416.96
2	Централизованное отопление для жильцов жилых домов без домовых и квартирных приборов учета тепловой энергии	1 кв. м в месяц на протяжении отопительного периода	32.97

Рис. 4 – Тарифы за теплоснабжение, июнь, 2016 год, Украина

Таблица 4 – 95,0 % Доверительные интервалы для оценок коэффициентов

Parameter	Estimate	Standard Error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	343,434	265,07	898,233	211,366
x1	3,51972	2,64461	2,01553	9,05497
x2	3,49261	2,6458	2,04513	9,03034
x3	3,4523	2,65567	2,10608	9,01069
x4	2,80546	2,78516	3,02397	8,63488
x5	5,17132	3,04146	1,19454	11,5372
x6	3,4899	2,64791	2,05224	9,03205
x7	3,43705	2,63083	2,06935	8,94345

Используя зависимость (1) и данные рис. 5 получим точечный прогноз, соответствующий себестоимости теплоснабжения:

$$Y = 343,434 + 3,51972 * X_1 + 3,49261 * X_2 + 3,4523 * X_3 + 2,80546 * X_4 + 5,17132 * X_5 + 3,4899 * X_6 + 3,43705 * X_7 = 343,434 + 3,51972 * 32 + 3,49261 * 0,03 + 3,4523 * 8,8 + 2,80546 * 3,2 + 5,17132 * 4,4 + 3,4899 * 8,8 + 3,43705 * 4,4 = 564,11 \text{ грн/Гкал}$$

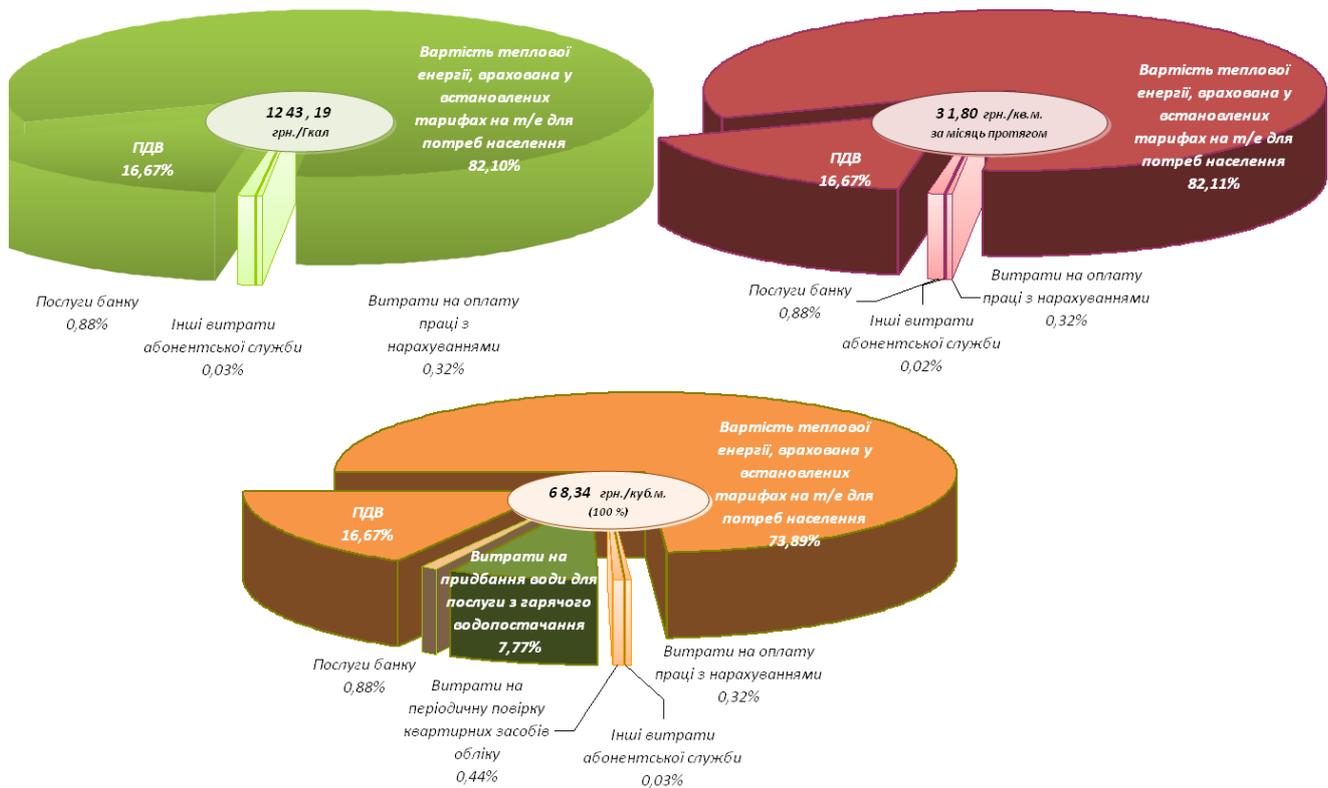


Рис. 5 – Структура тарифов для населення г. Харькова за теплоснабження

Для сравнения на рис. 6 приведены тарифы за теплоснабжение в странах Европы, США и Корея. Заметно, что полученные расчеты себестоимости теплоснабжения почти в половину меньше тарифов, указанных на рис. 6. В связи с вышеприведенными расчетами возникают вопросы (Что делать дальше, чтобы избежать перерасхода теплоносителя на отопление дома и стабилизировать расходы в тепловой сети? Как дальше модернизировать систему отопления многоэтажного дома? ...), ответы на которые выходят за рамки данной работы.

	Средневзвешенный тариф на тепловую энергию	
	евро/Гдж	Грн/Гкал
Исландия	3,14	363,5
Украина		1042,9
Венгрия	9,3	1076,6
Болгария	10,7	1238,7
Польша	10,73	1242,1
Южная Корея	12,2	1412,3
США	13,85	1603,3
Австрия	13,96	1616,1
Румыния	14,54	1683,2

Рис. 6 – Тарифы за теплоснабжение, июнь, 2016 год, страны Европы, США, Корея

Выводы. В работе была рассмотрена и реализована методология построения эконометрических моделей различной формы, предназначенных для анализа и прогноза себестоимости теплоснабжения. Особенностью предложенной методологии эконометрического моделирования является пошаговая процедура построения эконометрических зависимостей и отбор лучших моделей на основании учета среднеквадратической ошибки регрессии.

В начале статьи приводится изучение централизованной и нормированной оценки наименьших квадратов коэффициентов линейной эконометрической модели (3) при выполнении стандартных предположений о модели.

Далее в статье приводится построение двух производственных моделей (4) и (5), в которых была решена проблема мультиколлинеарности проблема спецификации эконометрических моделей имеющимся статистическим данным. Однако несмотря на доказанную значимость обеих моделей последняя была получена с набором незначимых коэффициентов и отбракована, для дальнейшего анализа она не представляла особого интереса.

В заключение была проведена апробация первой модели, которая показала, что уравнение регрессии применимо для прогнозирования возможных ожидаемых значений результативного признака. На основании модели авторы статьи предлагают новые тарифы на теплоснабжение для физических лиц Харьковской области. Проведен сравнительный ана-

лиз тарифов в сопоставлении с тарифами в Европе, США и Корею.

Единственным недостатком такой модели можно считать следующее: нельзя подставлять значения факторного признака, значительно отличающиеся от входящих в базисную информацию, по которой вычислено уравнение регрессии. Авторы рекомендуют при определении значений факторов не выходить за пределы трети размаха вариации, как за минимальное, так и за максимальное значение признака-фактора, имевшееся в исходной информации.

Список литературы:

1. Fitch Affirms Ukrainian City of Kharkov at 'B-' [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fitchratings.com/site/pr/1021461>
2. Горожанкин, С. А. Тепловая схема источника теплоснабжения с теплонасосной установкой на шахтной воде [Текст] / С. А. Горожанкин, Д. В. Выборнов, С. И. Монах // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (56). – С. 15–20.
3. Chen, H. Systemic Risk and the Interconnectedness Between Banks and Insurers: An Econometric Analysis. [Текст] / H. Chen J. D. Cummins, K. S. Viswanathan, M. A. Weiss // Journal of Risk and Insurance. – 2013. – Vol. 81, №. 3. – P. 623–652. doi: [10.1111/j.1539-6975.2012.01503.x](https://doi.org/10.1111/j.1539-6975.2012.01503.x)
4. Wells, K. B. Treatment Research at the Crossroads: The Scientific Interface of Clinical Trials and Effectiveness Research [Text] / K. B. Wells // American Journal of Psychiatry. – 1999. – № 156 (1). – P. 5–10. doi: [10.1176/ajp.156.1.5](https://doi.org/10.1176/ajp.156.1.5)
5. Уварова, І. С. Модель впливу міжнародних міграційних процесів на економіку України [Текст] / І. С. Уварова // Бізнес Інформ. – 2015. – № 2. – С. 119–124.
6. Ермолаев, Е. Е. Выбор варианта организации теплоснабжения жилых зданий в городском округе Самара [Текст] / Е. Е. Ермолаев, Е. А. Складорова, Н. А. Ушанова // Вестник ГГУ. – 2017. – № 2. – С. 66–70.
7. Nakamura, E. Five Facts about Prices: A Reevaluation of Menu Cost Models* [Text] / E. Nakamura, J. Steinsson // Quarterly Journal of Economics. – 2008. – № 123 (4). – P. 1415–1464. doi: [10.1162/qjec.2008.123.4.1415](https://doi.org/10.1162/qjec.2008.123.4.1415)
8. Schneps-Shneppe, M. A. (2016). How to build an intelligent city. Part 1. The project "Smart Cities and Communities" in the EU

- Horizon 2020 [Text] / M. A. Schneps-Shneppe // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Vol. 1. № 1. – С. 12–20.
9. Huggins, D. J. Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules [Text] / M. Schwenk, D. M. Templeton, J. H. Duffus // Chemistry International. – 2015. – № 37 (1). – P. 12–14. doi: [10.1515/ci-2015-0104](https://doi.org/10.1515/ci-2015-0104)
 10. Калимуллина, Д. Д. Независимая система теплоснабжения потребителей [Текст] / Д. Д. Калимуллина, Р. Р. Зайнуллин // Инновационная наука. – 2016. – № 5-2 (17). – С. 123–125.

References

1. Fitch Affirms Ukrainian City of Kharkov at 'B-'. Available at: <https://www.fitchratings.com/site/pr/1021461>
2. Gorozhankin, S. A., Vybornov, D. V., Monah, S. I. (2013) Thermal scheme of a heat supply source with a heat pump plant on mine water. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, 2 (56), 15–20.
3. Chen, H., Cummins, J. D., Viswanathan, K. S., Weiss, M. A. (2013). Systemic Risk and the Interconnectedness Between Banks and Insurers: An Econometric Analysis. Journal of Risk and Insurance, 81 (3), 623–652. doi: [10.1111/j.1539-6975.2012.01503.x](https://doi.org/10.1111/j.1539-6975.2012.01503.x)
4. Wells, K. B. (1999). Treatment Research at the Crossroads: The Scientific Interface of Clinical Trials and Effectiveness Research. American Journal of Psychiatry, 156 (1), 5–10. doi: [10.1176/ajp.156.1.5](https://doi.org/10.1176/ajp.156.1.5)
5. Uvarova, I. S. (2015). Model the impact of international migration on the economy of Ukraine. Business Info, 2, 119–124.
6. Ermolaev, E. Y., Skljjarova, E. A., Ushanova, N. A. (2017). Choice of a variant of the organization of heat supply of residential buildings in the urban district of Samara. Vestnik GUU, 2, 66–70.
7. Nakamura, E., Steinsson, J. (2008). Five Facts about Prices: A Reevaluation of Menu Cost Models*. Quarterly Journal of Economics, 123 (4), 1415–1464. doi: [10.1162/qjec.2008.123.4.1415](https://doi.org/10.1162/qjec.2008.123.4.1415)
8. Schneps-Shneppe, M. A. (2016). How to build an intelligent city. Part 1. The project "Smart Cities and Communities" in the EU Horizon 2020 Program. International Journal of Open Information Technologies, 1 (1), 12–20.
9. Huggins, D. J., Schwenk, M., Templeton, D. M., Duffus, J. H. (2015). Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules. Chemistry International, 37 (1), 12–14. doi: [10.1515/ci-2015-0104](https://doi.org/10.1515/ci-2015-0104)
10. Kalimullina, D. D., Zajnullin, R. R. (2016). Independent system of consumers' heat supply. Innovative science, 5-2 (17), 123–125.

Поступила (received) 27.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Новые подходы к расчету себестоимости централизованного теплоснабжения/ Е. А. Ковалева, Е. Ю. Мисюра // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 16(1238). – С. 40–48.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Нові підходи до розрахунку собівартості централізованого теплопостачання/ К. О. Ковальова, Є. Ю. Мисюра // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 16(1238). – С. 40–48.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

New approaches to calculating the cost of district heating/ K. Kovaleva, J. Misura //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238).– P. 40–48. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковальова Катерина Олександрівна – Кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Кафедра вищої математики та економіко-математичних методів, пр. Науки, 9-А, м Харків, Україна, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

Мисюра Євгенія Юрївна – Кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Кафедра вищої математики та економіко-математичних методів, пр. Науки, 9-А, м Харків, Україна, 61166; e-mail: misuraeu@mail.ru.

Ковалева Екатерина Александровна – Кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Кафедра высшей математики и экономико-математических методов, пр. Науки, 9-А, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua

Мисюра Євгенія Юрьевна – Кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Кафедра вищої математики і економіко-математических методів, пр. Науки, 9-А, г. Харків, Україна, 61166; e-mail: misuraeu@mail.ru.

Kovalova Katerina – Lecturer, Candidate of technical science, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, The department of Mathematics High society and economic-mathematical methods, Lenin Avenue, 9av, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

Misura Jane – Lecturer, Candidate of technical science, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, The department of Mathematics High society and economic-mathematical methods, Lenin Avenue, 9av, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: misuraeu@mail.ru.

УДК 621.311.42: 519.23

О. С. МІЛЮТИНА, С. А. ЛЕВЧЕНКО

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІ

Приведено обґрунтування та основні аналітичні залежності для статистичного аналізу електричного навантаження трансформаторної підстанції. Розглянуто можливість застосування нормального закону розподілення вірогідностей для визначення прогнозованих комерційних втрат електричної енергії в трансформаторах. Приведено приклад статистичного аналізу електричного навантаження трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ. Перевірено гіпотезу про нормальний закон розподілення генеральної сукупності за критерієм Пірсона. Статистичний підхід дозволяє автоматизувати визначення втрат електричної потужності та енергії у часі та оптимізувати режим роботи трансформаторної підстанції.

Ключові слова: трансформаторна підстанція, графік навантаження, статистичний аналіз, нормальний закон розподілення, втрати електричної потужності.

Приведено обоснование и основные аналитические зависимости для статистического анализа электрической нагрузки трансформаторной подстанции. Рассмотрена возможность применения нормального закона распределения вероятностей для определения прогнозируемых коммерческих потерь электрической энергии в трансформаторах. Приведён пример статистического анализа электрической нагрузки трансформаторной подстанции 110/35/10 кВ. Проверено гипотезу о нормальном законе распределения по критерию Пирсона. Статистический подход позволяет автоматизировать определение потерь электрической мощности и энергии во времени и оптимизировать режим работы трансформаторной подстанции.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, график нагрузки, статистический анализ, нормальный закон распределения, потери электрической мощности.

When working on the transformer substation is important to determine active power losses in transformers and power caused by their mode of operation. It is not considered random character of the transformer substation and its projected work. The study is an attempt to discover the law of distribution, which is subject to the said substation work in the presence of load demand. The object of research is the justification of application of statistical analysis to identify the projected losses at the substation. The statistical method allows to describe the over all impact of random factors and the invariability employment transformer substation. According to the central limit theorem amount sufficiently large number of weakly dependent random variables that have roughly the same scale (all values have finite mathematical expectation and variance, none of the cases does not dominate) has distribution close to normal, which is characterized by two integral indicators: expectation $M(X)$ and dispersiyeyu $D(X) = \sigma^2$, where σ – standard deviation.

There is an example of statistic analysis of electrical load transformer substations 110/35/10 kV. Checked hypothesis of normal law on apportionment Pirsons Criteria. Calculations showed that both side LV (10 kV) and MV side (35 kV), the output of the normal distribution load depends on the level of significance α . Statistic approach allows us to avtomatiz determination of the loss of time electrical-power mode and to optimize work of transformer substations.

Keywords: transformer substation, load graph, statistical analysis, normal distribution law, loss of electric power.

Вступ. Графіки навантажень трансформаторів являють собою випадковий, що тече в часі, процес, який формується в результаті спільної дії низки випадкових факторів: загрузки підприємства, замовленнями, наявністю сировини для виробництва продукції, режимом роботи, погодними, кліматичними умовами та ін. За прийнятою практикою, потужність трансформаторів на підстанції вибирається за їхнім навантаженням з урахуванням категорії споживачів за надійністю електропостачання.

При роботі трансформаторів на підстанції важливим є визначення втрат активної потужності в трансформаторах, обумовлених режимом їх роботи.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для розрахунку втрат активної потужності в трансформаторах використовуються методики [1–4], які дозволяють отримати можливі втрати як активної потужності, так і електричної енергії. В даних джереле-

лах не розглядається випадковий характер роботи трансформаторної підстанції та її прогнозована робота.

В роботах [5, 6] розглядаються втрати електричної потужності і електроенергії в електричних мережах енергосистем.

Інтерес представляє статистичний аналіз роботи повітряних відцентрових компресорів [7], де показано, що навантаження на компресорну станцію може бути описане нормальним законом розподілу.

Мета та задачі дослідження. Нижче приведено аналіз графіків навантаження двотрансформаторної підстанції 110/35/10 кВ потужністю 2х25 МВА, яка живить промислових та сільськогосподарських споживачів.

Метою дослідження є спроба виявити закон розподілення, якому підлягає робота зазначеної підстанції при наявності її графіка навантаження.

© О. С. Мілютіна, С. А. Левченко. 2017