

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Алиферов А. И.,

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Кошеков К. Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е. В.,

к.т.н., профессор

Кислов А. П.,

к.т.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Шеръязов С. К.

т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)

Искакова З. С.

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.29.01

<https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/58-71>

***А. Т. Апсеметова¹, Ж. С. Шыныбай²,
К. Е. Арыстанбаев³, Р. М. Чимкентбаева⁴**

^{1,4}Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова,
Республика Казахстан, г. Шымкент;

²Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева,
Республика Казахстан, г. Алматы;

³Южно-Казахстанская медицинская академия,
Республика Казахстан, г. Шымкент.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0515-6648>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-0339>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9499-192X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3124-6051>

*e-mail: aalizgan@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В данной работе представлены результаты прогнозирования электропотребления социально значимых объектов мегаполиса Шымкент. Специфика изменений мегаполиса – сезонные колебания энергопотребления в течение года, которые требуют перехода к адаптивным моделям управления и способных оптимизировать распределение городских мощностей. Одним из методов повышения эффективности в процессе управления электроэнергией является прогнозирование. Однако для обеспечения точности результатов необходим детальный анализ. Учет данных о ежемесячной нагрузке электроэнергии в течение года позволяет прогнозировать энергопотребление городской среды, что дает возможность управлять на системном уровне.

Основной фактор, влияющий на энергопотребление – сезонность, определяет тенденцию развития потребления. Поэтому актуальным направлением исследования является совершенствование существующих и разработка новых методов прогнозирования.

Целью данной работы является анализ и прогнозирование энергопотребления объектов городской инфраструктуры инструментами мультипликативного моделирования. На основе фактических данных электропотребления основных объектов города Шымкент за 2023–2024 гг. был проведен анализ с применением линейной модели тренда. Выполнена проверка адекватности модели с использованием критерия Фишера и коэффициента детерминации. Было определено, что для описания тенденции роста энергопотребления наиболее эффективным является линейный тренд с мультипликативной коррекцией на сезонность.

Ключевые слова: мультипликативная модель, прогнозирование, электропотребление, моделирование, регрессионный анализ.

Введение

Современная городская среда представляет собой динамично развивающуюся систему, функционирование которой тесно связана с бесперебойным обеспечением электроэнергией. Энергетическая инфраструктура города претерпевает значительную трансформацию, которая обусловлена ростом плотности населения и интеграцией интеллектуальных технологий в городскую среду. Быстрое градостроительное развитие города Шымкент, масштабное жилищное строительство, модернизация социальной инфраструктуры и развитие экологически устойчивых районов приводит к значительному росту энергопотребления. Этот фактор существенно влияет на распределительные сети электроэнергии, которые требуют строительства новых инженерных сетей и модернизацию существующих для обеспечения стабильного энергоснабжения.

Значительное влияние на структуру потребления электроэнергии оказывают объекты социальной и образовательной инфраструктуры. В отличие от промышленных предприятий, которые имеют стабильный технологический цикл, образовательные учреждения характеризуются неравномерностью использования электроэнергии. Такие колебания продиктованы календарными циклами и ритмами жизни города, тем самым создавая зоны высокой неопределенности для операторов распределительных систем.

Эффективная эксплуатация городских распределительных сетей невозможна без понимания закономерностей таких процессов. В основе анализа распределения энергетических потоков лежит необходимость моделирования потребления электроэнергии. Системный анализ и прогнозирование становятся фундаментальной базой формирования

необходимого базиса для внедрения гибких механизмов управления энергосистемами мегаполиса [1; 2].

Прогнозирование электропотребления позволяет снизить пиковые нагрузки и минимизировать экономические потери. В условиях городской среды временные ряды энергопотребления характеризуются выраженным трендом и сезонными колебаниями.

В данной статье предлагается анализ и прогнозирование потребления электрической энергии инфраструктуры города Шымкент на основе мультипликативной прогнозной модели. В качестве объекта исследования выбраны статистические данные потребления электроэнергии основных объектов города Шымкент за 2023–2024 года. Построение мультипликативной модели потребления электроэнергии позволит получить предиктивные значения среднесрочного планирования, минимизировать риски и оптимизировать распределение энергетических мощностей.

Материалы и методы

Прогнозирование энергопотребления позиционируется как предиктивное моделирование динамических характеристик временных рядов электрических нагрузок. Его функция заключается в минимизации неопределенности относительно будущих режимов работы распределительных сетей. Методология прогнозирования ориентирована на выявление трендов в потреблении электроэнергии на основе статистической обработки данных. Данный подход предполагает, что предиктивное состояние энергопотребления является функцией от его предшествующих состояний и актуальных параметров функционирования сети.

Рассмотрим городскую среду не как единое пятно застройки, а как совокупность дискретных зон. Городская инфраструктура в данной модели представляется в виде суммы основных сегментов таких как, социально-образовательный, промышленно-коммунальный, жилой и коммерческий, каждый из которых имеет свою сезонность.

Применение мультипликативного эффекта позволяет формировать цикличность энергопотребления. Основным преимуществом такого подхода является возможность прогнозирования сезонной компоненты, которая в свою очередь в условиях необходимого жизнеобеспечения мегаполиса имеет жесткую привязку к сезонности.

Для проведения анализа рассмотрены основные объекты энергопотребители города Шымкент в разрезе по месяцам за 2023 – 2024 года на примере одного частного дома, одной 2х комнатной квартиры не использующей электрической плиты, одной 2х комнатной квартиры с использованием электроплиты, одной среднеобразовательной школы, одного детского сада, одного малого

предприятия, одного предприятия ТОО. Статистические данные получены от ТОО «Оңтүстік Жарык Транзит» электростетвой компании в городе Шымкент и Туркестанской области, обеспечивающей передачу электрической энергии, модернизацию сетей и бесперебойное снабжение энергопотребителей, приведены на рисунке 1. Данные указаны в кВт·ч (киловатт-часах).

п/п №	Объект	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	итого за год
1	Частный дом 2023г.	248	215	235	208	179	197	293	468	164	198	222	237	2864
	Частный дом 2024г.	255	211	248	205	256	398	587	389	217	212	222	259	3459
2	2х комнатная квартира, не использующая электроплиты 2023г.	157	197	212	256	85	218	216	308	196	115	243	155	2358
	2х комнатная квартира, не использующая электроплиты 2024г.	203	213	330	221	213	258	350	230	210	213	225	204	2870
3	2х комнатная квартира, использующая электроплиты 2023г.	563	494	508	505	456	398	256	249	232	331	348	370	4710
	2х комнатная квартира, не использующая электроплиты 2024г.	350	255	270	284	272	309	360	195	155	169	148	125	2892
4	Среднеобразовательная школа 2023г.	9739	10798	10996	5992	10979	5050	1118	1098	5874	10995	11414	12556	96609
	Среднеобразовательная школа 2024г.	8800	12408	11169	8811	9684	4152	1202	856	10080	11000	10307	11502	99971
5	Детский сад 2023 г.	4260	6030	3420	2820	3180	3060	2280	2100	2280	3000	4020	4200	40650
	Детский сад 2024 г.	3240	3840	3540	3300	2700	2520	2040	2400	2400	3180	3240	3240	35640
6	Высшее учебное заведение 2023 г.	342963	320224	243601	288756	183088	244141	143570	87008	141378	244823	381828	292301	2913681
	Высшее учебное заведение 2024 г.	300099	362990	296080	258640	236889	204461	147977	146202	214784	372554	233395	374114	3148189
7	Малое предприятие 2023г.	351	280	2104	3003	3495	4065	5158	5997	3915	4709	4848	2887	40812
	Малое предприятие 2024г.	1924	3118	4908	7600	8382	5458	6168	6382	5620	6966	8120	4923	69569
8	Предприятие ТОО 2023 г.	208716	207839	216069	203507	217175	206835	247275	261118	238179	255373	242159	298322	2802790
	Предприятие ТОО 2024 г.	247324	239514	249113	230993	242628	289611	314224	293686	266919	305668	320268	302000	3031887
	Итого:													12568951
	Итого 2023 год	566997	546077	477145	505047	418637	463984	400169	358346	392218	519548	645082	611228	5904474
	Итого 2024 год	562195	622549	565664	510003	501017	507167	472908	450340	500384	699958	575925	696367	6664477
	Итого:													12568951

Данные указаны в кВт·ч (киловатт-часах)

Рисунок 1 – Электропотребление основных объектов города Шымкент

Метод моделирования сезонных колебаний заключается в расчете значений сезонной компоненты методом скользящей средней и построении мультипликативной прогнозной модели временных рядов.

Характер энергопотребления показывает зависимость от времени года и темпов расширения жилого сектора, т.е. показывает наличие сезонных колебаний. Наблюдается темп роста, т.е. общий объем энергопотребления по всем объектам увеличился примерно на 12,8 %. Выявлены выраженные пики нагрузки в июле из-за климатического фактора, а также спады потребления в образовательном секторе в летний период из-за каникул.

Эффективное планирование энергетических мощностей города требует высокой точности прогнозирования [3; 4]. Электропотребление

представляет собой сложный вопрос, сочетающий в себе рост населения и цифровизацию, пиковые потребления зимой и летом, аномальные погодные условия. Для процессов с возрастающей амплитудой сезонных колебаний и с учетом ярко выраженной специфики временных рядов целесообразно использовать мультипликативную модель. В основу мультипликативной модели заложен принцип системного выявления связей между трендовой и сезонной компонентами, что важно для получения прогнозных значений в условиях динамично развивающейся инфраструктуры.

Мультипликативная модель предполагает, что каждый уровень временного ряда представлен как произведение трендовой составляющей (T), сезонной компоненты (S) и составляющей случайных ошибок (E) и в общем случае выглядит в виде:

$$Y = T \cdot S \cdot E \quad (1)$$

Определение наиболее точной аналитически описанной линии тренда с высоким коэффициентом детерминации не является достаточным условием для построения оптимальной прогностической модели. Рост коэффициента детерминации уменьшает лишь локальную ошибку тренда, но не снижает ошибки модели в целом, например в нашем случае в энергопотреблении всегда присутствуют случайные скачки, принимаемые за закономерность [5].

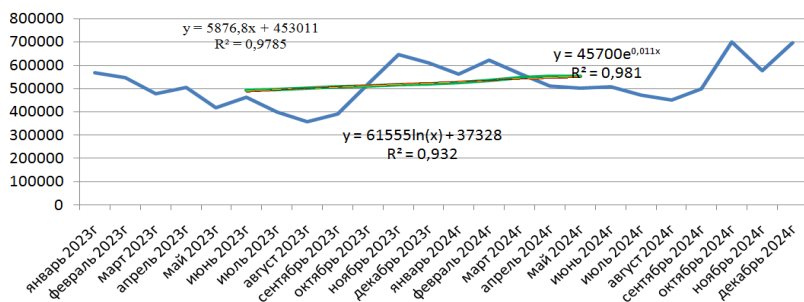


Рисунок 2 – Линии тренда и фактическое потребление электроэнергии за 2 года (2023 и 2024 гг.)

На рисунке 2 представлен графический анализ, который показывает, что при использовании различных функций регрессии (Красным цвет показан логарифмический тренд, черным цветом – линейный, желтым – экспоненциальный) присутствует неопределенность прогноза.

Логарифмическая модель дает заниженные оценки, экспоненциальная показывает завышенный прогнозный показатель. Описание динамики тренда, описанная линейным уравнением регрессии

$$y = 5876,8x + 453011$$

с показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9785$ наиболее точно описывает динамику энергопотребления. Это позволяет использовать линейное уравнение в качестве базы для построения краткосрочного прогнозирования. Коэффициент регрессии показывает, что в среднем ежемесячное потребление электроэнергии увеличивается на 5876,8 кВт·ч. Положительная динамика тренда может быть связана с расширением производственных мощностей. Значение R^2 близкое к единице свидетельствует об адекватности математической модели, и наиболее точно описывают данные, приведенные на рисунке 1.

Для выявления долгосрочного тренда применяется метод аналитического сглаживания текущих колебаний и расчет скользящей средней для каждого интервала [6]. Учитывая, помесичные исходные данные и наличие выраженной сезонной цикличности период расчета скользящей средней будет равна с периодом равной двенадцати месяцам, что соответствует полному годовому циклу:

$$\bar{Y}_{cp} = \frac{Y_{i-1} + Y_{i-2} + \dots + Y_{i-n}}{n} \quad (2)$$

Здесь:

n – период сглаживания, определяемый цикличностью временного ряда.

В процессе математического моделирования [7; 8; 9] возникает необходимость оценки существующих колебательных процессов, поэтому для анализа сезонной компоненты в рамках мультипликативной модели вычисляется центрированная скользящая средняя:

$$\bar{Y}_{цс} = \frac{\bar{Y}_{i-1} + \bar{Y}_{i-2} + \dots + \bar{Y}_{i-n}}{n} \quad (3)$$

Оценка сезонной компоненты определяется как частное от деления фактических значений временного ряда на сглаженные значения центрированной скользящей средней:

$$S = \frac{Y}{\bar{Y}_{цс}} \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

Мультипликативная модель временного ряда была построена на основе данных, представленных на рисунке 1, полученных от электросетевой компании ТОО «Оңтүстік Жарық Транзит» по городу Шымкент. Расчет мультипликативной модели был выполнен в программной среде Excel с применением встроенных функций регрессионного анализа. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

t	год	Месяц	Y	$\bar{Y}_{cp}$	$\bar{Y}_{ycc}$	T	$y/T=S \cdot E$	S	S_{CK}	$\hat{Y}$	E
1	2023	январь	566997			458887,8	1,23559	1,145473	1,152334	528791,8	1,072
2		февраль	546077			464764,6	1,174954	1,168972	1,175974	546550,9	0,999
3		март	477145			470641,4	1,013819	1,029427	1,035592	487392,5	0,979
4		апрель	505047			476518,2	1,059869	0,994038	0,999992	476514,3	1,060
5		май	418637			482395	0,86783	0,886776	0,892087	430338,3	0,973
6		июнь	463984	492039,5	491839,4167	488271,8	0,950258	0,92869	0,934252	456168,8	1,017
7		июль	400169	491639,3	494825,6667	494148,6	0,809815	0,823538	0,828471	409387,7	0,977
8		август	358346	498012	501700,2917	500025,4	0,716656	0,752107	0,756612	378325,2	0,947
9		сентябрь	392218	505388,6	505595,0833	505902,2	0,775284	0,820373	0,825286	417514,2	0,939
10		октябрь	519544	505801,6	509234,0833	511779	1,015173	1,104669	1,111286	568732,7	0,914
11		ноябрь	645082	512666,6	514465,875	517655,8	1,24616	1,104627	1,111243	575241,5	1,121
12		декабрь	611228	516265,2	519295,9583	523532,6	1,167507	1,169865	1,176872	616130,8	0,992
13	2024	январь	562195	522326,8	526159,8333	529409,4	1,061929			610056,2	0,922
14		февраль	622549	529992,9	534499,8333	535286,2	1,163021			629482,4	0,989
15		март	565664	539006,8	546524	541163	1,045275			560424,2	1,009
16		апрель	510003	554041,3	551159,7083	547039,8	0,932296			547035,3	0,932
17		май	501017	548278,2	551825,625	552916,6	0,906135			493249,7	1,016
18		июнь	507167	555373,1		558793,4	0,907611			522053,7	0,971
19		июль	472908			564670,2	0,837494			467812,8	1,011
20		август	450340			570547	0,789313			431682,7	1,043
21		сентябрь	500384			576423,8	0,868084			475714,7	1,052
22		октябрь	699958			582300,6	1,202056			647102,3	1,082
23		ноябрь	575925			588177,4	0,979169			653608,2	0,881
24		декабрь	696367			594054,2	1,172228			699125,7	0,996

Рисунок 3 – Результаты расчета мультипликативной модели

Определим коэффициент детерминации мультипликативной модели

$$R^2 = 1 - \frac{\sum E^2}{\sum (Y - S_{CK} \cdot T)^2} \tag{5}$$

Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,85$ и указывает на то, что построенная мультипликативная модель объясняет 85 % вариацию уровней временного ряда энергопотребления.

В мультипликативной модели обязательным условием проверки является условие равенства суммы сезонных индексов количеству периодов в году:

$$\sum_i^n S_{ск} = 12 \quad (6)$$

Расчет обязательного условия приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Проверка обязательного условия мультипликативной модели

Сезонный индекс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого
$S_{ск}$	1,15233	1,17597	1,03559	0,99999	0,89209	0,93425	0,82847	0,75661	0,82529	1,11129	1,11124	1,17687	12

Проверим адекватность мультипликативной модели по критерию Фишера

$$F_{расч} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-k-1}{k} \quad (7)$$

Для построенной мультипликативной модели значение критерия меньше стандартного значения 0,05 ($0,005562012 < 0,05$), что говорит о значимости модели. Для оценки качества и статистической значимости был использован дисперсионный анализ [7; 8; 9], приведенный на рисунке 4.

Вывод Итогов								
Регрессионная статистика								
Множест	0,86807							
R-квадра	0,75354							
Нормиро	0,70165							
Стандарт	49369,7							
Наблюде	24							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	ачимость F			
Регрессия	4	1,41589E+11	35397265719	14,5227	1,4E-05			
Остаток	19	46310028525	2437369922					
Итого	23	1,87899E+11						
Коэффициент стандартной ошибки - статистика - значения и критические значения 95%								
Y-пересек	463721	34430,67745	13,46824145	3,6E-11	391656	535785	391656	535785
t	2679,01	6272,456035	0,427107467	0,6741	-10449	15807,4	-10449	15807,4
t2	129,786	242,7613876	0,534623319	0,59911	-378,32	637,891	-378,32	637,891
sin	43476,7	15456,45696	2,812853349	0,01111	11126	75827,5	11126	75827,5
cos	84053,8	14732,86797	5,705187633	1,7E-05	53217,5	114890	53217,5	114890
Вывод ОСТАТКА								
Наблюдение	Энергоп	Остатки						
1	561061	5936,445253						
2	549277	-3199,701663						
3	516403	-39257,53547						
4	472138	32908,6181						
5	429306	-10669,05666						
6	400413	63570,72972						
7	394302	5866,802869						
8	413780	-55434,22201						
9	454868	-62649,70359						
10	507864	11679,68386						
11	559948	85133,75604						
12	598612	12616,22348						
13	615013	-52817,73943						
14	606344	16205,25208						
15	576584	-10920,44329						
16	535435	-25432,15129						
17	495718	5299,312371						
18	469940	37227,23719						
19	466944	5964,448762						
20	489536	-39196,43769						
21	533739	-33354,78084						
22	589850	110107,745						
23	645049	-69124,04435						
24	686827	9539,561522						

Рисунок 4 – Результаты расчета дисперсионного анализа

Для сравнения данных модельных и исходных был построен график прогноза потребления электроэнергии, приведенный на рисунке 5. На рисунке приведены $Y(t)$ – фактические данные потребления электроэнергии основных объектов города Шымкент за период 2023–2024 гг.; $\hat{Y}$ – расчетные значения; T – линия тренда; Y_p – прогноз потребления электроэнергии с учетом сезонн на 6 месяцев.

Таким образом, линейная мультипликативная модель описывает 85% изменений в потреблении электроэнергии в зависимости от временного ряда, что подтверждает высокую точность прогноза. Предложенная модель расчета энергопотребления позволяет использовать такой подход для оптимального распределения энергетических мощностей с учетом сезонных колебаний [10; 11].

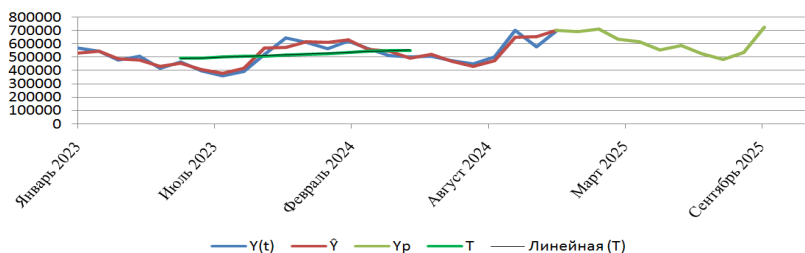


Рисунок 5 – Анализ и прогноз потребления электроэнергии с учетом сезонной компоненты мультипликативной модели

Выводы

На основе эконометрического анализа была разработана мультипликативная прогнозная модель временного ряда энергопотребления основных объектов города Шымкент. Мультипликативная модель показывает на устойчивый рост нагрузки. Тренд имеет положительный наклон, даже без учета сезонных пиков уровень потребления нагрузки постоянно растет, что говорит об увеличении населения и росте города. Модель показывает, что существующая система имеет жесткую циклическую зависимость, так как внешние факторы доминируют над случайными факторами. Полученная мультипликативная модель объясняет 85 % изменений в потреблении электроэнергии в зависимости от временного ряда.

Если сравнить прогнозную линию с данными, полученными от электросетевой компании города Шымкент, то можно увидеть, что траектории практически повторяются. Это говорит о том, что выбранная математическая модель адекватно описывает исследуемый объект и может применяться для краткосрочного планирования ресурсов.

Социальные объекты и жилой фонд требуют от города маневренных мощностей, которые были бы способны покрывать кратковременные, но мощные пики. В перспективном плане развития города необходимо закладывать привлечение дополнительных мощностей с учетом коэффициента

одновременности и расширения инфраструктуры, а также создание интеллектуальной системы распределения электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Афифи, А.** Статистический анализ : Подход с использованием ЭВМ [Текст]. – М. : Мир, 1982. – 488 с.
- 2 **Бокс, Дж.** Анализ временных рядов. Прогноз и управление [Текст]. – М. : Мир, 1976. – 406 с.
- 3 **Бекларян, Л. А.** Методы социально-экономического прогнозирования: учебник для вузов [Текст]. – Алматы : Эконометрика, 2015. – 320 с.
- 4 **Hyndman, R. J.** Forecasting: Principles and Practice [Текст]. – Melbourne, 2021. – 518p.
- 5 **Григорьев, В. Ю.** Моделирование нагрузки электропотребления городских распределительных сетей на основе гармонического анализа [Текст] // Энергетика и автоматизация. – 2023. – №3. – С. 112–125.
- 6 **Иванова, С. А.** Оценка значимости регрессионных моделей в задачах долгосрочного планирования инфраструктуры // Экономика региона. – 2024. – Т.20, №1. – С. 210–233.
- 7 **Галочкин, В. Т.** Эконометрика : учебник и практикум для вузов [Текст]. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 293 с.
- 8 **Box, G. E. P.** Time Series Analysis: Forecasting and Control [Текст]. – Hoboken : Wiley, 2015. – 712 p.
- 9 **Дрейпер, Н.** Прикладной регрессионный анализ [Текст]. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2016. – 912 с.
- 10 **Айвазян, С. А.** Методы эконометрики : учебник [Текст]. – М. : ИНФРА-М., 2019. – 512 с.
- 11 **Стонженко, И. В.** Дисперсионный анализ как инструмент оценки устойчивости функционирования электроэнергетических систем [Текст] // Электричество. – 2021. – №8. – С. 12–19.

REFERENCES

- 1 **Afifi, A.** Statisticheski analiz: Podhod s ispolzovaniem EVM [Statistical analysis : A Computer Oriented Approach] [Text]. – M. : Mir, 1982. – 488 p.
- 2 **Boks, Dzh.** Analiz vremennyh ryadov. Prognoz i upravlenie [Time series analysis. Forecasting and control] [Text]. – M. : Mir, 1976. – 406 p.

3 **Beklaryan, L. A.** Metody sotsialno-ekonomicheskogo prognozirovaniya: uchebnik dlya vuzov [Methods of socio-economic forecasting: textbook for universities] [Text]. – Almaty : Ekonomika, 2015. – 320 p.

4 **Hyndman, R. J.** Forecasting : Principles and Practice [Text]. – Melbourne, 2021. – 518 p.

5 **Grigoryev, V. Yu.** Modelirovanie nagruzki elektropotrebleniya gorodskikh setey na osnove garmonicheskogo analiza [Modeling of electricity consumption load in urban distribution networks based on harmonic analysis]// Energetika I avtomatizatsiya [Energy and automation]. – 2023. – No. 3. – P.112–125.

6 **Ivanova, S. A.** Otsenka znachimosti regressionnykh modeley v zadachakh dolgosrochnogo planirovaniya infrastruktury [Assessment of the significance of regression models in long-term infrastructure problems] // Ekonomika regiona [Economy of Region]. – 2024. – Vol. 20, No.1. – P. 210–233.

7 **Galochkin, V. T.** Ekonometrika: uchebnik I praktikum dlya vuzov [Econometrics: Textbook and Workshop for Universities] [Text]. – Moscow : Yurayt Publishing House, 2024. – 293 p.

8 **Box, G. E. P.** Time Series Analysis : Forecasting and Control [Текст]. – Hoboken : Wiley, 2015. – 712 p.

9 **Draper, N. R.** Prikladnoi regressiyni analiz [Applied Regression Analysis] [Text]. – 3rd ed. – Moscow : Wilyams, 2016. – 912 p.

10 **Ayvazyan, S. A.** Metody ekonometriki: uchebnik [Methods of Econometrics : Textbook] [Text]. – Moscow : INFRA-M, 2019. – 512 p.

11 **Stonozhenko, I. V.** Dispersionnyy analiz kak instrument otsenki ustoychivosti funktsionirovaniya elektroenergeticheskikh sistem [Analysis of variance as a tool for assessing the stability of electric power systems functioning] // Elektrichestvo [Electricity]. – 2021. – No.8. – P. 12–19.

Поступило в редакцию 01.04.26.

Поступило с исправлениями 23.04.26.

Принято в печать 31.08.26.

*А. Т. Апсеметова¹, Ж. С. Шыныбай²,
К. Е. Арыстанбаев³, Р. М. Чимкентбаева⁴

^{1,4}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

²Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

³АҚ Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы,
Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

01.04.26 ж. баспаға түсті.

23.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

31.08.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЛАЛЫҚ ТАРАТУ ЖЕЛЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ТҰТЫНУДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ ҮШІН СЫЗЫҚТЫ МУЛЬТИПЛИКАТИВТІ МОДЕЛЬДІ ҚОЛДАНУ

Шымкент мегаполисінің әлеуметтік маңызы бар нысандарының электр энергия тұтынуын болжау нәтижелері ұсынылған. Мегаполис өзгерістерінің ерекшелігі – жыл бойындағы энергия тұтынудың маусымдық ауытқулары қалалық қуаттарды бөлуді оңтайландыруға қабілетті басқарудың адаптивті модельдеріне көшуді талап етеді. Электр энергиясын басқару процессінде тиімділікті арттыру әдістерінің бірі болжау болып табылады. Дегенмен, нәтижелердің дәлдігін қамтамасыз ету үшін детальді талдау қажет. Жыл бойындағы электр энергиясының ай сайынғы жүктемесі туралы ақпаратты есепке алып қалалық ортаның энергия тұтынуын болжауға, сонымен бірге жүйелік деңгейде басқаруға мүмкіндік береді.

Электр энергияны тұтынуға әсер ететін негізгі фактор – маусымдылық, ол тұтынудың дамуын анықтайды. Сондықтан қолданыстағы әдістерді бейімдеу және болжаудың жаңа әдістерін оңдеу зерттеудің өзекті бағыты болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – мультипликативті модельдеу құралдарымен қалалық инфрақұрылым нысандарының энергия тұтынуын талдау және болжау. Шымкент қаласының негізгі нысандарының 2023–2024 жж электр энергиясын тұтынуының нақты мәліметтері негізінде сызықтық тренд моделін қолдану арқылы талдау жүргізілді. Фишер критерийі мен детерминация коэффициентін пайдалана отырып модельдің адекваттылығына тексеру жүргізілді. Энергия тұтынудың осу тенденциясын сипаттау үшін маусымдылыққа мультипликативті коррекциясы бар сызықтық тренд ең тиімді болып табылатыны анықталды.

Кілтті сөздер: мультипликативті модель, болжау, электр энергиясын тұтыну, модельдеу, регрессиялық талдау.

*A. Apsemetova¹, Zh. Shynybay², K. E. Arystanbayev³, R. Chimkentbaeva⁴

^{1,4}M. Auezov South Kazakhstan University,

Republic of Kazakhstan, Shymkent;

²K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

³South Kazakhstan Medical Academy,

Republic of Kazakhstan, Shymkent.

Received 01.04.26.

Received in revised form 23.04.26.

Accepted for publication 31.08.26.

APPLICATION OF A LINEAR MULTIPLICATIVE MODEL FOR ANALYSIS AND FORECASTING OF ELECTRICITY CONSUMPTION IN URBAN DISTRIBUTION NETWORKS

This paper presents the results of electricity consumption forecasting for socially significant facilities in the Shymkent megacity. The specific nature of the megacity's evolution – marked by seasonal fluctuations in energy demand throughout the year – necessitates a transition toward adaptive management models capable of optimizing urban capacity distribution. While forecasting is a key method for improving energy management efficiency, detailed analysis is required to ensure accurate results. Accounting for monthly load data throughout the year enables the forecasting of urban energy consumption, providing the foundation for system-level management.

Seasonality, the primary factor influencing energy consumption, defines the consumption trend. Consequently, adapting existing methods and developing new forecasting techniques is a highly relevant research area. This study aims to analyze and forecast the energy consumption of urban infrastructure facilities using multiplicative modeling tools. Based on actual electricity consumption data from key facilities in Shymkent for 2023–2024, an analysis was conducted using a linear trend model. The model's adequacy was verified using the Fisher criterion and the coefficient determination. The study determined that a linear trend with multiplicative seasonal correction is the most effective approach for describing growth trends in energy consumption.

Keywords: multiplicative model, forecasting, electricity consumption, modeling, regression analysis.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

19,0 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.

Электронное издание

19,0 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz