

## Обработка статистических данных потребления электроэнергии как этап математического моделирования процесса

А.В. Бец<sup>а</sup>, Т.А. Григорьева<sup>б</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> nastya-chupina@mail.ru, <sup>б</sup> umubrgu@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0003-3297-1805>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5361-6832>

Статья поступила 18.12.2025, принята 04.02.2026

*Электроэнергия является одним из основных видов энергии. В современных условиях рыночной экономики для юридических лиц особо остро встает вопрос о снижении цены за потребляемую электроэнергию. Для решения данной проблемы рассмотрена структура затрат на электроэнергию. Данная структура выявила, что большое влияние оказывает правильное прогнозирование и планирование потребления как на ценообразование, так и на работу энергосистемы. В настоящее время одним из самых важных бизнес-процессов в энергосбытовой организации является прогнозирование энергопотребления. Эту задачу можно выполнить, составив математическую модель процесса. Обработав источники информации о прогнозировании процесса во всех энергосбытовых организациях, анализ рынка показал отсутствие подходящих методик и программ, которыми могли бы пользоваться энергосбытовые организации. Данный процесс реализуется ручным способом и во многом ориентируется на интуицию расчётчиков, не учитывая внешние факторы, влияющие на потребление. Работники опираются только на фактические данные за последний год, что увеличивает неточность и трудозатраты на реализацию данного процесса. У каждой группы потребителей свой тариф и потребление планируется отдельно. У расчётчиков не остаётся достаточного времени на качественный анализ потребления. Для составления математической модели при решении задачи исследования в своей работе мы рассмотрели и применили методы анализа статистических данных (описательная статистика, параметрическая корреляция). Это нам позволило оценить дисперсию каждого параметра, его математическое ожидание и другие параметры, определить взаимосвязь между всеми исследуемыми параметрами.*

**Ключевые слова:** планирование энергопотребления; нерегулируемые тарифы; статистические данные; обработка статистических данных; анализ статистических данных; коэффициенты корреляции; описательная статистика; нормальное распределение.

## Processing statistical data on electricity consumption as a stage of mathematical modeling of the process

A.V. Bets<sup>а</sup>, T.A. Grigorieva<sup>б</sup>

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> nastya-chupina@mail.ru, <sup>б</sup> umubrgu@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0003-3297-1805>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5361-6832>

Received 18.12.2025, accepted 04.02.2026

*Electricity is one of the main types of energy. In modern conditions of a market economy, the issue of lowering the price of consumed electricity is particularly acute for legal entities. To solve this problem, the structure of electricity costs has been reviewed. This structure has revealed that the correct forecasting and planning of electricity consumption has a great impact on both pricing and the operation of the energy system. Currently, one of the most important business processes in an energy marketing organization is forecasting electricity consumption. This task can be accomplished by creating a mathematical model of the process. Having processed the sources of information on forecasting energy consumption in all energy marketing organizations, market analysis showed the lack of suitable methods and programs that could be used by energy marketing organizations. This process is implemented manually and is largely guided by the intuition of the calculators, without taking into account external factors affecting electricity consumption. Workers rely only on the actual electricity consumption over the past year, which increases the inaccuracy and labor costs of implementing this process, because each group of consumers has its own tariff and consumption is planned separately. The calculators do not have enough time for a qualitative analysis of consumption. To create a mathematical model, when solving the research problem, the work considers and applies methods for analyzing statistical data (descriptive statistics, parametric correlation). This allows one to estimate the variance of each parameter, its mathematical expectation and other parameters, and determine the relationship between all the parameters under study.*

**Keywords:** energy consumption planning; unregulated tariffs; statistical data; statistical data processing; statistical data analysis; correlation coefficients; descriptive statistics; normal distribution.

**Введение.** Одним из самых важных бизнес-процессов в энергосбытовой организации является прогнозирование. Энергосбытовая организация каждый месяц планирует потребление электроэнергии на будущий месяц.

Закупка на оптовом рынке происходит до фактического потребления электроэнергии. Следовательно, конечная цена для потребителей зависит от точного прогнозирования.

Главная проблема прогнозирования заключается в том, что данный процесс реализуется ручным способом и во многом ориентируется на интуицию работников. При таком прогнозировании не учитываются внешние влияющие факторы и отсутствует качественный анализ потребления. Нуждаются в процессе прогнозирования электропотребления не только энергосбытовые организации, но и абсолютно все участники, которые пользуются электроэнергией и работают с ней.

Планирование электроэнергии – это комплексный процесс управления, который включает в себя: прогнозирование электроэнергии энергосбытовыми организациями либо потребителями электроэнергии, управление генерацией, техническое обслуживание причастного к процессу оборудования [1].

Цель точного планирования электроэнергии – обеспечить экономически эффективное и надёжное снабжение потребителей электрической энергией, учитывая множество внешних факторов, таких как характеристики оборудования, климатические условия, спрос на электроэнергию и т. д. [2].

Задача исследования – оценить статические данные энергопотребления с целью дальнейшего построения математической модели.

Новизна исследования заключается в разработке методов оптимального управления прогнозированием электропотребления на основе обработки статистических данных.

**Структура затрат на электроэнергию.** Рассмотрим распределение обязанностей почасового планирования энергопотребления, которое зависит от выбранной потребителем ценовой категории, представленное в табл. 1.

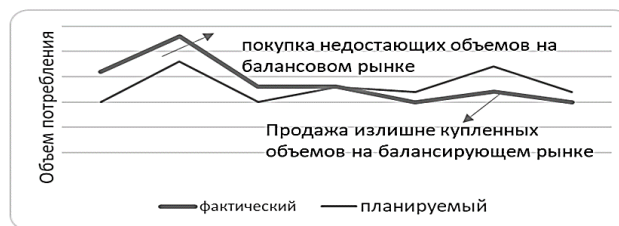
**Таблица 1.** Связь ценовой категории и обязанностей планирования электропотребления

Ценовая категория	Коммерческий учёт	Почасовое планирование
1	Интегральный (за месяц)	нет
2	Зонный (по зонам суток за месяц)	
3	Интегральный (за час)	
4		
5		
6		да

Из таблицы видно, что учёт может быть по месяцам, по зонам суток, почасовым и называется режимом потребления. Чем больше объём потребления, тем сложнее ведётся учёт потребления. Потребителю выгоднее и эффективнее прогнозировать электропотребление на каждый час при условии, что выполняется следующее неравенство: из суммы затрат при почасовом режиме прогнозирования электропотребления вычитается сумма затрат при интегральном режиме прогнозирования электропотребления. Эта разность должна быть больше суммы оплаты трудозатрат на организацию планирования электропотребления. Таким образом, с увеличением ценовой категории, увеличиваются трудозатраты по прогнозированию электроэнергии, что даёт возможность выгоднее приобрести потребляемую электроэнергию [3].

Решение по целесообразности более точного режима прогнозирования электропотребления выполняет потребитель. В случае, когда потребители не предоставляют прогноз потребления, энергосбытовая организация осуществляет планирование самостоятельно. Планирование в таком случае является неточным, т. к. организации могут опираться только на информацию о предыдущих потреблении. Работники энергосбытовых организаций не могут предсказать изменение режима работы предприятия, будет ли загружено всё оборудование, влияние погодных условий, будет ли сокращение производства и т. д. [4, 5].

Усложняет процесс прогнозирования электропотребления энергосбытовыми организациями влияние в разной степени внешних факторов на каждую группу потребителей электроэнергии. Таким примером могут быть некоторые дачные кооперативы, непригодные к проживанию в зимнее время года, не использующие электроэнергию [6, 7]. В настоящее время процесс прогнозирования в энергосбытовых организациях проводится не автоматизировано, что влияет на точность прогнозирования. Влияние неточного прогнозирования электропотребления энергосбытовыми организациями на ценообразование отображено на рис. 1.



**Рис. 1.** План действия энергосбытовой организации при неточном прогнозировании электропотребления.

Рассмотрим разные ситуации планирования электроэнергии, основываясь на данный график.

1. Если фактическое и планируемое потребление совпадает, то для потребителя будет конечная цена минимальна.

2. Если фактическое потребление выше планируемого, то энергосбытовыми организациями приходится докупать недостающие объёмы электроэнергии по завышенным ценам.

3. Если фактическое потребление ниже планируемого, то энергосбытовыми организациями приходится продавать излишние объёмы электроэнергии, что не всегда реализуется.

Все вышеперечисленные влияния неточного прогнозирования приводят к отрицательным последствиям, сокращают срок службы оборудования. На основании прогнозирования электропотребления рассчитывают определённую нагрузку электрооборудования. Неверно принятое решение повышает износ в сетях, происходят избыточные потери мощности, перегрев.

Самыми опасными последствиями могут быть аварийные ситуации, отключение линий и трансформаторов [8, 9].

Риск аварий обусловлен недооценкой нагрузки и ведёт к перегреву оборудования. Ошибки в прогнозе вы-

зывают отклонения напряжения от нормы. Следовательно, может выходить из строя чувствительное оборудование. При постоянной работе сетей на пределе из-за недооценённой нагрузки ускоряется износ инфраструктуры. Также неточный прогноз мешает оптимальному планированию графиков ремонта и технического обслуживания.

Рассмотрим, как происходит планирование «вручную» в энергосбытовых организациях на данный момент. Предложим программы автоматизации данного процесса (рис. 2).

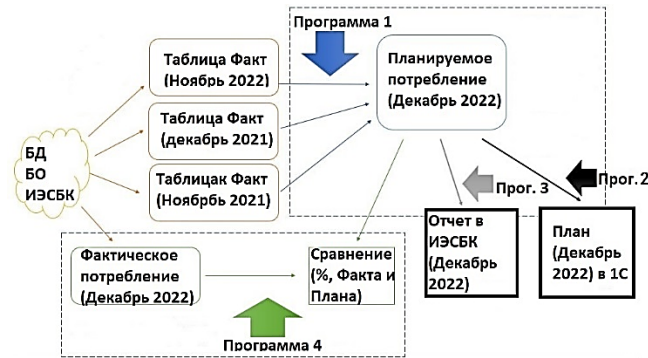


Рис. 2. Процесс прогнозирования электропотребления и программа по автоматизации

Процесс планирования электропотребления заключается в следующем:

1. Из архива данных (БД БО ИЭСБК) выгружаются имеющиеся исходные данные (фактическое потребление за прошлые месяцы) для прогнозирования. Рассматриваются только 3 месяца потребления, остальные месяцы учитывать нецелесообразно. В основном ориентация идёт на данные аналогичного месяца прошлого года. Данный процесс мы не можем автоматизировать.

2. На основании данных пункта 1, работниками энергосбытовой организации вручную составляется таблица потребления и сортируется по группам бизнес-плана (бюджетные потребители, садоводы, котельные и т. д.). «Программа 3», отображаемая на рисунке, позволяет автоматизировать данный процесс.

3. В «Программе 1» строится плановое потребление, которое включает в себя сортировку по группам бизнес-плана и ценовым категориям. Ведётся расчёт процентного соотношения и загружается в 1С «Программа 2»

**Обработка статистических данных.** Для систематизации, анализа и интерпретации числовой информации используем обработку статистических данных, превращающую некоторые данные в полезную информацию и выводы, которые выявляют закономерности, тенденции. Следовательно, обработка статистических данных имеет большое значение для энергосбытовой организации, которое заключается в оптимизации рабочих процессов, повышении эффективности и производительности. На основе такой обработки сотрудники энергосбытовой организации принимают обоснованные решения, используя фактические данные [10].

Для обработки первостепенно необходимо собрать данные и систематизировать их (рис. 3). Для этого используем интегральный статистический пакет STADIA 8.0 (Statistical Dialogue System) и дальнейшие расчёты будем проводить в нём. Он является специализированным инструментом для анализа и обработки данных, аналитики и работы с ними.

	x1	x2	x3	x4	x5
1	166878394	-17.59	5809	1.79	1075847
2	163756926	-17.51	5765	1.92	1834191
3	146389864	-8.91	5458	1.88	996722
4	109562912	2.57	5682	1.74	655022
5	90037751	11.81	5440	1.76	646922
6	73066259	16.47	5333	1.80	590730
7	66980269	17.16	5277	1.80	588201
8	71606541	12.86	5345	1.76	577421
9	88767513	6.97	5590	1.76	645528
10	91888300	0.77	5449	1.81	638438
11	102787627	-9.75	5514	1.88	642827
12	123703770	-18.67	5748	2.01	680844
13	141545780	-20.75	6020	1.88	658214
14	130409635	-14.66	5951	2.03	693093
15	118937195	-4.54	5586	2.16	699363
16	119235434	-2.02	5835	2.15	689649
17	103573398	7.22	5645	2.17	681265
18	82198446	14.34	5530	2.19	656406
19	78176064	18.88	5539	2.14	637106
20	87721850	18.42	5576	1.85	641063

Рис. 3. Статистические данные в пакете STADIA 8.0

Опишем исходные данные, представленные на рис. 3:

1. Основной показатель  $x_1$  – потребление электроэнергии, кВт · ч.
2. Влияние на потребление электроэнергии оказывает время года, тогда  $x_2$  – среднемесячная температура воздуха, °С.
3. На потребление влияет количество подключённых потребителей. У каждого потребителя может быть несколько точек учёта, которые регулируются счётчиками учёта.  $x_3$  – точки учёта, шт.
4. Предполагаем, что стоимость электроэнергии влияет на потребление и её экономию потребителями.  $x_4$  – средняя цена (без НДС), руб.
5. То, какая мощность используется потребителями, также может влиять на потребление.  $x_5$  – максимальная мощность, кВт.

Выбранный период: январь 2022 г. – август 2023 г.  
В данной статье мы используем не все методы и подходы для анализа статистических данных, а лишь некоторые из основных, выбранные в зависимости от цели и характера конкретных исходных данных [11–12].

**Описательная статистика.** Описательная статистика позволит понять общую структуру рассматриваемых данных [13–14].

С помощью описательной статистики в программе STADIA 8.0 вычислены основные выборочные характеристики для каждой переменной (рис. 4). Мы видим, что стандартное отклонение относительно невелико, а значит большинство значений находятся близко к среднему значению, также нет выбросов – значений, значительно отличающихся от остальных.

## Результаты

## ОПИСАТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА. файл:

Переменная	Размер	<---Диапазон--->		Среднее	Ошибка	Дисперс	Ст.откл	Сумма
x1	20	6,698E7	1,669E8	1,079E8	6,76E6	9,139E14	3,023E7	2,157E9
x2	20	-20,75	18,88	0,6535	3,112	193,7	13,92	13,07
x3	20	5277	6020	5605	45,37	4,116E4	202,9	1,121E5
x4	20	1,74	2,19	1,924	0,03594	0,02584	0,1607	38,48
x5	20	5,774E5	1,834E6	7,464E5	6,364E4	8,099E10	2,846E5	1,493E7

Переменная	Медиана	<--Квартили-->		ДовИнтСр.	<--ДовИнтДисп-->		Ош.СтОткл
x1	1,032E8	8,358E7	1,287E8	1,398E7	5,285E14	1,95E15	1,214E7
x2	1,67	-13,43	13,97	6,437	112	413,2	5,587
x3	5581	5451	5761	93,83	2,38E4	8,781E4	81,45
x4	1,88	1,792	2,112	0,07433	0,01494	0,05511	0,06453
x5	6,557E5	6,391E5	6,922E5	1,316E5	4,684E10	1,728E11	1,142E5

Переменная	Асимметр.	Значим	Экссесс	Значим
x1	0,5231	0,1343	2,215	0,2561
x2	-0,1683	0,3609	1,577	0,06746
x3	0,3626	0,2216	2,396	0,3378
x4	0,5523	0,1214	1,748	0,1021
x5	3,0833	6,57E-11	11,98	0

Рис. 4. Результаты описательной статистики для каждой переменной

**Построение гистограмм и проверка распределения на нормальность.** Построили гистограммы и проверили распределения на нормальность (рис. 5).

## ГИСТОГРАММА И ТЕСТ НОРМАЛЬНОСТИ. файл:

Переменная: x1

X-лев.	X-станд	Частота	%	Накопл.	%
6,698E7	-1,352	5	25	5	25
8,696E7	-0,6914	6	30	11	55
1,069E8	-0,03049	4	20	15	75
1,269E8	0,6304	3	15	18	90
1,469E8	1,291	2	10	20	100
1,669E8	1,952				

Колмогоров=0,1514, Значимость=0,3767, степ.своб = 20  
 Гипотеза 0: <Распределение не отличается от нормального>  
 Омега-квадрат=0,05323, Значимость=0,4659, степ.своб = 20  
 Гипотеза 0: <Распределение не отличается от нормального>  
 Хи-квадрат=2,728, Значимость=0,2556, степ.своб = 2  
 Гипотеза 0: <Распределение не отличается от нормального>

Рис. 5. Тест нормальности для переменной x1 (потребление)

По полученным данным можно сделать вывод, что выборка данных достаточно представительна, распределение данных не имеет статистически значимых отклонений от нормального, не отличается от генеральной совокупности по своему распределению. Следовательно, можно использовать параметрические методы анализа данных [15, 16].

Представим выборочное распределение переменной «потребление электроэнергии», выбрав часто употребляемую форму представления – гистограмму (рис. 6) [17]. Для этого диапазон изменения выборочных значений разбили на некоторое число равных интервалов и подсчитали число значений, попадающих в каждый интервал. Число выбранных диапазонов равно 5, что отобра-

жает число столбцов. Высота каждого столбца указывает на частоту появления значений параметров в выбранном диапазоне.

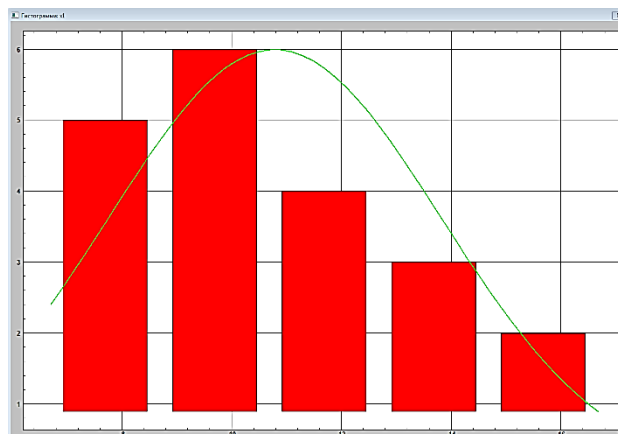


Рис. 6. Гистограмма и кривая нормальности для x1 (потребление электроэнергии)

Аналогичным образом были построены гистограммы и найдены тесты нормальности для остальных переменных. Сравнивая гистограмму распределения данных с кривой нормального распределения, можно сделать вывод, что данные соответствуют нормальному распределению. Для вычисления значений функции вероятности наиболее употребительных в практике дискретных и непрерывных распределений, используем вычисление вероятностей каждого показателя.

Вычисление вероятностей для показателя «потребление электроэнергии» представлено на рис. 7.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. файл:  
 Распределение нормальное:0,7,10

Среднее=0,7, Дисперсия=100, Ст. отклонение=10

x1	x2	F(x1)	F(x2)	F(x1)-F(x2)
1	6,698E7	0,512	1	0,488
2	7,161E7	0,5517	1	0,4483
3	7,307E7	0,591	1	0,409
4	7,818E7	0,6293	1	0,3707
5	8,22E8	0,6664	1	0,3336
6	8,772E7	0,7019	1	0,2981
7	8,877E7	0,7356	1	0,2644
8	9,004E7	0,7673	1	0,2327
9	9,189E7	0,7967	1	0,2033
10	1,028E8	0,8238	1	0,1762
11	1,036E8	0,8485	1	0,1515
12	1,096E8	0,8708	1	0,1292
13	1,189E8	0,8907	1	0,1093
14	1,192E8	0,9083	1	0,0917
15	1,237E8	0,9236	1	0,0763
16	1,304E8	0,937	1	0,063
17	1,415E8	0,9485	1	0,0515
18	1,464E8	0,9582	1	0,0418
19	1,638E8	0,9664	1	0,0336
20	1,669E8	0,9732	1	0,0268

Рис. 7. Вычисление вероятностей для x1 (потребление электроэнергии)

Результаты: Дисперсия = 100, ст. отклонение = 10.

Следовательно, данные имеют большой разброс вокруг среднего значения выбранного показателя.

Аналогичным образом было проведено вычисление вероятностей для остальных переменных. Представили графически соответствие между возможными значениями

и их вероятностями – законом распределения дискретной случайной величины. Графики представлены на рис. 8. Аналогичным образом были построены графики для остальных переменных.

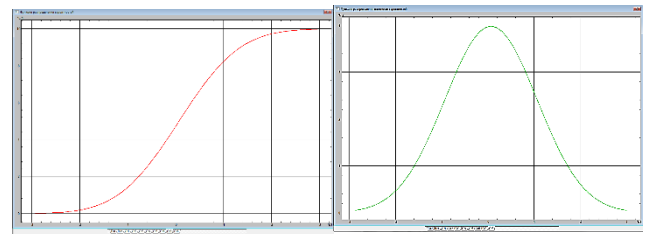


Рис. 8. График функции вероятности и плотности нормального распределения для x1 (потребление электроэнергии)

**Параметрическая корреляция.** Необходимо оценить линейные связи между всеми количественными параметрами. Используем статистический метод, который опирается на предположение, что данные имеют нормальное распределение – параметрическую корреляцию [18]. Проведём расчёт парных коэффициентов корреляции. Корреляционная связь между изучаемыми переменными представлена на рис. 9. По корреляционной матрице можно сделать выводы по всем возможным парам корреляций параметров.

Результаты				
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ. файл:				
Корреляционная матрица				
	x1	x2	x3	x4
x2	-0,8921			
x3	0,7267	-0,7253		
x4	0,086	-0,05036	0,3045	
x5	0,7052	-0,4958	0,2895	-0,01548

Критическое значение с учетом поправки Бонферрони на множественные сравнения=0,6032  
 Число значимых коэффициентов=4 (40%)  
 Критическое значение без поправки Бонферрони=0,3216

Рис. 9. Расчёт парных коэффициентов корреляции

Таблица 2. Результаты расчёта парных коэффициентов корреляции

Переменные в столбцах корреляционной матрицы	Переменные в строках корреляционной матрицы	Коэффициент корреляции	Описание связи
x1 (потребление электроэнергии)	x2 (средняя температура)	-0,8921	сильная (тесная), отрицательная
	x3 (точки учёта)	0,7267	сильная (тесная), положительная
	x4 (средняя цена)	0,086	очень слабая, положительная
	x5 (макс. мощность)	0,7052	сильная (тесная), положительная
x2 (средняя температура)	x3 (точки учёта)	-0,7253	сильная (тесная) отрицательная
	x4 (средняя цена)	-0,05036	очень слабая, отрицательная
	x5 (макс. мощность)	-0,4958	средняя, отрицательная
x3 (точки учёта)	x4 (средняя цена)	0,3045	умеренная, положительная
	x5 (макс. мощность)	0,2895	слабая, положительная
x4 (средняя цена)	x5 (макс. мощность)	-0,01548	очень слабая, отрицательная

Для сравнения дисперсий двух выборок использовал Критерий Фишера (F-критерий), а для сравнения средних значений используем критерий Стьюдента (t-критерий) [19]. Был проведён расчёт для переменных x1–x5 попарно. Результаты представлены на рис. 10–11. По результатам можно сделать следующие выводы:

между переменными x2 (средняя температура) и x4 (средняя цена) нет различий между выборочными средними. Значение коэффициента по Стьюденту для парных данных равно 0,408, значимость – 0,69. Есть различия между выборочными средними во всех остальных случаях.

Результаты	Результаты
<p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x1,x2</p> <p>Статистика Фишера=4,718E12, Значимость=1,019E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента = 15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=1,079E8, доверит.интервал=0,8744</p> <p>Стьюдент для парных данных=15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x1, x3</p> <p>Статистика Фишера=2,22E10, Значимость=1,024E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента = 15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=1,079E8, доверит.интервал=0,8746</p> <p>Стьюдент для парных данных=15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x1, x4</p> <p>Статистика Фишера =3,537E16, Значимость=1,018E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=1,079E8, доверит.интервал=0,8744</p> <p>Стьюдент для парных данных=15,96, Значимость=1,294E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x1,x5</p> <p>Статистика Фишера =1,128E4, Значимость=2,065E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=15,85, Значимость=1,334E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=1,071E8, доверит.интервал=0,9021</p> <p>Стьюдент для парных данных=15,95, Значимость=1,295E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p>	<p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x2, x3</p> <p>Статистика Фишера =0,004706, Значимость=1,971E-8, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=123,2, Значимость=2,095E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=5604, доверит.интервал=9,528E-8</p> <p>Стьюдент для парных данных=117,6, Значимость=2,161E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x2, x4</p> <p>Статистика Фишера =7498, Значимость=2,301E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=0,4082, Значимость=0,6898, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Нет различий между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=1,271, доверит.интервал=2,147</p> <p>Стьюдент для парных данных=0,408, Значимость=0,69, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Нет различий между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x2, x5</p> <p>Статистика Фишера =2,392E-9, Значимость=1,039E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=11,73, Значимость=5,993E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=7,464E5, доверит.интервал=0,03814</p> <p>Стьюдент для парных данных=11,73, Значимость=5,994E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x3, x4</p> <p>Статистика Фишера =1,593E6, Значимость=1,161E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=123,5, Значимость=2,093E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p> <p>Разность средних=5603, доверит.интервал=9,493E-8</p> <p>Стьюдент для парных данных=123,5, Значимость=2,092E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между выборочными средними&gt;</p>

Рис. 10. Расчёт коэффициентов Фишера и Стьюдента

Результаты	Результаты
<p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x2, x5</p> <p>Статистика Фишера=2,392E-9, Значимость=1,039E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=11,73, Значимость=5,993E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>Разность средних=7,464E5, доверит.интервал=0,03814</p> <p>Стьюдент для парных данных=11,73, Значимость=5,994E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x3, x4</p> <p>Статистика Фишера=1,593E6, Значимость=1,161E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=123,5, Значимость=2,093E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>Разность средних=5603, доверит.интервал=9,493E-8</p> <p>Стьюдент для парных данных=123,5, Значимость=2,093E-9, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p>	<p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x3, x5</p> <p>Статистика Фишера=5,082E-7, Значимость=1,151E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=11,64, Значимость=6,249E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>Разность средних=7,408E5, доверит.интервал=0,03976</p> <p>Стьюдент для парных данных=11,64, Значимость=6,249E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>КРИТЕРИЙ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА. Файл: Переменные: x4, x5</p> <p>Статистика Фишера=3,19E-13, Значимость=1,019E-9, степ.своб = 19,19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между дисперсиями&gt;</p> <p>Статистика Стьюдента=11,73, Значимость=5,993E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p> <p>Разность средних=7,464E5, доверит.интервал=0,03814</p> <p>Стьюдент для парных данных=11,73, Значимость=5,993E-7, степ.своб = 19 Гипотеза I: &lt;Есть различия между средними&gt;</p>

Рис. 11. Расчёт коэффициентов Фишера и Стьюдента (продолжение)

Необходимо также сравнить наблюдаемые данные с ожидаемыми и определить, насколько велики различия между ними. Использовали критерий хи-квадрат [20]. Результаты представлены на рис. 12–13.

При расчёте критерия хи-квадрат для переменных  $x_1$ – $x_5$  попарно для эмпирического согласия выявлено,

что для переменных  $x_4$  (средняя цена) и  $x_5$  (максимальная мощность),  $x_3$  (точки учёта) и  $x_4$  (средняя цена),  $x_1$  (потребление) и  $x_4$  (средняя цена) нет различий между двумя распределениями (значимость 1). Есть различия между двумя распределениями во всех остальных случаях.



**Заключение.** Точное прогнозирование электропотребления играет важную роль во многих производственных процессах, как для энергосбытовых организаций, так и для абсолютно всех участников, которые пользуются электроэнергией и работают с ней.

В работе выявлены процессы в прогнозировании электропотребления, которые необходимо автоматизировать. Для более точного прогнозирования объёмов потребления дальнейшие исследования должны быть посвящены математическому моделированию процесса. Для составления математической модели были

рассмотрены методы анализа статистических данных – описательная статистика, параметрическая корреляция. Это позволило оценить дисперсию каждого параметра, его математическое ожидание и другие параметры, определить взаимосвязь между всеми исследуемыми параметрами.

Следующие исследования необходимо направить на изучение математической модели и ее применение с целью повышения точности прогнозирования электропотребления.

#### Литература

1. Лаборатория системного анализа. Системный анализ. Планирование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://systems-analysis.ru/planning.html> (дата обращения: 15.07.2025).
2. Хомутов С.О., Хамитов Р.Н., Грицай А.С., Серебряков Н.А. Методика формирования обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления гарантирующего поставщика // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 227–233.
3. Консультант плюс. // Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35-ФЗ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 15.07.2025).
4. Analysis of user electricity consumption behavior based on density peak clustering with shared neighbors and attractiveness / Q. Li, G. Wang, Y. Zhang, Q. Yang // Concurrency and Computation: Practice & Experience. – 2023. – Vol. 35. – No 3. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpe.7518>
5. Ушаков В.Я., Рахронов И.У., Жалилова Д.А. Прогнозирование электропотребления текстильными предприятиями на основе метода главных компонент // Проблемы науки. – 2022. – Т. 5. – № 73. – С. 22–26.
6. Alfonso González-Briones, Sigeru Omatu, Mohd Saberi Mohamad. Machine Learning Models for Electricity Consumption Forecasting: A Review // 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), IEEE, Riyadh, Saudi Arabia, 2019. 18851034. DOI: 10.1109/CAIS.2019.8769508
7. Prediction of energy consumption and evaluation of affecting factors in a full-scale WWTP using a machine learning approach / Faramarz Bagherzadeh, Amirreza Shojaei Nouri, Mohamad-Javad Mehrani, Suresh Thennadil // Process Safety and Environmental Protection. 2021. V. 154. P. 458–466.
8. Полюянович Н.К., Дубяго М.Н. Оценка воздействующих факторов и прогнозирование электропотребления в региональной энергосистеме с учётом режима ее эксплуатации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 2. С. 31–46.
9. Energy saving in metro ventilation system based on multi-factor analysis and air characteristics of piston vent / Deqiang He, Xiaoliang Teng, Yanjun Chen, Bin Liu, Heliang Wang, Xianwang Li, Rui Ma // Applied Energy. 2022. V. 307. 118295.
10. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i.automationlab.ru/ftp/cbook.pdf> (дата обращения: 15.07.2025).
11. Григорьева Т.А., Бец А.В., Обработка статистических данных // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки 2024. Т. 1. С. 11–14.
12. Бец А.В., Григорьева Т.А., Прогнозирование и планирование потребления электроэнергии энергосбытовыми организациями // Бутаковские чтения. Сборник статей III Всероссийской с международным участием молодёжной конференции. 2023. С. 145–147
13. Моргоева А.Д., Моргоев И.Д., Клюев Р.В., Гаврина О.А. Прогнозирование потребления электрической энергии промышленным предприятием с помощью методов машинного обучения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 7. С. 115–125
14. Мохов В.Г., Демьяненко Т.С. Определение значимых факторов при прогнозировании объёма потребления электроэнергии по объединенной энергосистеме Урала на основе регрессионного анализа // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2017. Т. 16. № 4. С. 642–662.
15. Multi-dimensional analysis of air-conditioning energy use for energy-saving management in university teaching buildings / Xinyue Li, Shuqin Chen, Hongliang Li, Yunxiao Lou, Jiahe Li // Building and Environment. 2020. V. 185. 107246.
16. Estimation of energy consumption in machine learning / E. García-Martín, C. Faviola Rodrigues, G. Riley, H. Grahn // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2019. V. 134. P. 75–88.
17. Ghoddsi H., Creamer G.G., Rafizadeh N. Machine learning in energy economics and finance: a review // Energy Economics. 2019. V. 81. P. 709–727.
18. Shintaro Ikeda, Tatsuo Nagai. A novel optimization method combining metaheuristics and machine learning for daily optimal operations in building energy and storage systems // Applied Energy. 2021. V. 289. 116716.
19. Моргоев И.Д., Дзгоев А.Э., Клюев Р.В. и др. Современные способы борьбы с коммерческими потерями в электроэнергетике // Энергетика будущего – цифровая трансформация: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции. ЛГТУ : Липецк, 2021. С. 181–185.
20. И.У. Рахронов, В.Я. Ушаков, А.М. Нажимова, К.К. Обидов, С.Р. Сулейманов Математическое моделирование минимизации расходов электроэнергии промышленными предприятиями с непрерывным характером производства // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – No 4. – С. 43–51.

#### References

1. Laboratory of system analysis. System analysis. Planning. [electronic resource]. Access mode: <https://systems-analysis.ru/planning.html> (date of request: 07/15/2025).
2. Khomutov S.O., Khamitov, R.N., Gritsai A.S., Serebryakov N. A. Method of forming a training sample in the tasks of short-term forecasting of electricity consumption of a guaranteeing supplier // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2021. No. 2, p. 227–233.
3. Consultant plus. // Federal Law "On Electric Power Engineering" dated 03/26/2003 N 35-FZ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) / (date of access: 07/15/2025).

4. Analysis of user electricity consumption behavior based on density peak clustering with shared neighbors and attractiveness / Q. Li, G. Wang, Y. Zhang, Q. Yang // *Concurrency and Computation: Practice & Experience*. 2023. Vol. 35. No 3. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpe.7518>
5. Ushakov V.Ya., Rakhmonov I.U., Zhalilova D.A. Forecasting of electricity consumption by textile enterprises based on the method of main components // *Problems of Science*. 2022. – Vol. 5. No. 73. p. 22–26.
6. Alfonso González-Briones, Sigeru Omatu, Mohd Saberi Mohamad. Machine Learning Models for Electricity Consumption Forecasting: A Review // 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), IEEE. Riyadh, Saudi Arabia, 2019. 18851034. DOI: 10.1109/CAIS.2019.8769508
7. Prediction of energy consumption and evaluation of affecting factors in a full-scale WWTP using a machine learning approach / Faramarz Bagherzadeh, Amirreza Shojaei Nouri, Mohammad-Javad Mehrani, Suresh Thennadil // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. V. 154. P. 458–466.
8. Poluyanovich N.K., Dubyago M.N. Assessment of influencing factors and forecasting of electricity consumption in the regional energy system, taking into account its operating mode // *Izvestiya SFU. Technical sciences*. 2022. No. 2. p. 31–46.
9. Energy saving in metro ventilation system based on multi-factor analysis and air characteristics of piston vent / Deqiang He, Xiaoliang Teng, Yanjun Chen, Bin Liu, Heliang Wang, Xianwang Li, Rui Ma // *Applied Energy*. 2022. V. 307. 118295.
10. Statistical data processing in educational and research works [Electronic resource]. – URL: <http://i.automationlab.ru/ftp/cbook.pdf> (date of request: 07/15/2025).
11. Grigorieva T.A., Betz A.V., Statistical data processing // *Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences 2024*. Vol. 1. pp. 11–14
12. Betz A.V., Grigorieva T.A., Forecasting and planning of electricity consumption by energy marketing organizations // Butakov readings. Collection of articles of the III All-Russian Youth Conference with international participation. 2023 pp. 145–147
13. Morgoeva A.D., Morgoev I.D., Klyuev R.V., Gavrina O.A. Forecasting electric energy consumption by an industrial enterprise using machine learning methods // *News of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2022. Vol. 333. No. 7. p. 115–125
14. Mokhov V.G., Demyanenko T.S. Determination of significant factors in forecasting the volume of electricity consumption in the united power system of the Urals based on regression analysis // *Bulletin of UrFU. Series: Economics and Management*. 2017. Vol. 16. No. 4. p. 642–662.
15. Multi-dimensional analysis of air-conditioning energy use for energy-saving management in university teaching buildings / Xinyue Li, Shuqin Chen, Hongliang Li, Yunxiao Lou, Jiahe Li // *Building and Environment*. 2020. V. 185. 107246.
16. Estimation of energy consumption in machine learning / E. García-Martín, C. Faviola Rodrigues, G. Riley, H. Grahn // *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2019. V. 134. P. 75–88.
17. Ghoddusi H., Creamer G.G., Rafizadeh N. Machine learning in energy economics and finance: a review // *Energy Economics*. 2019. V. 81. P. 709–727.
18. Shintaro Ikeda, Tatsuo Nagai. A novel optimization method combining metaheuristics and machine learning for daily optimal operations in building energy and storage systems // *Applied Energy*. 2021. V. 289. 116716.
19. Morgoev I.D., Dzgoev A.E., Klyuev R.V. and others. Modern ways to deal with commercial losses in the electric power industry // *Energy of the future – digital transformation: proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. LGTU : Lipetsk*, 2021. pp. 181–185.
20. Rakhmonov I.U., Ushakov V.Ya., Najdova A.M., Obidov K.K., Suleymanov S.R. Mathematical modeling of minimizing electricity costs by industrial enterprises with continuous production // *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Engineering of resources*. 2024. Vol. 335. No. 4. p. 43–51.