

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОРОДСКОГО РЕСУРСОСНАБЖАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Блохин

аспирант, старший преподаватель, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

А.С. Грицай

к.т.н., доцент, e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

В.И. Потапов

д.т.н., профессор, e-mail: ivt@omgtu.ru

О.П. Шафеева

к.т.н., доцент, e-mail: ivt_olga_pavlovna@mail.ru

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Аннотация. Целью исследования было проведение анализа факторов, влияющих на потребление электроэнергии коммунального предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод на основе данных почасового потребления электроэнергии на предприятии. Было проведено исследование при помощи статистических методов анализа данных. В результате работы была установлена степень взаимосвязи между различными исследуемыми параметрами, которые в той или иной мере влияют на поведение процессов, протекающих в энергосистеме предприятия. Исходя из результатов проведённого исследования, были выделены те параметры, которые имеют наибольшее влияние на потребление электроэнергии предприятия, с целью их последующего использования в построении модели прогнозирования потребления электроэнергии предприятия.

Ключевые слова: статистические методы, анализ данных, потребление электроэнергии на предприятии, факторы влияния.

1. Введение

В последнее время в стране и мире всё чаще поднимается вопрос рационального расходования различных энергоресурсов [1]. Помимо использования «зелёных» источников энергии, решить эту задачу может помочь обеспечение надёжной и эффективной работы существующих энергетических систем. Повысить надёжность и эффективность такой системы позволит прогнозирование поведения различных её участников. Прогнозирование потребления электроэнергии влияет на эффективность распределения выработки и последующего сбыта электрической энергии между участниками единой энергосистемы. Помимо этого, становится возможной оптимизация текущих и предстоящих режимов работы источников, генерирующих

электрическую энергию, и поддержка мощностного баланса в энергосистеме. Также данные прогнозы оказывают значительное влияние на обеспечение надёжной и отказоустойчивой подачи электроэнергии потребителям, модернизации существующей и развитие новой энергетической инфраструктуры. Однако прогнозирование может быть полезно не только с технической, но и с экономической точки зрения. К примеру, с его помощью становится возможным повышение экономической обоснованности операций продажи и покупки электроэнергии на Оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ) РФ [2, 3].

На протяжении второй половины XX в. потребление электрической энергии увеличилось более чем в 2 раза по сравнению с предшествующим периодом. Стоит отметить, что большая часть объёмов энергопотребления приходится на крупные промышленные предприятия и нежилые (коммерческие) объекты. На таких объектах энергетической системы обычно имеется устоявшаяся модель поведения производства, которую возможно использовать для расчётов повышения энергоэффективности.

Решение данной задачи состоит в построении точного прогноза потребления электроэнергии для отдельных субъектов оптового рынка электроэнергии. Для оптимизации потребления данных предприятий и разработки стратегии эффективного потребления необходимы инструменты точного прогноза, которые будут учитывать временные и метеорологические факторы [4].

В настоящее время в Российской Федерации действует ОРЭМ, который поделён на ценовые зоны. В каждой такой зоне функционируют различные типы электростанций: гидроэлектростанции, угольные тепловые электростанции, атомные, а также альтернативные – солнечные и ветроэлектростанции. Системный оператор формирует заявки на генерацию электрической энергии по часовым интервалам [5–7].

Исследование направлено на выявление зависимостей между потреблением электрической энергии объектом электроэнергетической системы, временными и метеорологическими факторами.

Объектом электроэнергетической системы в данном исследовании выступает коммунальное предприятие, которое занимается подачей питьевой воды и очисткой сточных вод. Проведение анализа факторов, влияющих на потребление электроэнергии городского предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод, является важным шагом в повышении энергоэффективности такого предприятия. Подобные предприятия являются крупными потребителями электроэнергии, поэтому они должны постоянно искать способы снижения затрат на энергопотребление. Каждое крупное предприятие производит планирование потребления электрической энергии на короткий или длинный периоды вперёд. Основываясь на этих планах, предприятия производят закупку электрической энергии на ОРЭМ. От того, насколько точным будет прогноз, зависят финансовые затраты предприятия [8–11]. Одним из способов снижения затрат на потребление электроэнергии является точный прогноз, который возможно провести, используя инструменты искусственного интеллекта. В данной статье проводится анализ факторов, влияющих на потребление электроэнергии городского предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод, на основе данных почасового

потребления электроэнергии предприятия за период с 2020 по 2022 г. В результате анализа можно будет выявить основные факторы, влияющие на потребление электроэнергии, которые впоследствии послужат для построения модели прогнозирования потребления электроэнергии на данном предприятии.

2. Формирование исходного массива данных

Исходный массив данных для анализа потребления электроэнергии городского предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод, был сформирован путём сбора данных почасового потребления электроэнергии предприятия приборами учёт электроэнергии, установленными на точках поставки (границах балансовой принадлежности электрических сетей), за период с 2020 по 2022 г.

На рассматриваемых точках поставки электроэнергии установлены трёхфазные, многофункциональные счётчики электроэнергии двух видов:

- ПСЧ-4ТМ.05;
- СЭТ-4ТМ.02.М.03.

Приборы учёта модели ПСЧ-4ТМ.05 производят измерение и многотарифный учёт активной и реактивной энергии в двух направления (в том числе и с учётом потерь), ведение массивов профиля мощности нагрузки с программируемым временем интегрирования (в том числе и с учётом потерь), фиксацию максимумов мощности, измерение параметров сети и параметров качества электроэнергии в трёхфазных трёхпроводных и четырёхпроводных сетях переменного тока и имеют основные характеристики [12], представленные в табл. 1.

Приборы учёта модели СЭТ-4ТМ.02.М.03 производят многотарифный учёт активной и реактивной энергии в двух направлениях (в том числе и с учётом потерь), ведение массивов профиля мощности нагрузки с программируемым временем интегрирования (в том числе и с учётом потерь), фиксацию максимумов мощности, измерение параметров трёхфазной сети и параметров качества электроэнергии и имеют основные характеристики, представленные в табл. 2.

Необходимо отметить, что ввиду отсутствия в ГОСТ 31819.23-2012 класса точности 0,5, пределы погрешностей при измерении реактивной энергии счётчиков класса точности 0,5 устанавливаются равными пределам соответствующих погрешностей счётчиков активной энергии класса точности 0,5 S по ГОСТ 31819.22-2012.

Данные были агрегированы с помощью автоматических систем учёта и мониторинга потребления электроэнергии на предприятии. Эти системы обеспечивают агрегацию данных почасового потребления электроэнергии, что позволяет получить более точную информацию о потреблении энергии на предприятии в различные периоды. Эти данные представлены в следующем виде:

- дата, время (в формате дд, мм, гггг, чч, мин, сек);
- мощность активная прямая, кВт/ч (общий расход предприятия);
- мощность активная обратная, кВт/ч (расход абонентов предприятия).

Таблица 1. Основные характеристики счётчика электроэнергии трёхфазного, многофункционального ПСЧ-4ТМ.05

Показатель		Величина
Класс точности при измерении энергии в прямом и обратном направлении	активной по ГОСТ 31819.22-2012	0,5S
	активной по ГОСТ 31819.21-2012	1,0
	реактивной по ГОСТ 31819.23-2012	1,0 или 2,0
Номинальный (максимальный) ток		1(2) А или 5(10) А
Базовый (максимальный) ток		5 (100) А
Номинальное значение напряжения		$3 \times (57,7-115)/(100-200)В$ или $3 \times (120-230)/(208-400)В$
Встроенные интерфейсы		оптопорт, RS-485
Сменные интерфейсные модули		PLC, GSM, Ethernet, RF, Wi-Fi
Протокол обмена с возможностью расширенной адресации		ModBus-подобный, СЭТ-4ТМ.02-совместимый протокол

Таблица 2. Основные характеристики счётчика электроэнергии трёхфазного, многофункционального СЭТ-4ТМ.02.М.03

Показатель		Величина
Класс точности при измерении энергии в прямом и обратном направлении	активной по ГОСТ 31819.22-2012	0,2S
	реактивной	0,5*
	реактивной по ГОСТ 31819.23-2012	1,0
Номинальный (максимальный) ток		1(2) А или 5(10) А
Базовый (максимальный) ток		5 (100) А
Номинальное значение напряжения		$3 \times (57,7-115)/(100-200)В$ или $3 \times (120-230)/(208-400)В$
Встроенные интерфейсы		оптопорт, RS-485
Протокол обмена с возможностью расширенной адресации		ModBus-подобный, СЭТ-4ТМ.02-совместимый протокол

Определение «чистого» потребления электроэнергии на предприятии для дальнейшего исследования было сделано согласно формуле:

$$W_{\text{потреб.предпр.}} = \frac{W_{\text{акт.прям.}} - W_{\text{акт.обр.}}}{1000},$$

где $W_{\text{потреб.предпр.}}$ – мощность, потребляемая предприятием на собственные нужды (МВт/ч); $W_{\text{акт.прям.}}$ – общая потребляемая мощность предприятия (кВт/ч); $W_{\text{акт.обр.}}$ – мощность, потребляемая абонентами предприятия (кВт/ч).

Для определения взаимосвязи между метеофакторами и потреблением электроэнергии были использованы данные исторического архива погоды из открытых источников [14]. Источником данных о погоде служит метеостанция, расположенная на территории г. Омска с координатами 55.0167, 73.3833. Полученный массив содержит следующие данные о погодных условиях:

- дата, время (в формате дд, мм, гггг, чч, мин, сек);
- температура (°C);
- точка росы (°C);
- относительная влажность (%);
- общее количество осадков (мм);
- глубина снежного покрова (мм);
- направление ветра (градусы);
- скорость ветра (км/с);
- пиковый порыв (м/с);
- давление воздуха (гПа);
- продолжительность солнечного дня (мин);
- код погодного условия.

В процессе сбора и обработки данных, основываясь на экспертных оценках, были учтены такие параметры, как мощность потребления электроэнергии на предприятии, время суток (час в сутках), день недели, день месяца, дата, сезонность, температура, влажность воздуха, общее количество осадков в сутках, скорость ветра и атмосферное давление. Результаты корреляционного анализа между выбранными параметрами можно увидеть на рис. 1.

Для обработки и анализа полученных данных были использованы различные статистические методы и программные инструменты, такие как Python, Excel и др. Эти методы и инструменты позволили провести детальный анализ данных, выявить основные факторы, влияющие на потребление электроэнергии.

Атрибут	Атмосферное давление, гПа	Потребление электроэнергии, МВт	Дата: день недели = 1	Дата: день недели = 2	Дата: день недели = 3	Дата: день недели = 4	Дата: день недели = 5	Дата: день недели = 6	Дата: день недели = 7	Дата: полгода = 1	Дата: полгода = 2	Дата: час	Дата: месяц квартала = 1	Дата: месяц квартала = 2	Дата: месяц квартала = 3	Дата: месяц года	Дата: квартал = 1	Дата: квартал = 2	Дата: квартал = 3	Дата: квартал = 4	Дата: год	Относительная влажность, %	Температура, С	Количество осадков, мм	Скорость ветра, км/ч	
Атмосферное давление, гПа	1,000	0,052	-0,068	-0,041	-0,064	0,015	-0,006	0,022	0,029	0,046	0,168	-0,168	-0,010	0,187	-0,064	-0,123	-0,139	0,228	-0,033	-0,357	0,164	0,010	0,053	-0,543	-0,118	-0,215
Потребление электроэнергии, МВт	0,052	1,000	-0,023	0,003	0,019	0,010	0,015	0,006	-0,023	-0,030	0,090	-0,090	0,465	0,058	-0,063	0,005	-0,072	0,089	0,015	-0,124	0,021	-0,008	-0,204	-0,069	-0,026	0,246
Дата: день недели = 1	-0,068	-0,023	1,000	0,021	-0,013	0,006	-0,002	-0,010	-0,003	0,002	-0,013	0,013	0,000	0,013	-0,016	0,003	0,012	-0,012	-0,003	0,008	0,008	-0,018	-0,004	0,008	-0,016	-0,030
Дата: день недели = 2	-0,041	0,003	0,021	1,000	-0,166	-0,166	-0,166	-0,166	-0,168	-0,166	0,003	-0,003	0,000	0,008	0,015	-0,023	-0,008	0,003	0,001	-0,002	-0,002	-0,004	-0,022	0,028	0,035	0,017
Дата: день недели = 3	-0,064	0,019	-0,013	-0,166	1,000	-0,166	-0,166	-0,166	-0,168	-0,166	0,003	-0,003	0,000	-0,025	0,032	-0,006	-0,001	0,003	0,001	-0,002	-0,002	-0,004	-0,009	0,016	0,003	0,040
Дата: день недели = 4	0,015	0,010	0,006	-0,166	-0,166	1,000	-0,166	-0,168	-0,166	-0,166	0,003	-0,003	0,000	-0,025	0,015	0,010	0,001	0,003	0,001	-0,002	-0,002	-0,004	0,021	-0,014	0,001	-0,014
Дата: день недели = 5	-0,006	0,015	-0,002	-0,166	-0,166	-0,166	1,000	-0,166	-0,168	-0,166	0,003	-0,003	0,000	-0,025	-0,018	0,044	0,006	0,003	0,001	-0,002	-0,002	-0,004	0,028	-0,009	-0,005	0,032
Дата: день недели = 6	0,022	0,006	-0,010	-0,166	-0,166	-0,166	-0,166	1,000	-0,168	-0,166	-0,012	0,012	0,000	0,008	-0,018	0,010	0,011	-0,015	0,001	0,016	-0,002	-0,004	0,023	-0,008	0,003	-0,046
Дата: день недели = 7	0,029	-0,023	-0,003	-0,168	-0,168	-0,168	-0,168	-0,168	1,000	-0,168	-0,005	0,005	0,001	0,035	-0,023	-0,012	0,001	-0,002	-0,004	-0,006	0,012	-0,004	-0,009	-0,019	-0,013	0,003
Дата: полгода = 1	0,046	-0,030	0,002	-0,166	-0,166	-0,166	-0,166	-0,166	-0,168	1,000	0,004	-0,004	-0,001	0,025	-0,002	-0,023	-0,010	0,004	0,000	-0,002	-0,002	0,026	-0,032	0,006	-0,024	-0,032
Дата: полгода = 2	0,168	0,090	-0,013	0,003	0,003	0,003	0,003	-0,012	-0,005	0,004	1,000	-1,000	0,000	0,000	0,006	0,006	-0,868	0,577	0,581	-0,576	-0,576	0,011	-0,184	-0,224	-0,038	0,146
Дата: час	-0,168	-0,090	0,013	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	0,012	0,005	-0,004	-1,000	1,000	0,000	0,000	0,006	-0,006	0,868	-0,577	-0,581	0,576	0,576	-0,011	0,184	0,224	0,038	-0,146
Дата: месяц квартала = 1	-0,010	0,465	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,018	-0,321	0,105	-0,026	0,204
Дата: месяц квартала = 2	0,187	0,058	0,013	0,008	-0,025	-0,025	-0,025	0,008	0,035	0,025	0,000	0,000	0,000	1,000	-0,499	-0,505	-0,210	0,009	-0,009	0,000	0,000	0,015	-0,043	-0,030	0,006	-0,004
Дата: месяц квартала = 3	-0,064	-0,063	-0,016	0,015	0,032	0,015	-0,018	-0,018	-0,023	-0,002	-0,006	0,006	0,000	-0,499	1,000	-0,496	0,010	-0,021	0,015	0,010	-0,003	-0,007	-0,060	0,059	-0,006	0,003
Дата: месяц года	-0,123	0,005	0,003	-0,023	-0,006	0,010	0,044	0,010	-0,012	-0,023	0,006	-0,006	0,000	-0,505	-0,496	1,000	0,200	0,012	-0,006	-0,010	0,003	-0,008	0,103	-0,029	0,000	0,001
Дата: квартал = 1	-0,139	-0,072	0,012	-0,008	-0,001	0,001	0,006	0,011	0,001	-0,010	-0,868	0,868	0,000	-0,210	0,010	0,200	1,000	-0,751	-0,255	0,246	0,751	-0,017	0,094	0,246	0,017	-0,100
Дата: квартал = 2	0,228	0,089	-0,012	0,003	0,003	0,003	0,003	-0,015	-0,002	0,004	0,577	-0,577	0,000	0,009	-0,021	0,012	-0,751	1,000	-0,330	-0,332	-0,332	0,019	0,273	-0,655	-0,018	0,084
Дата: квартал = 3	-0,033	0,015	-0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	-0,004	0,000	0,581	-0,581	0,000	-0,009	0,015	-0,006	-0,255	-0,330	1,000	-0,334	-0,334	-0,006	-0,485	0,393	-0,025	0,086
Дата: квартал = 4	-0,357	-0,124	0,008	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,016	-0,006	-0,002	-0,576	0,576	0,000	0,000	0,010	-0,010	0,246	-0,332	-0,334	1,000	-0,337	-0,006	-0,042	0,515	0,057	-0,153
Дата: год	0,164	0,021	0,008	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,012	-0,002	-0,576	0,576	0,000	0,000	-0,003	0,003	0,753	-0,332	-0,334	-0,337	1,000	-0,006	0,254	-0,257	-0,014	-0,015
Дата: год	0,010	-0,008	-0,018	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	0,026	0,011	-0,011	-0,018	0,015	-0,007	-0,008	-0,017	0,019	-0,006	-0,006	-0,006	1,000	0,006	-0,014	-0,001	-0,011
Относительная влажность, %	0,053	-0,204	-0,004	-0,022	-0,009	0,021	0,028	0,023	-0,009	-0,032	-0,184	0,184	-0,321	-0,043	-0,060	0,103	0,094	0,273	-0,485	-0,042	0,254	0,006	1,000	-0,518	0,107	-0,170
Температура, С	-0,543	-0,069	0,008	0,028	0,016	-0,014	-0,009	-0,008	-0,019	0,006	-0,224	0,224	0,105	-0,030	0,059	-0,029	0,246	-0,655	0,393	0,515	-0,257	-0,014	-0,518	1,000	0,034	0,014
Количество осадков, мм	-0,118	-0,026	-0,016	0,035	0,003	0,001	-0,005	0,003	-0,013	-0,024	-0,038	0,038	-0,026	0,006	-0,006	0,000	0,017	-0,018	-0,025	0,057	-0,014	-0,001	0,107	0,034	1,000	0,060
Скорость ветра, км/ч	-0,215	0,246	-0,030	0,017	0,040	-0,014	0,032	-0,046	0,003	-0,032	0,146	-0,146	0,204	-0,004	0,003	0,001	-0,100	0,084	0,086	-0,153	-0,015	-0,011	-0,170	0,014	0,060	1,000

Рис. 1. Матрица корреляции между параметрами

3. Исследование

Для достижения цели был проведён анализ данных почасового потребления электроэнергии городского предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод. В качестве методов анализа использовались статистические методы, включая корреляционный анализ, множественную регрессию и анализ дисперсии.

Корреляционный анализ является одним из ключевых методов статистического анализа, который позволяет определить степень связи между двумя или более переменными. В контексте анализа данных потребления электроэнергии городского предприятия корреляционный анализ помогает выявить связь между потреблением электроэнергии и другими факторами, такими как время суток, день недели, сезонность, температура окружающей среды и объём производства.

Один из наиболее распространённых индикаторов корреляционного анализа – коэффициент корреляции Пирсона. Он измеряет линейную связь между двумя

непрерывными переменными и может принимать значения от -1 до 1 . Значение коэффициента корреляции Пирсона, близкое к 1 , указывает на положительную линейную связь, близкое к -1 – на отрицательную линейную связь, а значение, близкое к 0 – на отсутствие линейной связи.

В случае анализа потребления электроэнергии городского предприятия мы можем применить корреляционный анализ для выявления связи между потреблением электроэнергии и другими факторами, такими как время суток. Например, мы можем обнаружить, что в определённые часы дня, например в пиковые часы потребления воды, потребление электроэнергии также достигает своего максимума, или дни недели, в которые происходит большее потребление воды, а следовательно, повышается потребление электроэнергии. Корреляционный анализ также может помочь выявить сезонные факторы, влияющие на потребление электроэнергии, например, в какое время года больше потребление электроэнергии и по какой причине [15–18].

Множественная регрессия является статистическим методом, используемым для анализа связи между зависимой переменной и несколькими независимыми переменными. В контексте анализа потребления электроэнергии городского предприятия множественная регрессия позволяет исследовать, как различные факторы могут влиять на потребление электроэнергии и определить их относительный вклад.

В множественной регрессии зависимая переменная, в данном случае потребление электроэнергии, представляет собой непрерывную переменную, которую мы пытаемся предсказать на основе значения нескольких независимых переменных, таких как время суток, день недели, сезонность, температура окружающей среды и объём производства.

Модель множественной регрессии строится на основе линейной комбинации независимых переменных и коэффициентов регрессии, которые определяют вклад каждой переменной в объяснение вариации зависимой переменной. Коэффициенты регрессии показывают, насколько изменяется зависимая переменная при изменении каждой независимой переменной при условии, что остальные переменные остаются постоянными [19–22].

Для нахождения факторов, влияющих на потребление электроэнергии на предприятии, каждый из них рассматривался отдельно в разных временных диапазонах – сутки, неделя, месяц и год. Результаты данных исследований представлены на графиках рис. 2–7.

На рис. 2 представлен график суточного потребления электроэнергии на предприятии.

На графике наблюдается повышение потребления электроэнергии в период с 05:00 до 20:00 часов, когда происходит наибольшая подача питьевой воды и очистка сточных вод. Следовательно, можно сделать вывод о том, что фактор часа в сутках непосредственно взаимосвязан с потреблением электроэнергии. Также взаимосвязь между этими двумя факторами можно проследить на графике недельного потребления электроэнергии предприятия, представленного на рис. 3, на котором видно, что пиковые значения потребляемой мощности, приходятся на дневное время.

Во многих рассматриваемых научных работах по теме прогнозирования данных потребления и/или генерации электрической энергии на предприятиях оперативные метеорологические факторы рассматриваются как оказывающие довольно суще-

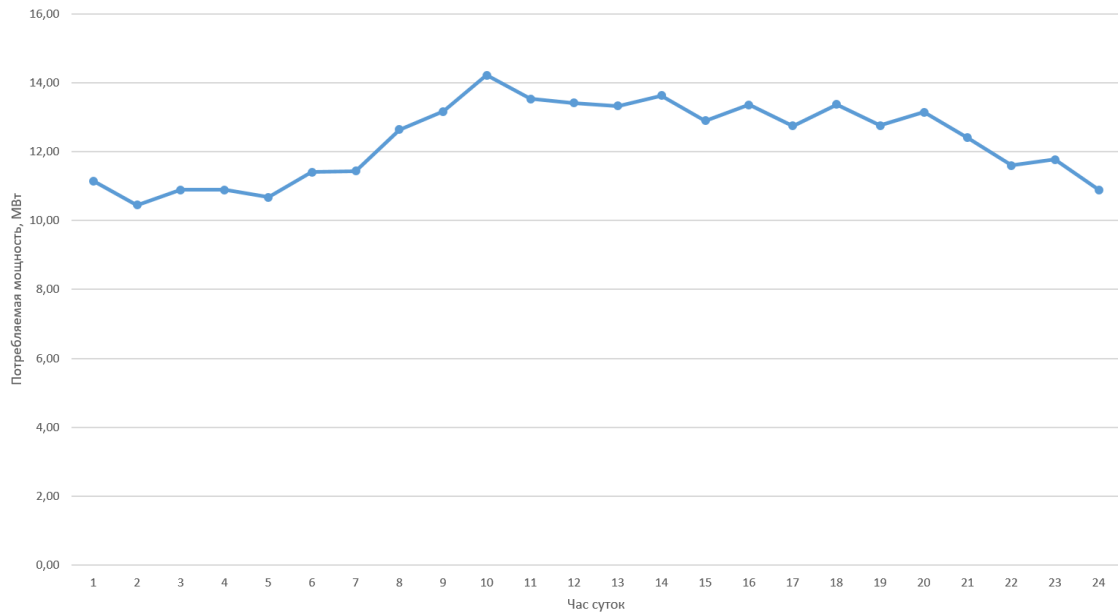


Рис. 2. Суточное потребление электроэнергии на предприятии

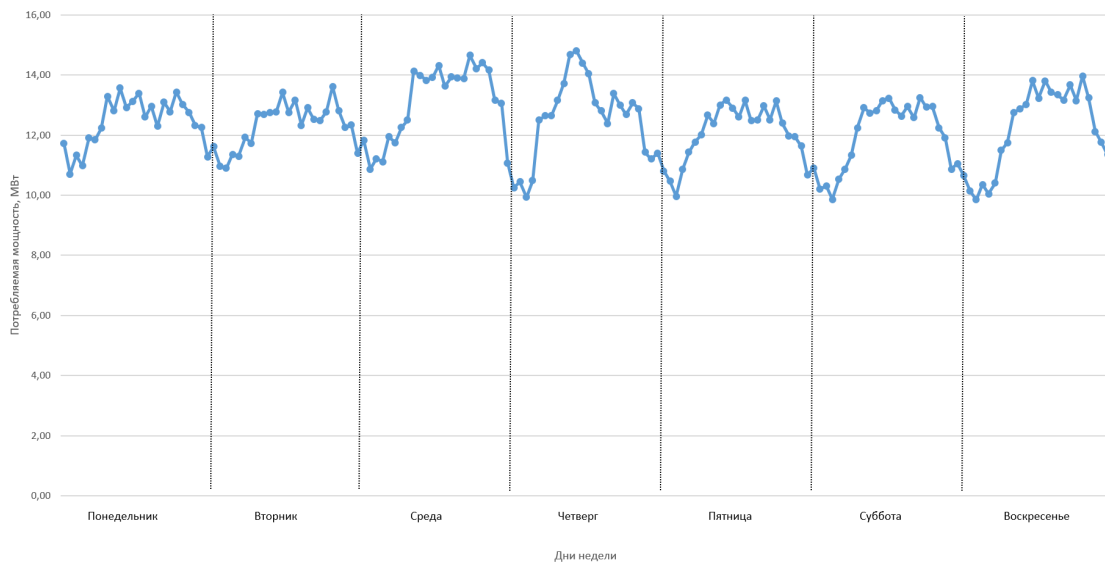


Рис. 3. Недельное потребление электроэнергии на предприятии

ственное влияние на потребление или генерацию электрической энергии [23, 24]. Данным исследованием это не подтверждается. Рассмотрим, как зависит потребление электроэнергии на предприятии от температуры окружающего воздуха. Для большей наглядности на рис. 4 и 5 представлены зависимости на недельном и месячном интервалах.

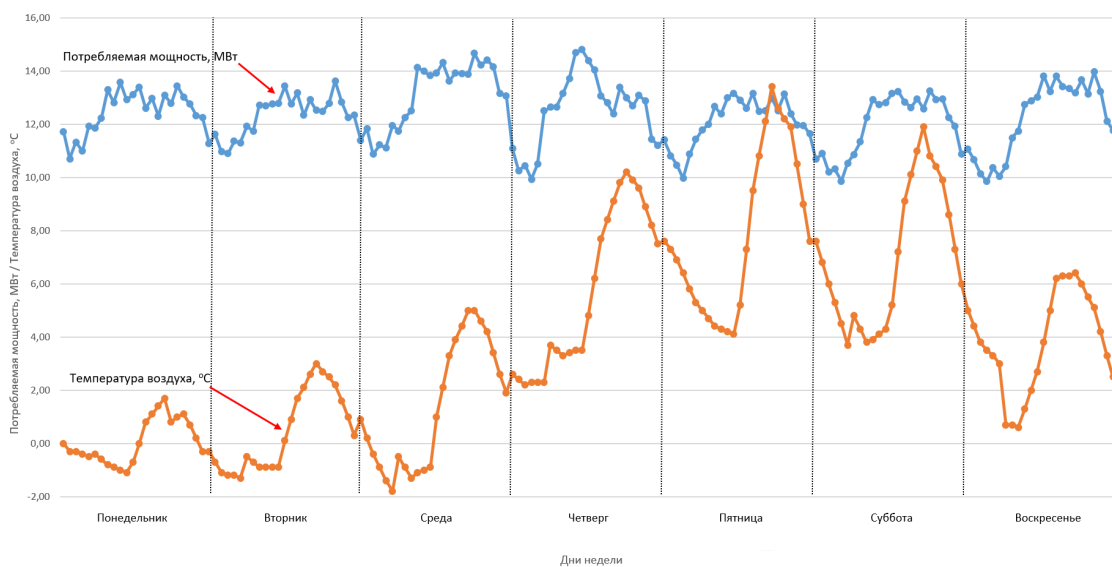


Рис. 4. Взаимосвязь потребления электроэнергии на предприятии и температуры окружающего воздуха на недельном интервале

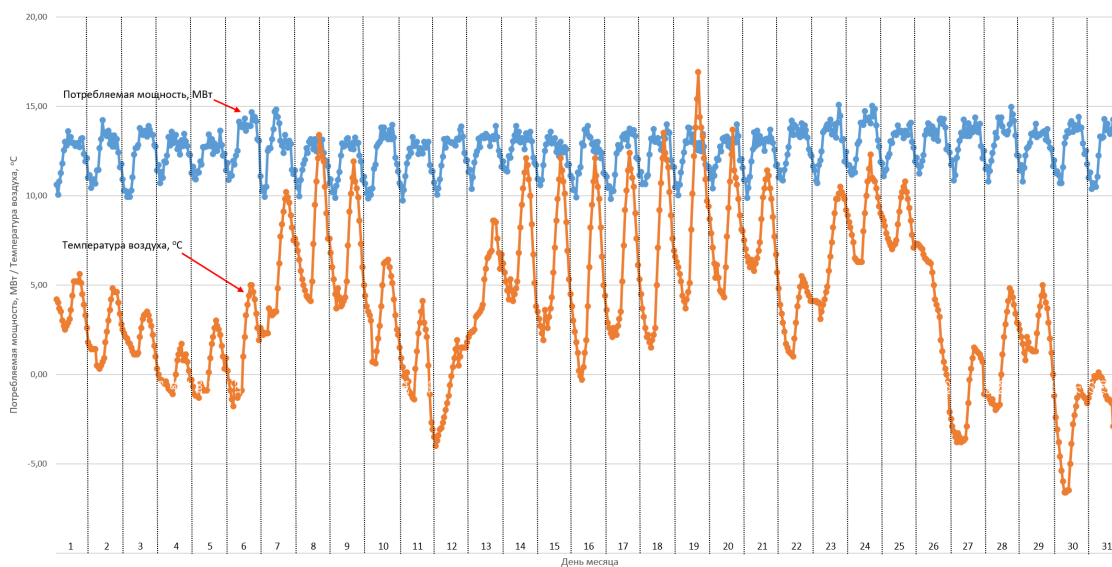


Рис. 5. Взаимосвязь потребления электроэнергии на предприятии и температуры окружающего воздуха на месячном интервале

Как видно из графиков выше, зависимости потребления электроэнергии на предприятии от температуры окружающего воздуха не наблюдается, поэтому данный параметр не будет учитываться в дальнейших исследованиях. Также подтверждением данных выводов служит корреляция между указанными параметрами, равная 0,156.

Аналогично можно сказать и про следующий параметр – день недели. Из графика

на рис. 6 следует, что потребление электроэнергии на предприятии не зависит от дня недели и его значимости – выходной это или рабочий день.

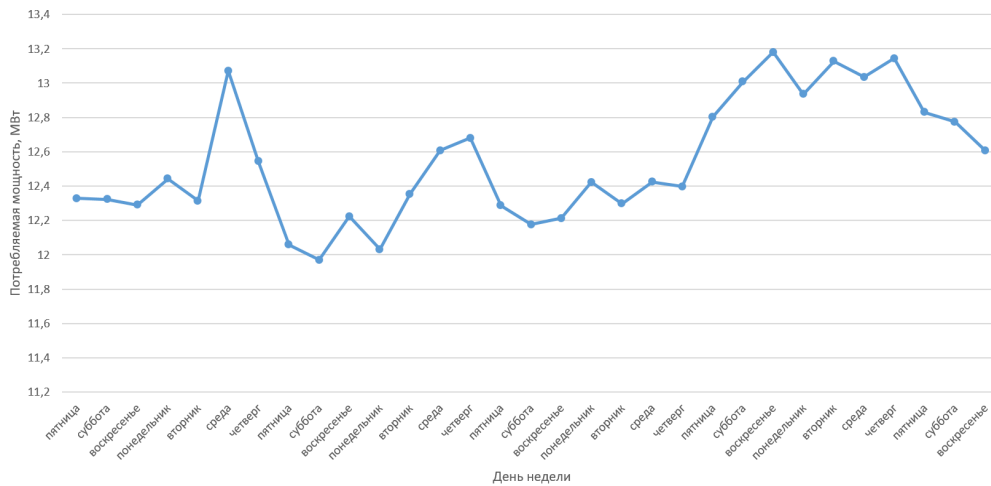


Рис. 6. График среднесуточного потребления электроэнергии в течение месяца

Далее исследовался фактор сезонности. Были использованы среднемесячные значения потребления электрической мощности на предприятии за три года. Результаты данного эксперимента можно увидеть на рис. 7.

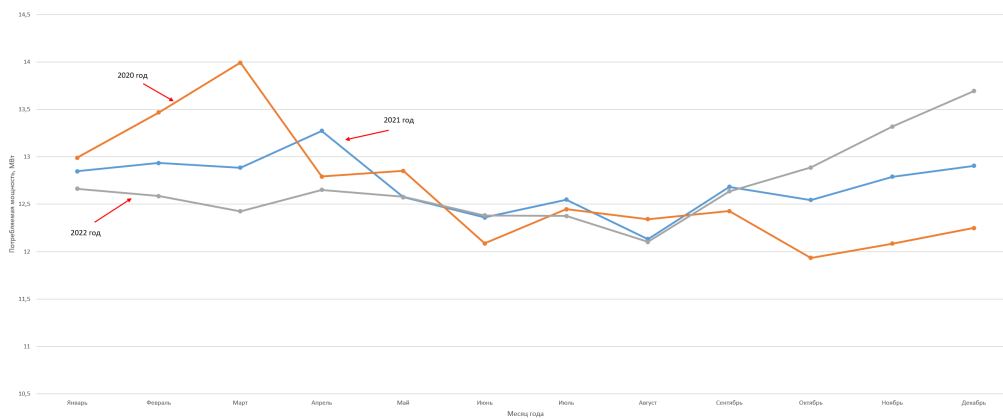


Рис. 7. График среднемесячного потребления электроэнергии на предприятии в течение трёх лет

Из графика следует, что более высокие значения потребления электроэнергии приходятся на холодное время года в нашем регионе, а именно с сентября-октября по март-апрель. Следовательно, можно сделать вывод, что фактор сезонности тоже стоит учитывать как влияющий на потребление электроэнергии на предприятии.

4. Заключение

В представленной работе была показана актуальность направления исследований авторов. Проведён первичный анализ набора данных о потреблении электроэнергии городским ресурсоснабжающим предприятием за 2020–2022 гг. Данные были представлены в виде почасовой записи показаний приборов учёта потребления электроэнергии. Помимо этого, были использованы почасовые исторические метеорологические данные за рассматриваемый период. Анализ данных показал, что потребление электроэнергии рассматриваемого городского предприятия, занимающегося подачей питьевой воды и очисткой сточных вод, зависит от следующих факторов:

- времени суток: пик потребления электроэнергии наблюдается в период с 05:00 до 20:00 часов, когда происходит наибольшее потребление питьевой воды и очистка сточных вод;
- сезонности: более высокие значения потребления электроэнергии приходятся на холодное время года в регионе, а именно с сентября-октября по март-апрель.

Остальные параметры:

- температура;
- влажность воздуха;
- общее количество осадков в сутках;
- скорость ветра;
- атмосферное давление

– не оказывают существенного влияния на потребляемую электроэнергию на предприятии, что было доказано статистическим и корреляционным анализом и в дальнейшем подтверждено экспертом по прогнозу потребления электроэнергии с рассматриваемого предприятия.

Основываясь на полученных результатах исследования, авторы продолжают работу в направлении построения модели прогнозирования потребления электроэнергии на данном предприятии, а также реализации данной модели с помощью различных инструментов машинного обучения.

Литература

1. Хамитов Р.Н., Грицай А.С. Основы рационализации электропотребления на промышленном предприятии. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. 100 с.
2. Кендалл М.Дж., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М. : Наука, 1976. 736 с.
3. Oskin S.P., Nikiforov D.S., Nesterova M.E. Forecasting the volume of electricity consumption in an industrial enterprise using the methods of statistical analysis // Colloquium-journal. 2019. Vol. 25-2(49). P. 80–83.
4. Pitjan A., Oprea S., Carutasu G., Petrosanu D., Bara A., Coculescu C. Devising Hourly Forecasting Solutions Regarding Electricity Consumption in the Case of Commercial Center Type Consumers // Energies. 2017. Vol. 10. Art. 1727.

5. Khamitov R.N., Gritsai A.S., Tyunkov D.A., Dugin D.D., Sinitsin G.E. On the method for constructing a training sample in the problems of short-term prediction of electric consumption taking into account the criteria of information and compactness // *Industrial Energy*. 2017. No. 8. P. 23–28.
6. Gritsai A.S., Makarov V.V., Khamitov R.N., Tatevosyan A.A., Gritsai S.N. The method of short-term forecast electricity load with combined a sinusoidal function and an artificial neural network // *Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*. 2019. P. 523–526.
7. Tyunkov D.A., Gritsai A.S., Rodionov V.S., Sapilova A.A., Blokhin A.V., Paltseva N.A. A neural network model for short-term PV // *Energy Forecasting Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1546.
8. Tyunkov D.A., Gritsai A.S., Potapov V.I., Khamitov R.N., Blohin A.V., Kondratukova L.K. Short-term forecast methods of electricity generation by solar power plants and its classification // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1260(5). Art. 052033.
9. Singh V.P., Vijay V., Bhatt M.S., Chaturvedi D.K. A neural network model for short-term PV - energy forecasting // *Proceedings of 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering*. 2013. Art. 6737883.
10. Li L.L., Cheng P., Lin H.C., Dong H. Short-term output power forecasting of photovoltaic systems based on the deep belief net // *Advances in Mechanical Engineering*. 2017. Vol 9(9). P. 1687814017715983.
11. Wang J., Ran R., Zhou Y. A Short-Term Photovoltaic Power Prediction Model Based on an FOS-ELM Algorithm // *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7 (4). Art. 423.
12. Аюев Б.И. Рынки электроэнергии и их реализация в ЕЭС России. Екатеринбург : Российская академия наук, Уральское отделение, 2007. 105 с.
13. Грицай А.С. Гибридный метод краткосрочного прогнозирования потребления электрической энергии для энергосбытового предприятия с учётом метеофакторов : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2017. 153 с.
14. Meteostat: База данных о погоде и климате, предоставляющая подробные данные о погоде для тысяч метеостанций и мест по всему миру. URL: <https://meteostat.net/ru/> (дата обращения: 11.05.2023).
15. Gareth J., Daniela W., Trevor H., Robert T. *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R*. Luxembourg : Springer, 2021. 440 p.
16. Kutner M.H., Nachtsheim C.J., Neter J. *Applied Linear Regression Models*. Irvine : McGraw-Hill, 2004. 701 p.
17. Robert H.S., David S.S. *Time Series Analysis and Its Applications*. Luxembourg : Springer, 2017. 596 p.
18. Wayne C.T. *Energy Management Handbook*. Lilburn : The Fairmont Press Inc., 2004. 750 p.
19. Jacob C., Patricia C., Stephen G.W., Leona S.A. *Applied Multiple Regression / Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates Inc, 2003. 736 p.
20. Paul D.A. *Multiple Regression: A Primer*. Thousand Oaks : Pine Forge Press, 1999. 202 p.
21. George A.F., Alan J.L. *Linear Regression Analysis*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2003. 592 p.
22. Richard A.J., Dean W.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Upper Saddle River : Pearson, 2007. 808 p.
23. Дугин Д.Д., Грицай А.С. Использование температурно-ветрового индекса в задачах

краткосрочного прогнозирования электропотребления // Актуальные вопросы энергетики : материалы Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов. Омск : ОмГТУ, 2006. С. 51–56.

24. Толмачев Д.В., Хамитов Р.Н., Грицай А.С., Шафеева О.П., Дорошенко М.С. Характеристика и возможности аналитических систем для построения прогностических моделей электропотребления предприятий // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов. Омск : ОмГТУ, 2018. С. 18–25.

ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING THE ELECTRICITY CONSUMPTION OF AN URBAN RESOURCE SUPPLY ENTERPRISE

A.V. Blokhin

Ph.D. Student, Assistant Professor, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

A.S. Gritsay

Ph.D. (Techn.), Associate Professor, e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

V.I. Potapov

Dr.Sc. (Techn.), Professor, e-mail: ivt@omgtu.ru

O.P. Shafeeva

Ph.D. (Techn.), Associate Professor, e-mail: ivt_olga_pavlovna@mail.ru

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Abstract. The aim of the study was to analyze the factors that affect the electricity consumption of a utility company engaged in the supply of drinking water and wastewater treatment based on hourly electricity consumption data at the enterprise. A study was conducted using statistical methods of data analysis. As a result of the work, the degree of interrelation between the various studied parameters was established, which to some extent influence the behavior of the processes occurring in the energy system of the enterprise. Based on the results, those parameters were identified that have the greatest impact on the enterprise's electricity consumption, with the aim of their subsequent use in building a forecasting model for the enterprise's electricity consumption.

Keywords: statistical methods, data analysis, electricity consumption at the enterprise, influencing factors.

Дата поступления в редакцию: 30.05.2023