

Исследование статистических данных о потреблении активной электрической энергии и расходе воды на насосной станции

Денисенко Н. А., доктор техн. наук, Замулко А. И., канд. техн. наук

НТУУ «Киевский политехнический институт»,

Бедерак Я. С., инж.

ПАО «АЗОТ», Черкассы

Предложено проводить одновременно статистический анализ данных об электропотреблении и о расходе других энергоресурсов (например, воды). Статистическая их обработка позволяет рассчитывать различные параметры сетей электро- и водоснабжения.

Ключевые слова: статистический анализ, потребление электроэнергии, расход воды.

Начиная с 80-х годов прошлого века, для анализа и синтеза режимов систем электро-снабжения (СЭС) при решении как проектных задач, так и эксплуатационных (выбор режимов работы элементов СЭС и их оптимизация) используются методы вероятностного моделирования случайных процессов [1 – 5]. Известно, что по сравнению с детерминированными вероятностные модели более точно учитывают случайный характер процессов в элементах СЭС, благодаря чему достигается оптимальный результат.

В [6] предложено накапливать статистические данные об электрических нагрузках (ЭН) промышленного объекта путем обработки информации о них, полученной с помощью автоматизированных систем учета электроэнергии, и анализа этой информации. Однако можно проводить статистический анализ данных и о других величинах, например, о расходе воды, топлива и т. п., автоматизированный учет которых сегодня позволяют осуществлять соответствующие системы, установленные на производственных объектах.

Цель статьи — исследование статистических данных о потреблении активной электрической энергии и расходе воды на насосной станции 1-го подъема мощного химического предприятия и формирование на основе полученных результатов соответствующих методических подходов к проведению статистического анализа.

Указанная насосная станция предназначена для подачи речной воды с одновременной механической ее очисткой. Энергоемкими потребителями являются четыре насосных агрегата, включающих в себя насосы типа 24НДС (производительностью 6500 м³/ч каждый) с синхронными двигателями мощностью 1600 кВт на напряжение 6 кВ. Кроме того, от

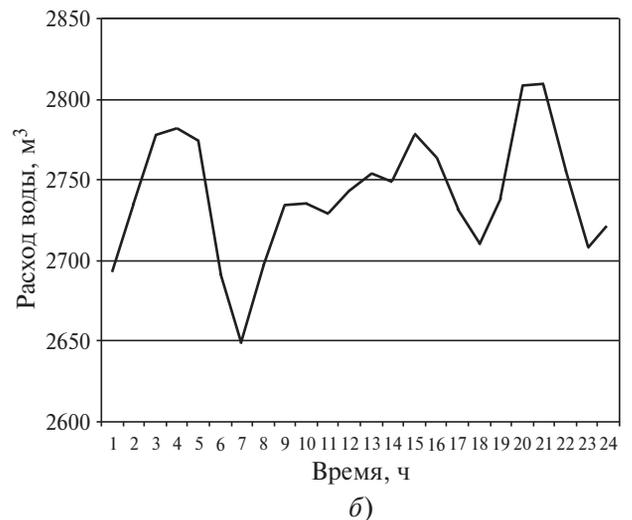
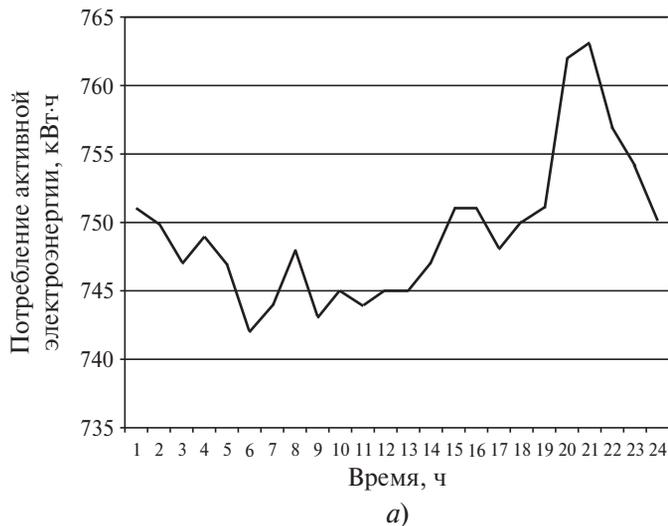
двух силовых трансформаторов 6/0,4 кВ мощностью 250 кВ·А получают питание три электродвигателя мощностью 15, 17 и 75 кВт на напряжение 0,38 кВ для приводов дренажных насосов, а также сеть освещения.

Учет электроэнергии на подстанции, которая обеспечивает питание насосной станции, осуществляется двумя установленными на ее вводах электронными трехфазными счетчиками электрической энергии типа SL7000 фирмы «Itron» (ранее — «Actaris»), входящими в состав автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) предприятия. Необходимо отметить, что установка приборов учета электроэнергии на вводах, а не на самих присоединениях центробежных насосов вносит определенную погрешность вследствие учета электроэнергии, расходуемой на собственные нужды насосной станции (дренажные насосы, сеть освещения и т. п.).

При проведении исследования используются значения потребления активной электрической энергии за каждый час с обоих вводов 6 кВ подстанции из базы данных АСКУЭ и значения расхода воды за тот же период времени из базы данных автоматизированной системы учета воды, в которой приборами учета воды являются расходомеры типа «ИРКА» производства НПП «Водомер» (Харьков).

В связи с тем, что на насосной станции существуют две точки учета потребления электрической энергии, для дальнейших расчетов используется сумма значений потребления электрической энергии по каждому вводу за один и тот же промежуток времени.

Суточные графики почасового потребления активной электрической энергии и расхода воды представлены на рисунке а и б. Сравнивая их, можно сделать вывод о существовании тесной связи между обоими пара-



метрами. Это подтверждается также и тем, что коэффициент корреляции между массивами значений этих величин за исследуемый период (50 осенних суток) составляет 0,962.

Порядок исследования и обработки данных

Согласно [6] электропотребление объекта анализировали как нестационарный авто- и взаимно коррелированный случайный процесс с дальнейшим расчетом параметров эквивалентного стационарного процесса. Ниже приведен алгоритм реализации методики обработки данных:

- 1) проверка на отсутствие грубых ошибок и восстановление потерянных учетных данных;
- 2) принятие числа интервалов наблюдения и определение на каждом интервале i -го наблюдения функции распределения;
- 3) вычисление на каждом интервале соответствующих статистических характеристик (математического ожидания, дисперсии, коэффициента вариации — КВ);
- 4) определение интервалов стационарности (или интервалов корреляции) Δt_{μ} нестационарного случайного процесса $H(t)$;
- 5) проверка закона распределения ЭН на всех интервалах наблюдения и определение границ изменения КВ;
- 6) оценка параметров распределения \tilde{Z}_{μ} и параметров распределения эквивалентного стационарного процесса $H(t)$;
- 7) расчет корреляционной матрицы для активной и реактивной электрических нагрузок;
- 8) вычисление параметров распределения полной мощности;
- 9) определение значения взаимно корреляционной функции (ВКФ) активной и реактивной электрических нагрузок.

Насосная станция является примером однономенклатурного производства. Потребление активной электрической энергии синхронными двигателями центробежных насосов, которые перекачивают воду из реки на предприятие, зависит большей частью от ее расхода. Поэтому при проведении исследований целесообразно переходить от абсолютных показателей к относительным, т. е. рассчитывать значение удельного расхода электроэнергии на перекачивание 1 м^3 воды, после чего оценивать этот показатель согласно методике [6]. При этом целесообразно соблюдать следующую последовательность обработки данных:

- о потреблении активной электрической энергии;
- о расходе воды;
- об удельном расходе потребления активной электрической энергии на перекачивание 1 м^3 воды.

Далее получаем корреляционные матрицы отдельно для потребления активной электрической энергии и для расхода воды, а также корреляционную матрицу между этими параметрами.

Результаты исследования

Анализировали одновременно значения потребления активной электрической энергии WP за час и расхода воды на насосной станции 1-го подъема за тот же интервал времени, полученные на протяжении 50 сут. осеннего сезона (1200 значений). Руководствуясь приведенным в [7] алгоритмом расчетов нормированной автокорреляционной функции, рассчитали корреляционные матрицы значений потребления активной электрической

Таблица 1

Дата	Начало временного интервала наблюдения				
	0:00	1:00	2:00	...	23:00
	Номера интервалов наблюдения				
	1	2	3	...	24
01.10...	0,226	0,226	0,224	...	0,224
02.10...	0,225	0,224	0,223	...	0,227
03.10...	0,230	0,229	0,228	...	0,231
...
17.11...	0,281	0,274	0,270	...	0,282
18.11...	0,275	0,275	0,275	...	0,282
19.11...	0,288	0,289	0,288	...	0,290

Таблица 2

–	–	1	2	3	4	5	6	...	24
–	–	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	...	23:00
1	0:00	1,000	0,992	0,986	0,983	0,982	0,980	...	0,948
2	1:00	–	1,000	0,997	0,991	0,990	0,988	...	0,947
3	2:00	–	–	1,000	0,995	0,992	0,987	...	0,944
4	3:00	–	–	–	1,000	0,998	0,990	...	0,945
5	4:00	–	–	–	–	1,000	0,993	...	0,943
6	5:00	–	–	–	–	–	1,000	...	0,948
...	...	–	–	–	–	–	–	1,000	...
24	23:00	–	–	–	–	–	–	–	1,000

энергии и расхода воды на насосной станции за час. На основе исходных данных о потреблении активной электроэнергии и расходе воды за соответствующий период определили удельные расходы электроэнергии на перекачивание 1 м^3 воды. Анализ полученного при этом массива данных проводили согласно алгоритму, изложенному в [6], аналогично тому, как это выполнено для массивов данных о потреблении активной электроэнергии и расходе воды.

В табл. 1 представлен массив данных об удельном расходе электроэнергии на перекачивание 1 м^3 воды, а в табл. 2 — корреляционная матрица этого расхода, рассчитанная согласно алгоритму расчета нормированной автокорреляционной функции [7].

Анализ данных табл. 1 показывает, что при уменьшении температуры воды значения потребления активной электроэнергии и удельного расхода электроэнергии за час при

неизменном расходе воды возрастают (например, в 1-м интервале наблюдения 1 октября удельный расход электроэнергии составил $0,226 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, а 19 ноября он возрос до $0,288 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ при почти одинаковом расходе воды). Это обусловлено увеличением плотности воды при уменьшении ее температуры [8]. Поэтому для достоверной оценки удельных затрат электроэнергии на перекачивание воды необходимо контролировать ее температуру в районе водозабора. Далее целесообразно применять приведенную в [9] аппроксимацию зависимости плотности воды $\rho_{\text{в}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, от ее температуры t , $^{\circ}\text{C}$, согласно формуле

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \left(1 - \frac{t + 288,94}{508929,2(t + 68,13)} \right) (t - 3,99)^2.$$

Для исследования влияния на оценку параметров распределения значения ε (допусти-

Таблица 3

ε	Потребление активной электроэнергии		Расход воды		Удельный расход электроэнергии	
	n	$\Delta t_{\mu \min} \div \Delta t_{\max}$, ч	n	$\Delta t_{\mu \min} \div \Delta t_{\max}$, ч	n	$\Delta t_{\mu \min} \div \Delta t_{\max}$, ч
0,03	7	2 – 6	5	4 – 6	4	2 – 9
0,05	4	2 – 10	3	5 – 11	3	5 – 11

Таблица 4

ε	Потребление активной электроэнергии		Расход воды в час		Удельный расход электроэнергии	
	\overline{WP} , кВт · ч	$\sigma[WP]$, кВт · ч	\overline{Q} , м ³	$\sigma[Q]$, м ³	\overline{q} , кВт · ч/м ³	$\sigma[q]$, кВт · ч/м ³
0,03	765,4	23,0	2955,5	370,6	0,262	0,023
0,05	765,4	23,0	2955,5	370,6	0,262	0,023

Таблица 5

Параметр	Границы изменения параметров распределения		
	Математическое ожидание \tilde{H}_{μ}	Среднеквадратическое отклонение $\tilde{\sigma}_{\mu}$ [H]	КВ $\tilde{\gamma}_{\mu}$ [H], отн. ед.
Потребление активной электроэнергии в час, кВт · ч	761 – 771	21 – 27	0,028 – 0,036
Расход воды в час, м ³	2926 – 2985	350 – 406	0,119 – 0,137
Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/м ³	0,259 – 0,264	0,021 – 0,025	0,082 – 0,095

мого отклонения отдельных значений оценок параметров распределения от их среднего значения внутри интервала стационарности) была рассчитана длительность этого интервала для разных значений ε . Как следует из табл. 3, чем больше значение ε , тем меньше количество интервалов стационарности n и тем больше продолжительность $\Delta t_{\mu \min} \div \Delta t_{\max}$ каждого из них.

В табл. 4 приведены результаты определения параметров распределения активной электроэнергии, расхода воды и удельного расхода электроэнергии как стационарного случайного процесса при разных значениях ε . Как видно, значения параметров распределения не зависят от значения ε .

По результатам обработки соответствующих исходных данных и корреляционных матриц определены границы изменения статистических данных о потреблении активной электрической энергии насосной станции, расходе воды, удельном расходе электроэнер-

гии на перекачивание воды в час (см. табл. 5).

В табл. 6 указаны границы изменения коэффициента потребления активной электрической энергии, расхода воды и удельного расхода воды в час для насосной станции 1-го подъема. Значения КВ свидетельствуют о том, что совокупности их ежечасных значений абсолютно однородные (коэффициент вариации меньше 0,17) [10].

В табл. 7 приведена корреляционная матрица нормированной взаимно корреляционной функции между потреблением активной электроэнергии и расходом воды за один и тот же период (час). Как видно, между ними существует тесная связь.

Статистический анализ как потребления активной электрической энергии, так и расхода воды может быть применен для получения типовых графиков ЭН и расхода воды, которые используются при расчете потерь энергии и мощности в электрической сети и оценке эффективности работы системы водоснабжения.

Таблица 6

Параметр	Значение КВ	
	Максимальное	Минимальное
Потребление активной электроэнергии в час	0,036	0,028
Расход воды в час	0,137	0,119
Удельный расход электроэнергии в час	0,095	0,082

Таблица 7

–	–	1	2	3	4	5	6	...	24
–	–	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	...	23:00
1	0:00	0,979	0,975	0,973	0,962	0,969	0,960	...	0,911
2	1:00	–	0,979	0,976	0,963	0,969	0,959	...	0,903
3	2:00	–	–	0,976	0,962	0,968	0,956	...	0,897
4	3:00	–	–	–	0,970	0,972	0,931	...	0,884
5	4:00	–	–	–	–	0,972	0,932	...	0,884
6	5:00	–	–	–	–	–	0,967	...	0,920
...	...	–	–	–	–	–	–	1,000	...
24	23:00	–	–	–	–	–	–	–	1,000

Выводы

1. Внедрение автоматизированных систем учета энергоресурсов на промышленных предприятиях, разработка специализированного математического обеспечения создают реальные условия для проведения статистического анализа данных о расходе энергоресурсов как случайного процесса.

2. Предложенный методический подход позволяет рассчитывать параметры распределения эквивалентного стационарного процесса потребления активной электроэнергии и других энергоресурсов, строить типовые графики параметров их распределения (суточные, недельные, сезонные, годовые), которые в дальнейшем целесообразно применять в инженерной практике.

3. Результаты статистической обработки данных о расходе воды промышленного объекта могут стать основой для расчетов параметров сети водоснабжения.

4. Для повышения достоверности данных об удельном расходе электроэнергии на перекачивание воды насосными станциями 1-го подъема необходимо вести автоматизированный контроль ее температуры в районе водозабора.

Список литературы

1. **Фокин Ю. А.** Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **Шидловский А. К., Вагин Г. Я., Куренный Э. Г.** Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. **Денисенко М. А.** Спеціальні питання електропостачання: навч. посіб. Ч. I. Вибір елементів електропостачальних систем на основі стохастичного моделювання процесів, що відбуваються в них. — Київ: НТУУ “КПІ”, 2009.
4. **Соколянский П. А., Хименко В. И.** Вероятностные методы расчета электроэнергетической системы предприятия. — Фундаментальные исследования, 2005, № 7.
5. **Довгало О. Н.** Учет влияния вероятностного характера нагрузок электрических сетей на величину показателей качества электроэнергии. — Світлотехніка та електроенергетика, 2006, № 7, 8.
6. **Денисенко М. А., Бедерак Я. С.** Дослідження електричних навантажень насосної станції. — Енергетика і електрифікація, 2012, № 5.
7. **Расчет водопроводных сетей:** Учеб. пособие для вузов / Н. Н. Абрамов, М. М. Поспелова, М. А. Сомов и др. — М.: Стройиздат, 1983.
8. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969.
9. **David R. Maidment.** Handbook of Hydrology. — New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 1993.
10. **Крамер Г.** Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975.