

Обоснование метода учёта и контроля электропотребления

Лавренченко С. А.*, кандидат физико-математических наук, доцент,
lawrencenko@hotmail.com

Згонник Л. В.*, доктор экономических наук, профессор,
mila.zgonnik1@yandex.ru

*ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Институт туризма и гостеприимства, Москва, Российская Федерация

Аннотация: В работе обоснован метод для прогнозирования суточного уровня электропотребления на каждый день целого года с учётом фактора сезонности, исходя лишь из двенадцати фактических данных электропотребления по месяцам этого года. Описана математическая модель для учёта качества и контроля уровня электропотребления на ежедневной основе. Модель согласуется с общепринятой моделью длины светового дня (в часах), что говорит о том, что потребление энергии (по крайней мере, на общедомовые нужды) определяется длиной светового дня. Кроме того, на основе описанной модели дан метод учёта и диагностики электропотребления, который позволит пользователям отслеживать уровень электропотребления и вовремя уведомляться о любых отклонениях от теоретического уровня. Наконец, на этом методе основан принцип работы предлагаемого устройства – умного энергометра – для обнаружения подозрительных отклонений от теоретического уровня. Прибор поможет вовремя обнаружить перерасход (или недорасход) электроэнергии, чтобы принять превентивные меры. Предлагаемый метод состоит из следующих звеньев: (1) выбор функции для адекватного моделирования уровня электропотребления (теоретического расчётного уровня), (2) выбор трубчатой контрольной окрестности графика моделирующей функции, (3) выбор критерия того, когда умный энергометр должен уведомлять пользователя о нештатном отклонении от теоретического уровня в случае выхода из трубчатой контрольной окрестности.

Ключевые слова: временной вариационный ряд, учёт электропотребления, математическое моделирование, нормальный закон распределения

Благодарности. Первый автор выражает благодарность Лидии Ивановне Коверниковой за ценные комментарии по работе, в том числе по его докладу на международной конференции ICPQM-2016 в Московском энергетическом институте 24 ноября 2016 г. (<http://icpqm.org/pqm-2016/>).

Для цитирования: Лавренченко С.А., Згонник Л.В., Обоснование метода учёта и контроля электропотребления // Сервис plus. Т. 12. 2018. № 1. С. 67–77 DOI: 10.22412/1993-7768-12-1-7

Статья поступила в редакцию: 17.01.2018.

Статья принята к публикации: 18.02.2018.

Substantiation of a method for monitoring and controlling electricity consumption

S. Lawrencenko*, Cand. Sc. (Physico-Mathematical Sciences), Associate Prof., lawrencenko@hotmail.com

L. V. Zgonnik*, Dr. Sc. (Economics), Prof., mila.zgonnik1@yandex.ru

* Institute for Tourism and Hospitality (branch), Russian State University of Tourism and Service, Moscow, Russian Federation

Abstract: In this paper a method is substantiated for predicting the daily electricity consumption level for each day of a whole year, taking into account the seasonal factor, based on only twelve actual electricity consumption data by the

months of the year. A mathematical model is described for monitoring and controlling the level of electricity consumption on a daily basis. The model is consistent with a common model for the length of daylight (in hours), which tells us that electricity consumption (at least for general building needs) is determined by the daylight hours. In addition, on the basis of this model, a method for monitoring and diagnostics of electricity consumption is presented, which will enable users to monitor the level of power consumption and be timely notified of any deviations from the theoretical level. Finally, this method gives rise to the operational principle for a proposed device—a smart energy meter—for detecting suspicious deviations from the theoretical level. The device will help timely detect over-consumption (or under-consumption) of electricity in order to take preventive measures. The proposed method consists of the following steps: (1) choice of a function to adequately model the level of electricity consumption (theoretical calculated level), (2) choice of a tubular control neighborhood of the graph of the model function, (3) choice of a criterion on when the smart energy meter should notify the user of an unexpected deviation from the theoretical level in the case of exit from the tubular control neighborhood.

Keywords: time series, energy consumption monitoring, mathematical modeling, normal distribution law

Thanks: The first author expresses his gratitude to L. I. Kovernikova for valuable comments on the work, including her comments on his report at the international conference ICPQM-2016 at Moscow Power Engineering Institute on November 24, 2016 (<http://icpqm.org/pqm-2016/>).

For citation: Lavrenchenko S., Zgonnik L.V., Substantiation of a method for monitoring and controlling electricity consumption. Service plus, vol. 12, no. 1, 2018, pp. 67-77. DOI: 10.22412/1993-7768-12-1-7.

Submitted: 2018/01/17.

Accepted: 2018/02/18.

1. Введение

В исторической ретроспективе, как цель для корпорации и как точка отсчёта для усилий по улучшению качества продукции, в 1986 г. в корпорации Motorola была разработана концепция управления производством и сервисом, известная сегодня как концепция «шести сигм» (англ. six sigma) [19]. С тех пор концепция шесть сигм существенно расширилась по содержанию и распространилась далеко за пределы компании Motorola, трансформировавшись в целую программу по повышению деловой активности корпорации как за счёт повышения эффективности, так и за счёт уменьшения издержек. Уже в XXI в. с шестью сигмами ассоциируются два дополнительных набора инструментов:

(А) «DFSS» — Дизайн для шести сигм (Design For Six-Sigma,) и

(Б) «Лин» — Лин шести сигм (Lean-технологии или бережливые технологии).

Многие организации регулярно используют один из этих подходов или сразу оба как составные части реализации программы шести сигм.

В последнее время отмечается рост интереса к бережливому и эффективному расходованию материальных, энергетических и временных ресурсов путём их учёта и контроля [1–3, 6–17, 19, 22, 25]. В особенности в работах [6, 7, 14, 15, 17, 22, 25] были предложены методы учёта и контроля электропотребления. Цель настоящей работы – обоснование метода, развитого в работах [7, 14]; см. раздел 5. Для полноты

изложения мы вкратце изложим основные положения этого метода; см. разделы 2–4.

За эмпирическую основу исследования взяты реальные статистические данные за 2015 год по электропотреблению $y(m)$ на общедомовые нужды по месяцам m в одном конкретном московском многоквартирном доме [7, 14]. Цель математического моделирования – найти теоретический (расчетный) уровень электропотребления для данного временного вариационного ряда посредством какой-нибудь конкретной моделирующей функции $E(t)$ непрерывного времени t , которое измеряется также дискретно: в месяцах m ($1 \leq m \leq 12$) или днях d ($1 \leq d \leq 365$). Моделирующая функция должна учитывать систематические факторы, воздействующие на фактические (наблюдаемые) уровни $y(t)$ потребления электроэнергии, таким образом, что случайные отклонения $y(t) - E(t)$ фактических значений $y(t)$ от теоретических $E(t)$ являются результатом воздействия остаточных факторов. Описанный стохастический процесс служит основой предложенного в работах [7, 14] метода учёта и контроля электропотребления. В разделе 5 обосновывается важное предположение, что при каждом фиксированном значении t случайные показания счётчика потреблённой электроэнергии $y(t)$ в момент времени t распределены по закону, близкому к нормальному закону с математическим ожиданием $E(t)$ и постоянным



стандартным отклонением σ .

2. Модель электропотребления по месяцам

Для московского региона фактор сезонности рассматривается как основной, и поэтому теоретический уровень моделируется синусом. Данные ряда $y(m)$ из таблицы 1 сглажены по первой гармонике Фурье, и (теоретический) уровень электропотребления (кВт·ч) в этом доме смоделирован по месяцам m следующей формулой:

(1)

$$E_{\text{month}}(m) = a_0 + a_1 \cos \frac{(2m-1)\pi}{12} + b_1 \sin \frac{(2m-1)\pi}{12} \approx$$

$$\approx 801,4 + 128,6 \cos \frac{(2m-1)\pi}{12} - 52,5 \sin \frac{(2m-1)\pi}{12} \quad (1 \leq m \leq 12)$$

где 801,4 = среднее значение $\bar{E}_{\text{month}} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} y(m)$, а выражение под синусом и косинусом равно радианному номеру месяца m (см. таблицу 1).

Таблица 1
 Динамика потребления электроэнергии по месяцам

Table 1
 Dynamics of electricity consumption by months

Месяц (m)	1	2	3	4	5	6
Градусный номер месяца	15°	45°	75°	105°	135°	165°
Радианный номер месяца	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{3\pi}{12}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{7\pi}{12}$	$\frac{9\pi}{12}$	$\frac{11\pi}{12}$
Электропотребление $y(m)$ (кВт·ч)	1001	787	826	646	675	650
Продолжение таблицы 1						
Месяц (m)	7	8	9	10	11	12
Градусный номер месяца	195°	225°	255°	285°	315°	345°
Радианный номер месяца	$\frac{13\pi}{12}$	$\frac{15\pi}{12}$	$\frac{17\pi}{12}$	$\frac{19\pi}{12}$	$\frac{21\pi}{12}$	$\frac{23\pi}{12}$
Электропотребление $y(m)$ (кВт·ч)	704	807	876	813	757	1075

Предлагаемый способ радианной нумерации месяцев даёт более адекватный результат благодаря сдвигу на $\frac{\pi}{12}$ по сравнению с традиционной радианной нумерацией месяцев [27], в которой радианный номер месяца m берется равным $\frac{2m\pi}{12}$. Коэффициенты a_0, a_1, b_1 гармоники (1) рассчитаны методом наименьших квадратов по известным формулам [27].

Модель (1) взята в работах [7, 14] как теоретический уровень в месячных колебаниях электропотребления в доме.

Чтобы определить, насколько та или иная математическая модель адекватна, вычисляется сумма квадратов отклонений фактических данных от теоретических значений, обозначаемая RSS (Residual Sum of Squares [18]):



$$(2) \quad \text{RSS} = \sum_{m=1}^{12} (y(m) - E_{\text{month}}(m))^2 .$$

Чем RSS меньше, тем модель точнее и адекватней. Вычислены значения суммы квадратов отклонений фактических данных $y(m)$ от среднего значения $\bar{E}_{\text{month}} \approx 801,4$, от линейной регрессии и от первой гармоники Фурье (1). Оказалось, что линейная регрессия дает приблизительно такую же точность, что и постоянная средняя, в то время как модель Фурье дает значительное увеличение точности, а именно: $\text{RSS} \approx 80\,017$. Таким образом, модель Фурье наиболее адекватна. Последний вывод не удивителен, так как модель Фурье учитывает фактор сезонности, влияние которого заметно даже при беглом взгляде на таблицу 1.

3. Модель электропотребления по дням

Поделив функцию (1) на 30 дней в месяце и соответствующим образом преобразовав аргумент, получаем модель электропотребления по дням d ($1 \leq d \leq 365$) в виде следующей функции:

$$E_{\text{day}}(d) = \frac{1}{30} \left(8014 + 1286 \cos \frac{(2d-1)\pi}{365} - 52,5 \sin \frac{(2d-1)\pi}{365} \right) \approx$$

$$\approx 26,7 + 4,3 \cos \frac{2\pi d}{365} - 1,8 \sin \frac{2\pi d}{365}$$

$$\approx 26,7 + 4,7 \sin \left(\frac{2\pi}{365} (70 - d) \right),$$

где $26,7 \approx \frac{1}{30} \bar{E}_{\text{month}} \approx \bar{E}_{\text{day}}$ – среднее электропотребление в день.

Итак, окончательно получаем следующую синусоидальную модель теоретического уровня электропотребления по дням:

$$(3) \quad E(t) = 26,7 + 4,7 \sin \left(\frac{2\pi}{365} (70 - t) \right)$$

$$(1 \leq t \leq 365)$$

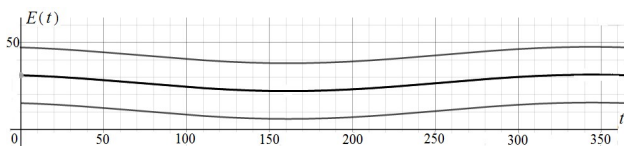


Рис. 1. Теоретический уровень электропотребления по дням (в середине) и его трубчатая контрольная окрестность

Fig. 1. Theoretical level of electricity consumption by day (the middle curve) and its tubular control neighborhood

График функции (3) изображен на рис. 1 (средняя кривая).

Электропотребление за каждый месяц m ($1 \leq m \leq 12$) складывается из количеств суточных электроэнергий, потребленных в этом месяце:

$$E_{\text{month}}(m) = \sum_d E_{\text{day}}(d), \text{ где индекс суммирования}$$

d пробегает значения от номера первого (порядкового в году) до номера последнего дня месяца m . На-

$$\text{пример, } E_{\text{month}}(11) = \sum_{d=305}^{334} E_{\text{day}}(d).$$

Однако в расчетах часто бывает удобно перейти от дискретного времени d к непрерывному времени t . Тогда, используя предложенную модель (3), легко вычислить количество электроэнергии $E_{\text{time period}}$, теоретически расходуемое за любой определенный период времени, например, с 7 октября по 26 ноября. Замечая, что эти даты соответствуют 280-му и 330-му дням года соответственно, и, учитывая, что аргументы тригонометрических функций измеряются в радианах, находим $E_{\text{time period}}$ с помощью калькулятора:

$$(4) \quad E_{\text{time period}} = \sum_{d=280}^{330} E(d) \approx \int_{280}^{330} E(t) dt =$$

$$= \int_{280}^{330} \left[26,7 + 4,7 \sin \left(\frac{2\pi}{365} (70 - t) \right) \right] dt =$$

$$= 26,7t + \frac{365}{2\pi} 4,7 \cos \left(\frac{2\pi}{365} (70 - t) \right) \Big|_{280}^{330}$$

$$\approx 8\,747 - 7\,233 = 1\,514 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Как уже было отмечено во введении, предлагаемая модель основана на стохастическом процессе, у которого в каждый фиксированный момент времени t , измеряемого в днях года ($1 \leq t \leq 365$), имеется свой теоретический уровень электропотребления $E(t)$, а фактические случайные показания счётчика потреблённой электроэнергии в этот момент времени t распределены по нормальному закону с математическим ожиданием $E(t)$ и постоянным стандартным отклонением.

В качестве несмещённой оценки для дисперсии случайных фактических измерений месячных показаний



счётчика вокруг теоретического уровня (1) берётся величина $s_{\text{month}}^2 \approx \frac{1}{12-1} \text{RSS} \approx \frac{1}{11} 80\,017 \approx 7\,274$, где значение $\text{RSS} \approx 80\,017$ было получено в конце раздела 2. Отсюда находим, что месячное стандартное отклонение от теоретического уровня (1) равно $s_{\text{month}} \approx 85$. Суточное стандартное отклонение s_{day} от теоретического уровня (3) приблизительно в $\sqrt{30}$ раз меньше, потому что фактические (случайные) показания счётчика потреблённой электроэнергии за дни d_1 и d_2 независимы при любых d_1 и d_2 ($1 \leq d_1, d_2 \leq 365$), и, значит, дисперсия s_{month}^2 суммы тридцати независимых случайных показаний счётчика (за целый месяц) равна сумме тридцати соответствующих дисперсий s_{day}^2 . Таким образом,

$$s_{\text{day}} \approx \frac{s_{\text{month}}}{\sqrt{30}} \approx \frac{85}{\sqrt{30}} \approx 16.$$

На рисунке 1 изображена трубчатая контрольная окрестность теоретического уровня $E(t)$ с постоянным радиусом $s_{\text{day}} = 16$.

4. Учёт и контроль

В этом разделе описан метод учёта и контроля электропотребления. В каждый конкретный день d ($1 \leq d \leq 365$) фактическое суточное потребление электроэнергии рассматривается как нормальная случайная величина с математическим ожиданием $E_{\text{day}}(d)$ и постоянным стандартным отклонением s_{day} . В конкретном примере, рассматриваемом в этой работе, имеем $s_{\text{day}}(d) = 16$ (см. раздел 3). Хорошо известно из статистики «эмпирическое правило» («Empirical Rule» [20]) гласит, что в каждый конкретный день d вероятность попадания нормальной случайной величины в интервал

$$(5) \quad (E_{\text{day}}(d) - s_{\text{day}}, E_{\text{day}}(d) + s_{\text{day}})$$

приблизительно равна 0,68. Таким образом, в среднем 117 дней в году фактический уровень электропотребления выходит за пределы трубчатой контрольной окрестности радиуса s_{day} вокруг теоретического уровня $E_{\text{day}}(d)$, показанной на рисунке 1.

Предполагая, что показания потреблённой электроэнергии учитываются на ежедневной основе, рассмотрим последовательность 365 независимых испы-

таний Бернулли, в которой для каждого d -го испытания успехом считается попадание в интервал (5) количества электроэнергии, фактически потреблённой за конкретный день d . Предположим, что в какой-то день d значение вышло из интервала (5), т.е. за пределы трубчатой контрольной окрестности на рисунке 1. При этом условии вероятность того, что в следующие (конкретные) три дня подряд (т.е. с порядковыми номерами $d+1$, $d+2$ и $d+3$) уровень фактического потребления окажется за пределами трубчатой контрольной окрестности, равна $(1 - 0,68)^3 \approx 0,03$.

Таким образом, когда при ежедневном учёте измеренные значения потреблённой электроэнергии держатся за пределами трубчатой контрольной окрестности четыре или более дней подряд, имеются основания уведомить пользователя о том, что у него намечились предпосылки для одной из следующих двух тенденций:

а) тенденции к перерасходу электроэнергии (когда измеренные значения оказываются выше верхней границы трубчатой контрольной окрестности на рисунке 1) или же, наоборот,

б) тенденции к недорасходу электроэнергии (когда ниже нижней границы контрольной окрестности).

После получения такого уведомления управляющей компании имеет смысл провести расследование или простой энергоаудит. В случае (а) причиной могут быть, например, несанкционированные подключения к электросети, а в случае (б) причиной могут быть, например, недавно проведенные энергосберегающие мероприятия. В случае (а) следует принять оперативные меры, чтобы вернуть процесс внутрь трубчатой окрестности вокруг теоретического уровня на рис. 1, а также оценить ущерб, сравнивая фактически потраченную электроэнергию с соответствующим теоретическим значением $E_{\text{time period}}$, рассчитанным аналогично как в (4). В случае (б), сравнивая с $E_{\text{time period}}$, можно оценить уже положительный эффект от проведенных энергосберегающих мероприятий и затем пересчитать и обновить сам теоретический уровень (3). Таким образом, учёт и контроль электропотребления являются важными средствами предотвращения кризисных финансовых ситуаций для управляющих компаний многоквартирными домами, и этот тезис подтверждается в работах [2, 3].

Следуя известному методу [24], выведена следующая формула, моделирующая длину светового дня в Москве (в часах):



$$(6) \quad L(t) = 12 + 5,285 \sin\left(\frac{2\pi}{365}(t - 80)\right) \\ (1 \leq t \leq 365),$$

где время t измеряется в днях года, как и в формуле (3). Похожесть выражений под синусом в (6) и (3) еще раз подтверждает адекватность сезонной модели (3), а противоположность их знаков обусловлена тем, что графики этих синусов (без учета коэффициентов вне них) зеркально симметричны относительно оси d (лишь с небольшим сдвигом на 10 дней). Такая перевернутость ожидаема. Она вызвана тем, что, например, дню летнего солнцестояния соответствует (теоретически) минимальный уровень электропотребления, а дню зимнего — максимальный.

5. Нормальность распределения результатов учёта

В этом разделе обосновывается предположение, сделанное во введении, о том, что при каждом фиксированном значении t случайные показания счётчика потреблённой электроэнергии $y(t)$ в момент времени t распределены по закону, близкому к нормальному закону с математическим ожиданием $E(t)$ и постоянным стандартным отклонением σ , где $E(t)$ – функ-

ция, моделирующая уровень энергопотребления в зависимости от времени t .

Рассмотрим модель энергопотребления по месяцам – $E(t) = E_{\text{month}}(m)$ из раздела 2, определяемую формулой (1). Надо показать, что отклонения $y(m) - E_{\text{month}}(m)$ можно считать распределёнными по нормальному закону. Поскольку число наблюдений невелико (всего 12 записей учёта электропотребления в таблице 1), традиционный критерий согласия Пирсона неприменим, и надо использовать другие методы, например, *квантиль-квантильный график* («Q-Q plot»). Этот метод описан в [4; 26, с. 30] и основан на *наблюдаемых квантилях vs. ожидаемых квантилях*.

Наблюдаемые значения $y(m)$ берутся из таблицы 1, а теоретические значения $E_{\text{month}}(m)$ вычисляются при помощи формулы (1) на калькуляторе. Затем вычисляются двенадцать разностей $y(m) - E_{\text{month}}(m)$, которые образуют вариационный ряд наблюдаемых отклонений (см. таблицу 2). Варианты этого ряда ранжируются в порядке возрастания, и получается *ранжированный вариационный ряд*.

Таблица 2
 Проверка распределения на нормальность

Table 2
 Testing the distribution for normality

Месяц (m)	1	2	3	4	5	6
Наблюдаемое электропотребление $y(m)$ (кВт·ч)	1001	787	826	646	675	650
Теоретическое электропотребление $E_{\text{month}}(m)$	912,0	855,2	784,0	717,4	673,3	663,6
$y(m) - E_{\text{month}}(m)$	89,0	-68,2	42,0	-71,4	1,7	-13,6
Ранжированный вариационный ряд	-172,5	-72,4	-71,4	-68,2	-13,6	1,7
Наблюдаемые квантили	-172,5	-70,7			0,4	



Ожидаемые вероятности	1/13= 0,0769		4/13= 0,3077		7/13= 0,5385	
Ожидаемые нормальные квантили z_k	-1,426		-0,502		0,097	
Продолжение таблицы 2						
Месяц (m)	7	8	9	10	11	12
Наблюдаемое электропотребление $y(m)$ (кВт·ч)	704	807	876	813	757	1075
Теоретическое электропотребление $E_{\text{month}}(m)$	690,8	747,6	818,8	885,4	929,5	939,2
$y(m) - E_{\text{month}}(m)$	13,2	59,4	57,2	-72,4	-172,5	135,8
Ранжированный вариационный ряд	13,2	42,0	57,2	59,4	89,0	135,8
Наблюдаемые квантили	0,4	52,9			89,0	135,8
Ожидаемые вероятности	7/13= 0,5385		10/13= 0,7692		11/13= 0,8462	12/13= 0,9231
Ожидаемые нормальные квантили z_k	0,097		0,736		1,020	1,426

В ранжированном вариационном ряде близкие по значению варианты группируются в одну группу со значением, равным среднему арифметическому этих близких значений. (См. таблицу 2.) В результате получается *сгруппированный ранжированный вариационный ряд*, варианты которого соответствуют наблюдаемым квантилям. Значения ожидаемой функции распределения $F_{12}(y(m) - E_{\text{month}}(m))$ (см. ожидаемые вероятности в таблице 2) вычисляются стандартным образом [4]. По этим значениям находятся ожидаемые (нормированные) нормальные квантили z_k при помощи online калькулятора Normal Distribution Calculator (<http://stattrek.com/online-calculator/normal.aspx>). (Заметим, что обратная задача нахождения значений функции распределения по квантилям решена авторами на Паскале [12].)



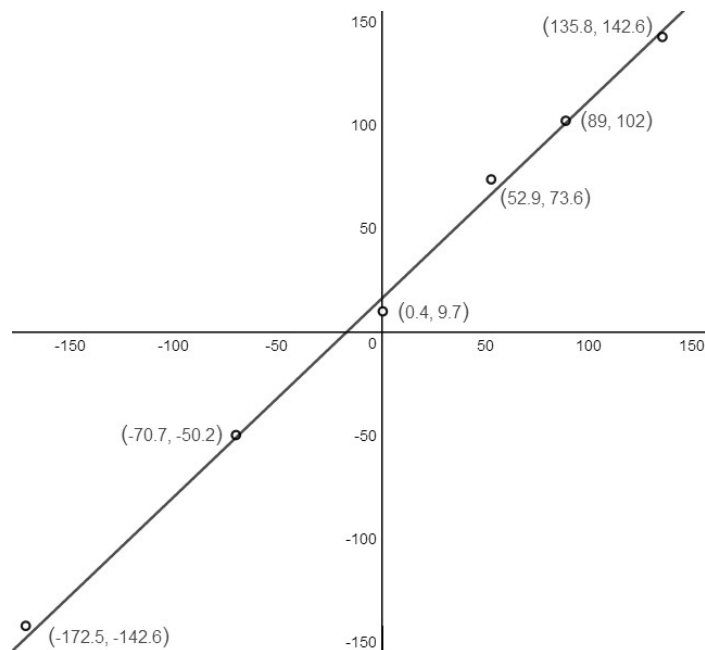


Рис. 2. Квантиль-квантильный график и регрессионная прямая
Fig. 2. Quantile-quantile graph and regression line

Наконец на плоскости отмечаются точки с абсциссами, равными наблюдаемым квантилям (т.е. значениям вариант сгруппированного ранжированного вариационного ряда), и ординатами, равными соответствующим ожидаемым нормальным квантилям z_k (таблица 2). На рисунке 2 все ординаты умножены на 100, а также построена линейная регрессия для удобства восприятия построенного квантиль-квантильного графика. Поскольку все шесть отмеченных точек приблизительно лежат на одной прямой, отклонения $y(m) - E_{\text{month}}(m)$ считаются распределёнными по закону, близкому к нормальному. Вопрос о степени этой близости адресуется в разделе 6.

6. Заключение: умный энергометр

В разделе 4 фактически описан принцип работы прибора, который авторы назвали умным энергометром, для учёта электропотребления. Прибор этот позволяет вовремя обнаружить перерасход (или недорасход) электроэнергии, чтобы принять оперативные превентивные меры. При ежедневном учёте прибор сигнализирует пользователю о нештатном повышении (соответственно понижении) уровня электропотребления при выходе за пределы трубчатой контрольной окрестности четыре дня подряд (раздел 4). Остаётся выразить надежду на то, что предложенный принцип работы нового прибора и сам такой прибор – умный энергометр – будут полезными дополнениями к так

называемым системам учёта и планирования энергопотребления (Monitoring and Targeting [17]).

Поскольку предложенная в работе модель по сути оказалась близкой к общепринятой модели длины светового дня (в часах), можно сделать вывод, что потребление энергии (по крайней мере, на общедомовые нужды) имеет основным фактором длину светового дня.

Помимо задач для дальнейшего исследования, поставленных в конце раздела 4, укажем здесь ещё одну. В предложенной модели можно также учесть тренд и рассмотреть модель, основанную на сезонно-трендовой декомпозиции [5]. Тогда модели (1) и (3) надо строить, отсчитывая не от оси t , а от линейной регрессии вариационного временного ряда в таблице 1. В таких моделях отклонения фактических наблюдений от теоретических ожидаются распределёнными ещё ближе к нормальному закону, чем даже в довольно точной модели (1) из раздела 5. Шаги в подобном направлении сделаны в интересной работе Е.А. Проциной [22]. Вообще естественно считать, что *чем ближе к нормальному закону эти отклонения, тем адекватней модель*.

В заключение сформулируем ещё один важный тезис, который сегодня, к сожалению, многие в России почему-то не принимают. Этот тезис состоит в том, что *статистически грамотный учёт электропотребления – это ключ к воплощению энергосберегающих мер*. Сформулированный тезис со-



гласуется с чрезвычайно популярными сегодня подходами управления, основанными (i) на учёте и планировании энергопотребления [17, 21] и (ii) на цикле DMAIC, второе и пятое звенья которого соответственно означают Measure и Control [19].

Литература

1. Бетин А.В., Лавренченко С.А. Теоретико-графовый подход к одной фармацевтической задаче. Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии, фармакологии и медицине. Т. 2. Вторая международная научно-практическая конференция (Санкт-Петербург, 26–28 октября 2011 г.) : Сборник статей / Под ред. А.П. Кудинова и Б.В. Крылова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 123–125. ISBN 978-5-7422-3209-4.
2. Згонник Л.В. Антикризисное управление: учебник. М.: ООО ИТК Дашков и К°, 2010. 207 с.
3. Згонник Л.В. Антикризисное управление: учебник. М.: ООО ИТК Дашков и К°, 2014. 208 с.
4. Иванников Д.А., Фомичев Е.Н. Основы метрологии и организации метрологического контроля: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2001. URL: <https://t.co/5SixuTlkjc> (дата обращения: 05.03.2018).
5. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on LOESS // J. Offic. Stat. 1990. Т. 6. № 1. С. 3–73.
6. Лавренченко С.А. Проверка нормальности результатов мониторинга электропотребления // Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики. XII Международная конференция, приуроченная к 85-летию профессора Алишаева М. Г. (Махачкала, 19–22 сентября 2017 г.): Материалы. С. 131–136. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2017. 235 с.
7. Лавренченко С.А., Гладская И.Г., Згонник Л.В., Сумзина Л.В. Умный энергометр // Управление качеством электрической энергии: Международная научно-практическая конференция (Москва, 23–25 ноября 2016 г.) : Материалы. С. 177–184. М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2017. 300 с. ISBN 978-5-905486-14-2. URL: <https://t.co/eqjavwSsuY> (дата обращения: 05.03.2018).
8. Лавренченко С.А., Горшкова Л.В., Лао Ш.С. Антагонистические лог-пары в социально-гуманитарных науках // Сервис plus. 2017. Т. 11. № 2. С. 87-101. DOI: 10.22412/1993-7768-11-2-11. URL: <https://t.co/bd2GoLumFN> (дата обращения: 05.03.2018).
9. Лавренченко С.А., Дуборкина И.А. Алгоритмы поиска эффективных логистических цепей сети процесса для сферы сервиса // Сервис в России и за рубежом. 2015. Т. 9. № 2 (58). С. 37–48. DOI: 10.12737/11889. URL: <https://t.co/1J1PtBkIt> (дата обращения: 05.03.2018).
10. Лавренченко С.А., Дуборкина И.А. Алгоритмы поиска эффективных логистических цепей // Статья в открытом архиве arXiv библиотеки Корнельского университета (arXiv, Cornell University e-print repository) <http://arxiv.org/>. Итака, штат Нью-Йорк (США). 09.04.2015. № arXiv:1504.03170 . 10 с. URL: <https://t.co/lhU6Qdhap1> (дата обращения: 05.03.2018).
11. Лавренченко С.А., Згонник Л.В., Гладская И.Г. Статистический подход к управлению московскими многофункциональными центрами // Сервис в России и за рубежом. 2016. Т. 10. № 6 (67). С. 36–49. DOI: 10.12737/21207. URL: <https://t.co/wCmTatbnFm> (дата обращения: 05.03.2018).
12. Лавренченко С.А., Згонник Л.В., Гладская И.Г. Статистические подходы к управлению показателями качества услуг // Сервис plus. 2016. Т. 10. № 4. С. 35–44. DOI: 10.22412/1993-7768-10-4-4. URL: <https://t.co/USc2RqhPWD> (дата обращения: 05.03.2018).
13. Лавренченко С.А., Згонник Л.В., Гладская И.Г., Лао Ш.С., Соломянная М.Е. Статистические подходы к управлению показателями качества сервиса // Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: Материалы Международной научно-практической конференции, Сочи, 22–31 мая 2016 г. / Соч. гос. ун-т: Материалы. С. 21–23 / Науч. ред.: Ю.И. Дрейзис, И.Л. Макарова, А.Р. Симонян, Е.И. Улитина. Сочи: Типография ИП Кривлякин С.П., 2016. 71 с. ISBN 978-5-91789-211-5.
14. Лавренченко С.А., Згонник Л.В., Гладская И.Г., Политикова Н.А. Математические модели мониторинга и контроля электропотребления с учётом фактора сезонности // Сервис в России и за рубежом. 2017. Т. 11. № 5 (75). С. 133–140. DOI: 10.22412/1995-042X-11-5-12. URL: <https://t.co/9XoHccPWai> (дата обращения: 05.03.2018).
15. Лавренченко С.А., Лао Ш.С., Орехова Н.А., Соломянная М.Е. Методология управленческого цикла мер по энергосбережению // Региональные особенности реализации государственной политики. Сборник научных статей преподавателей и студентов Института туризма и



сервиса РГУТИС в г. Люберцы. С. 61–65 / Ред.- сост.: Горшкова Л.В. М.: Издательство «Перо», 2017. 88 с. ISBN 978-5-906961-57-0.

16. Лавренченко С.А., Магомедов А.М. Характеристический цикл раскраски графа // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2015. № 6. С. 68–73. URL: <https://t.co/xq37B9EcBo> (дата обращения: 05.03.2018).

17. Lontay Z., Pál A., Bakoss G., Werring L. Regulatory Implications of Energy Efficiency Policies: INOGATE Textbook. European Union: ERRRA, 2011. 72 p. <https://t.co/pzKMxumgls> (дата обращения: 05.03.2018).

18. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс. М.: Дело, 2007. 504 с. ISBN 978-5-7749-0473-0.

19. Montgomery D.C. Introduction to Statistical Quality Control (7th Edition). Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013. 766 с. ISBN: 978-1-118-14681-1.

20. Peck R., Olsen C., Devore J.L. Introduction to Statistics and Data Analysis. 5th Edition. Boston, MA: Cengage Learning, 2015. 844 с. ISBN 1305445961, 9781305445963.

21. Промышленная экология / alfar.ru. URL: <https://t.co/xBobig0J9P> (дата обращения: 05.03.2018).

22. Пронина Е.А. Об одной математической модели электропотребления с учётом данных мониторинга // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 9. С. 333–341. URL: <https://t.co/4fVXUeYsV> (дата обращения: 05.03.2018).

23. Siegel A. Practical Business Statistics. 6th Edition. Burlington, MA: Elsevier, 2012.

24. Stewart J. Calculus. 8th Edition. Pacific Grove, California, USA: Brooks Cole, 2015.

25. Сярмина Т.С. Моделирование уровня энергопотребления в многоквартирном доме / Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: Материалы Международной научно-практической конференции, Сочи, 22–31 мая 2016 г. / Соч. гос. ун-т: Материалы. С. 51–53 / Науч. ред.: Ю.И. Дрейзис, И.Л. Макарова, А.Р. Симонян, Е.И. Улитина. Сочи: Типография ИП Кривлякин С.П., 2016. 71 с.

26. Thode H.C. Testing for normality. New York: Marcel Dekker, 2002. ISBN 0-8247-9613-6.

27. Шмойлова Р. А., Минашкин В. Г., Садовникова Н. А. Практикум по теории статистики. 2 изд. М.: Финансы и статистика, 2004.

References:

1. Betin A.V., Lavrenchenko S., A graph theoretical approach to a pharmaceutical problem. High Technologies, Fundamental and Applied Research in Physiology, Pharmacology and Medicine. Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, October 26–28, 2011), vol. 2. St. Petersburg: Izd-vo Politekh. un-ta, 2011, pp. 123–125. ISBN 978-5-7422-3209-4. (In Russ.)

2. Zgonnik L.V., Anti-crisis Management: Textbook. Moscow: OOO ITK Dashkov i K, 2010, 207 p. (In Russ.)

3. Zgonnik L.V., Anti-crisis Management: Textbook. Moscow: OOO ITK Dashkov i K, 2014, 208 p. (In Russ.)

4. Ivannikov D.A., Fomichev E.N., Basics of Metrology and Organization of Metrological Control: Textbook. Nizhny Novgorod: Nizhegor. gos. tekhn. un-t, 2001. (In Russ.) Available at: <https://t.co/5SIxuTlkjc> (Accessed on March 05, 2018)

5. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I., STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on LOESS. J. Offic. Stat., vol. 6, no. 1, 1990, pp. 3–73.

6. Lavrenchenko S.A., Verification of the normality of the monitoring data for electricity consumption. Fundamental and Applied Problems of Mathematics and Informatics. Proceedings of the XII International Conference to the 85th Anniversary of Professor Alishaev M.G. (Makhachkala, September 19–22, 2017). Makhachkala: Publishing House of Dagestan State University, 2017, pp. 131–136. (In Russ.)

7. Lavrenchenko S.A., Gladskaya I.G., Zgonnik L.V., Sumzina L.V. A smart energy meter. Power Quality Management: Proceedings of the International Conference (Moscow, 23–25 November, 2016). Moscow: Raduga Publishers, 2017, pp. 177–184. ISBN 978-5-905486-14-2. ISBN 978-5-905486-14-2. (In Russ.) Available at: <https://t.co/eqjavwSsuY> (Accessed on March 05, 2018)

8. Lavrenchenko S.A., Gorshkova L.V., Lao Sh.S., Antagonistic log-pairs in the social sciences and the humanities. *Servis plus*, vol. 11, no. 2, 2017, pp. 87–101. DOI: 10.22412/1993-7768-11-2-11. (In Russ.) Available at: <https://t.co/bd2GoLumFN> (Accessed on March 05, 2018)



9. Lavrenchenko S., Duborkina I. Search algorithms of effective logistics chains of network for service industry. *Servis v Rossii i za rubezhom*, vol. 9, no. 2 (58), 2015, 37–48. DOI: 10.12737/11889. (In Russ.) Available at: <https://t.co/1J1PtBkIt> (Accessed on March 05, 2018)
10. Lawrencenko S., Duborkina I.A., Search algorithms for efficient logistics chains. Deposited in arXiv.org, Cornell University e-print repository. Ithaca, NY, USA. 9 Apr. 2015. No. arXiv:1504.03170. 10 p. (In Russ.) Available at: <https://t.co/lhU6Qdhap1> (Accessed on March 05, 2018)
11. Lawrencenko S., Zgonnik L., Gladskaya I., Managing Moscow multifunctional service centers: Statistical approach. *Servis v Rossii i za rubezhom*, vol. 10, no. 6 (67), 2016, 36–49. DOI: 10.12737/21207. (In Russ.) Available at: <https://t.co/wCmTatbnFm> (Accessed on March 05, 2018)
12. Lawrencenko S., Zgonnik L.V., Gladskaya I.G., Statistical approaches to service quality management. *Servis plus*, vol. 10, no. 4, 2016, pp. 35–44. DOI: 10.22412/1993-7768-10-4-4. (In Russ.) Available at: <https://t.co/USc2RqhPWD> (Accessed on March 05, 2018)
13. Lawrencenko S.A., Zgonnik L.V., Gladskaya I.G., Lao S.S., Solomyannaya M.E., Statistical approaches to the management of service quality characteristics. Actual Problems of Mathematical Modeling and Information Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Sochi, May 22–31, 2016. Sochi: Tipografiya IP Krivlyakin S.P., 2016, pp. 21–23. ISBN 978-5-91789-211-5. (In Russ.)
14. Lawrencenko S.A., Zgonnik L.V., Gladskaya I.G., Politikova N.A., Mathematical models for monitoring and control of electric energy consumption with account of the seasonal factor. *Servis v Rossii i za rubezhom*, vol. 11, no. 5 (75), 2017, 133–140. DOI: 10.22412/1995-042X-11-5-12. (In Russ.) Available at: <https://t.co/9XoHccPWai> (Accessed on March 05, 2018)
15. Lawrencenko S.A., Lao Sh.S., Orekhova N.A., Solomyannaya M.E. Methodology of the management cycle for energy saving measures. Regional Features of the Implementation of the State Policy: collection of scientific articles of teachers and students of the Institute for Tourism and Service of the RSUTS in Lyubertsy. Moscow: Izdatel'stvo «Pero», 2017, pp. 61–65. ISBN 978-5-906961-57-0.
16. Lawrencenko S.A., Magomedov A.M., Characteristic coloring cycle. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Estestvennye nauki*, no. 6, 2015, 68–73. (In Russ.) Available at: <https://t.co/xq37B9EcBo> (Accessed on March 05, 2018)
17. Lontay Z., Pál A., Bakoss G., Werring L., Regulatory Implications of Energy Efficiency Policies: INOGATE Textbook. European Union: ERRA, 2011, 72 p. <https://t.co/pzKMxymgls> (Accessed on March 05, 2018)
18. Magnus Ya.R., Katyshev P.K., Peresetskiy A.A., Econometrics. Initial Course. Moscow: Delo, 2007, 504 p. ISBN 978-5-7749-0473-0. (In Russ.)
19. Montgomery D.C., Introduction to Statistical Quality Control. 7th Edition. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013, 766 p. ISBN: 978-1-118-14681-1.
20. Peck R., Olsen C., Devore J.L., Introduction to Statistics and Data Analysis. 5th Edition. Boston, MA: Cengage Learning, 2015, 844 p. ISBN 1305445961, 9781305445963.
21. Industrial Ecology. alfar.ru. (In Russ.) Available at: <https://t.co/xBobig0J9P> (Accessed on March 05, 2018)
22. Pronina E.A., About one power consumption mathematical model taking into account the monitoring data. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 9, 2013, 333–341. (In Russ.) Available at: <https://t.co/4fVXUeYsV> (Accessed on March 05, 2018)
23. Siegel A., Practical Business Statistics. 6th Edition. Burlington, MA: Elsevier, 2012.
24. Stewart J., Calculus. 8th Edition. Pacific Grove, California, USA: Brooks Cole, 2015.
25. Syarmina T.S. Modeling the level of energy consumption in an apartment building. Actual Problems of Mathematical Modeling and Information Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Sochi, May 22–31, 2016. Sochi: Tipografiya IP Krivlyakin S.P., 2016, pp. 51–53. (In Russ.)
26. Thode H.C., Testing for Normality. New York: Marcel Dekker, 2002. ISBN 0-8247-9613-6.
27. Shmoilova R.A., Minashkin V.G., Sadovnikova N.A., Practice on the Theory of Statistics. 2nd Edition. Moscow: Finansy i statistika, 2004. (In Russ.)

