

УДК 519.213

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.57.6.021](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.57.6.021)

## Плотность вероятностей моментов включения бытовых приборов в жилом секторе и её аппроксимации функциями Вейбулла, Гаусса и Лоренца

А.В. Боровский, А.А. Юменчук✉

*Байкальский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье анализируются данные о стохастическом энергопотреблении в жилом секторе и поселке на 500 домохозяйств. Рассмотрены журналы энергопотребления из двух общедоступных баз данных REFIT и UK DALE, которые содержат сведения о времени включения и выключения бытовых приборов и потребляемой ими мощности. Количество зафиксированных включений бытовых приборов в журналах энергопотребления составило ~30 000. Продемонстрировано, что для графиков потребления электрической энергии в коммунально-бытовом секторе характерны утренние и вечерние максимумы потребления. Для получения достаточно точных результатов имитационного моделирования суточных графиков электрических нагрузок необходимо определить плотности включений электрических приборов, т. е. число включений электроприборов в единицу времени. В статье анализируется, какая функция плотности вероятностей наилучшим образом аппроксимирует экспериментальные данные. Аппроксимация плотностей моментов включения бытовых приборов выполняется с использованием следующих функций: Вейбулла, Гаусса, Лоренца. Обосновывается расчет параметров распределений. Поиск наиболее подходящего вида аппроксимации осуществляется на основе сравнения среднеквадратичного отклонения между экспериментальными точками и теоретической функцией. Показано, что предпочтительней использовать плотность вероятностей Вейбулла.

**Ключевые слова:** стохастическое моделирование, аппроксимация Вейбулла, бытовая электрическая нагрузка, суточные графики электропотребления, плотность распределения вероятностей.

**Для цитирования:** Боровский А.В., Юменчук А.А. Плотность вероятностей моментов включения бытовых приборов в жилом секторе и её аппроксимации функциями Вейбулла, Гаусса и Лоренца. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2026;14(6). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2346> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.57.6.021

## The probability density of switching on household appliances and its approximations by the Weibull, Gauss and Lorentz functions

A.V. Borovskiy, A.A. Yumenchuk✉

*Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation*

**Abstract.** Data on stochastic energy consumption in the residential sector and in the village for 500 households are analyzed. The analyzed energy consumption logs from two foreign databases UK DALE and REFIT contain information about the time of switching on and off of household appliances and the power they consume. The number of recorded inclusions of household appliances in the energy consumption logs was ~30,000. It is demonstrated that the schedules of electric energy consumption in the public sector are characterized by morning and evening consumption peaks. To obtain sufficiently accurate simulation results of daily electrical load schedules, it is necessary to determine the switch-on densities of electrical appliances, i.e. the number of switch-on devices per unit of time. The article analyzes which probability density function best approximates experimental data. The approximation of the moment densities of household appliances is performed using the following functions: Weibull,

Gauss, Lorentz. The calculation of the distribution parameters is justified. The search for the most appropriate type of approximation is based on comparing the standard deviation between experimental points and the theoretical function. It is shown that it is preferable to use the Weibull probability density.

**Keywords:** stochastic modeling, Weibull approximation, household electrical load, daily load profiles, probability density function.

**For citation:** Borovskiy A.V., Yumenchuk A.A. The probability density of switching on household appliances and its approximations by the Weibull, Gauss and Lorentz functions. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(6). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2346> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.57.6.021

## Введение

В последние годы, представляют интерес исследования в области стохастической электротехники. Такие исследования вызваны необходимостью создания программ имитационного моделирования электрической нагрузки в жилых районах [1, 2]. Владельцы жилых помещений случайным образом включают электрические приборы. На клеммах электрической ячейки, питающей жилой район, возникает стохастическая электрическая нагрузка. Часто она представляет собой утренний и вечерний электрические максимумы. Описание суточной электрической нагрузки представляет собой проблему статистической теории [3, 4]. В настоящей статье рассмотрим вопрос определения плотности вероятностей моментов включения бытовых электроприборов и её аппроксимацию функциями Вейбулла, Гаусса и Лоренца.

## Материалы и методы

*Открытые базы данных электрической нагрузки для жилых домов.* В обзорных статьях, посвященных открытым базам данных потребления электроэнергии в жилом секторе, упоминаются такие общедоступные базы данных, как Adaptive Charging Network Dataset (ACN), Smart-Grid Smart-City (SGSC), Pecan Street Dataset; REDD, AMPD, UK Domestic Appliance-Level Electricity (DALE), GREEND Dataset, REFIT, Electrical Load Measurements, Tracebase data set (TBS) и другие. В данной статье рассматриваются базы данных REFIT и UK DALE.

База данных UK DALE содержит сведения об энергопотреблении бытовых приборов в пяти домохозяйствах. Для каждого типа бытовых приборов, таких как холодильники, стиральные и посудомоечные машины, электрические чайники, телевизоры, плиты и другие приборы, составлены отдельные журналы энергопотребления, содержащие сведения о времени включения прибора, продолжительности работы, времени выключения и потребляемой мощности бытовыми приборами в ваттах (Вт) во время работы и во время простоя. Для одного дома измерения производились в период с 2012 по 2017 год; для остальных четырех, представленных в базе данных – в 2013 и 2014 годы. Журналы энергопотребления бытовых приборов для первого дома доступны за промежуток времени продолжительностью в 4,5 года, а для остальных четырех – за промежутки времени от 1 до 8 месяцев. Записи в журналы энергопотребления заносились с интервалом 6 секунд.

База данных REFIT содержит сведения об энергопотреблении в 21 домохозяйстве. Журналы энергопотребления составлены аналогично журналам UK DALE и содержат сведения о времени включения и выключения бытовых приборов, продолжительности работы и потребляемой мощности в ваттах. Измерения выполнялись в период с 2013 по 2014 годы, записи в журналы потребления электроэнергии заносились с интервалом в 8 секунд.

*Эргодическая теорема и ее применение для определения плотности вероятности моментов включения бытового прибора.* Время включения электрического прибора является случайной величиной. На оси времени возникает дискретная последовательность моментов включения бытового прибора  $t_i, i = 1, 2, \dots, I$ . За время измерения в один год прибор может включаться  $I > 1000$  и более раз. Разобьем ось времени посуточно. Будем считать условия включения прибора каждые сутки идентичными. Прибор включается в одном и том же доме, одними и теми же людьми. Тогда общее количество суток эксперимента можно считать ансамблем одинаковых систем. В каждой единице ансамбля измерения проводятся в течение одних суток.

Ряд измерений  $t_i, i = 1, 2, \dots, I$  переводится на интервал времени в одни сутки следующим образом:

$$t'_i = t_i - \left[ \frac{t_i}{24} \right]. \quad (1)$$

Оператор  $[\cdot]$  выделяет целую часть числа.

Сутки разобьем на более мелкие интервалы времени  $\Delta t_k, k = 1, 2, \dots, K$ . Подсчитаем, какое количество точек  $t'_i$  попадает в интервал  $\Delta t_k$ . Обозначим эти числа  $N_k, k = 1, 2, \dots, K$ . Дискретный набор чисел  $N_k$  пропорционален дискретной плотности вероятностей моментов включения бытового прибора:

$$N_k = I \cdot f_k, \sum_{k=1}^K N_k = I, \sum_{k=1}^K f_k = 1. \quad (2)$$

Эргодическая теорема (гипотеза) [5] утверждает, что в рассматриваемом случае дискретной случайной величины можно проводить усреднение, используя сумму по индексу  $i$  и сумму по индексу  $k$ . Результаты обоих усреднений при стремлении  $i, k \rightarrow \infty$  должны совпасть. Например:

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I t'_i \rightarrow \sum_{k=1}^K f_k t_k, \quad t_k = \frac{24}{K} k. \quad (3)$$

Применение эргодической теоремы позволяет найти величину  $f_k, k = 1, 2, \dots, K$  из анализа баз данных энергопотребления жилых домов.

На Рисунке 1 показана дискретная плотность распределения вероятностей моментов включения электрического прибора из измерений моментов включения и выключения приборов в одном доме на длительном интервале времени.

На Рисунках 2 и 3 просуммированы результаты включений различных бытовых приборов в разные дни в 18 домах, журналы энергопотребления которых приведены в иностранных общедоступных базах данных энергопотребления UK DALE и REFIT. На Рисунках 4 и 5 домохозяйства в российском поселке включают электрические бытовые приборы в один день.

*Методы аппроксимации плотности вероятностей, использующие эмпирическую ширину.* Одним из методов аппроксимации плотности вероятностей, использующих эмпирическую ширину, является аппроксимация распределением Вейбулла. Для этого выполняются следующие действия. Определяется параметр ширины распределения Вейбулла:

$$\lambda = \Delta z(k) / \Delta t(k), \quad (4)$$

где  $\lambda$  – параметр ширины;  $k$  – параметр формы;  $\Delta z(k)$  – ширина распределения Вейбулла.

Параметр  $\Delta t(k)$  определяется из экспериментальной кривой. Параметр  $\Delta z(k)$  определяется по таблице в работе [6].

Далее определяется абсцисса точки максимума  $t^*$  распределения Вейбулла:

$$t^* = \lambda \left( \frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{k}}, k > 1. \quad (5)$$

После этого определяется параметр сдвига с распределения Вейбулла путем совмещения теоретического и экспериментального максимумов:

$$c = t^* - t_{\text{эксп}}, \quad (6)$$

Параметр формы  $k$  можно варьировать и подобрать значение, которое даст минимальное среднеквадратичное отклонение.

*Использование операции отражения распределения Вейбулла.* Обратим внимание на следующее обстоятельство. Дискретная случайная величина  $t_i, i = 1, 2, \dots, I$  описывает стационарный случайный процесс. Распределение вероятностей и его плотность не зависят от физического времени. Поэтому аппроксимировать плотность распределения вероятностей можно любыми функциями. Гауссова и Лоренцева функции симметричны относительно своего максимума. А функция Вейбулла может рассматриваться в прямом и отраженном относительно своего максимума варианте.

Операция отражения распределения Вейбулла выполняется относительно перпендикуляра, опущенного из точки максимума распределения Вейбулла на ось абсцисс.

Чтобы отразить распределение Вейбулла относительно перпендикуляра, опущенного из точки максимума распределения на ось абсцисс, необходимо сделать замену переменной:

$$t' = t^* + (t^* - t), \quad (7)$$

где  $t^*$  – абсцисса точки максимума распределения.

Для доказательства того, что отраженное распределение Вейбулла хорошо описывает некоторые случаи, можно выполнить сравнение площадей под отраженным распределением Вейбулла и экспериментальной кривой в его пределах.

### Результаты и обсуждение

*Аппроксимация вечернего максимума для одного дома.* В данном разделе статьи выполнена аппроксимация распределением Вейбулла плотности включений электрического чайника в вечернее время в первом доме из базы данных UK DALE, для которого журналы энергопотребления бытовых приборов велись с 9 ноября 2012 года по 26 апреля 2017 года.

Плотность вероятностей распределения Вейбулла имеет следующий вид:

$$f(t, \lambda, k, c) = \left( \frac{k}{\lambda} \right) \left( \frac{t-c}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{t-c}{\lambda} \right)^k}. \quad (8)$$

Анализ графиков энергопотребления в жилом секторе свидетельствует о том, что для них характерны утренние и вечерние максимумы потребления электроэнергии [7]. Данные максимумы энергопотребления имеют колоколообразную форму с затянутой правой стороной. Присутствие на графиках энергопотребления жилых домов утренних и вечерних максимумов также подтверждается соответствующими исследованиями и наблюдениями [8, 9].

На Рисунке 1 приведен результат аппроксимации плотности включений электрического чайника в вечернее время в первом доме из базы данных UK DALE с использованием функции Вейбулла. Параметры распределения Вейбулла: параметр формы  $k = 2$ , параметр ширины  $\lambda = 3,5442$ , параметр сдвига  $c = 15,5353$  ч.

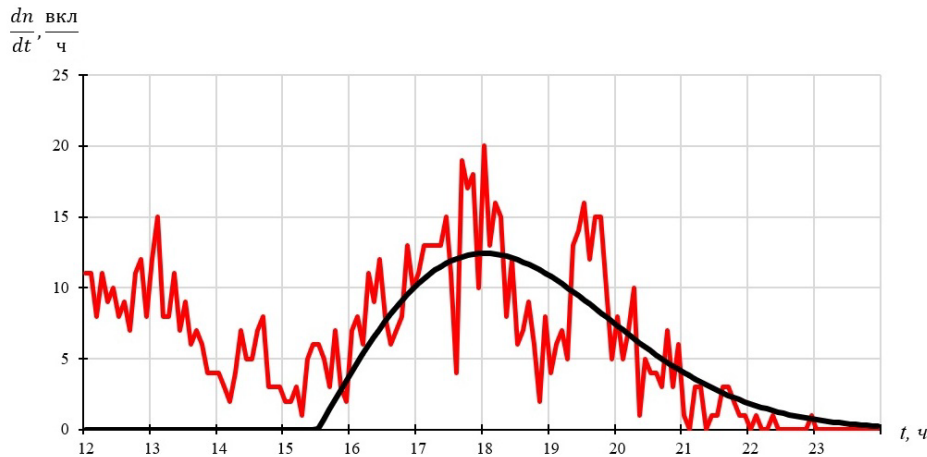


Рисунок 1 – Аппроксимация плотности включений электрического прибора в одном из домов базы UK DALE в вечернее время с использованием функции Вейбулла  
Figure 1 – Approximation of the turn-on density of an electrical appliance in one of the houses of the UK DALE database in the evening using the Weibull function

Количественное сравнение полученной теоретической кривой с экспериментальной функцией определяется на основе среднеквадратичного отклонения кривых:

$$\overline{p^2} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (f_3(t_i) - f_T(t_i))^2, p = \sqrt{\overline{p^2}}, \quad (9)$$

где  $f_3(t_i)$  – значение экспериментальной функции в момент времени  $t_i$ ;  $f_T(t_i)$  – значение теоретической функции в тот же момент времени;  $N$  – количество значений функций;  $\overline{p^2}$  – дисперсия;  $p$  – среднеквадратичное отклонение статистических данных от теоретической кривой.

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиками дисперсия составила  $\overline{p^2} = 10,5655$ , среднеквадратичное отклонение –  $p = 3,2505$  вкл/ч.

На Рисунках 1–3 в красном цвете продемонстрировано экспериментальное число включений электрического чайника, который является косвенным индикатором присутствия людей в доме. На графиках наблюдаются широкие максимумы плотности включений в обеденное время в районе 12–13 часов дня, что может быть обусловлено нахождением в жилых помещениях детей, неработающего населения или возвращением части людей в жилые дома в обеденный перерыв.

*Аппроксимации для 18 домов.* В данном разделе статьи выполнена аппроксимация функцией Вейбулла плотности включений электрического прибора (чайника) в утреннее время в первом и втором домах из базы данных UK DALE, а также в домах с №2 по №9; с №11 по №13; №15; №17; с №19 по №21 (суммарно для 18 домов). Из базы UK DALE выбраны первые два дома из пяти, так как для них журналы энергопотребления электрического прибора велись за длительный промежуток времени (более полугода). Оставшиеся три дома не учитываются, так как для них журналы энергопотребления прибора довольно короткие (менее месяца). Из базы данных REFIT выбраны 16 домов, для которых велись журналы энергопотребления электрических приборов в соответствии с информацией о «Контролируемых электроприборах в каждом доме», прилагаемой к базе данных.

На Рисунке 2 приведен результат аппроксимации плотности включений электрического прибора в утреннее время в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT с использованием функции Вейбулла. Для распределения Вейбулла: параметры формы  $k = 2$ , ширины  $\lambda = 1,984$ , сдвига  $c = 6,47193$  ч.

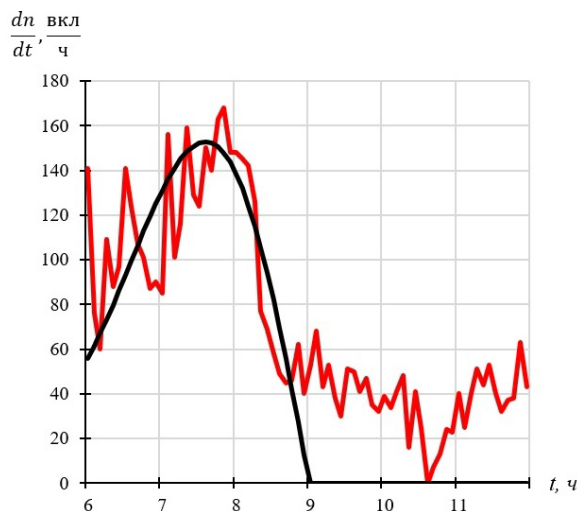


Рисунок 2 – Аппроксимация плотности включений электрического прибора в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT в утреннее время с использованием функции Вейбулла  
 Figure 2 – Approximation of the turn-on density of an electrical appliance in 18 houses from the UK DALE and REFIT databases in the morning using the Weibull function

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $\overline{p^2} = 739,79$ , среднеквадратичное отклонение –  $p = 27,2$  вкл/ч.

На Рисунке 3 приведен результат аппроксимации плотности включений электрического прибора в вечернее время в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT с использованием функции Вейбулла. Для распределения Вейбулла: параметры формы  $k = 2$ , ширины  $\lambda = 6,1807$ , сдвига  $c = 12,58774$  ч.

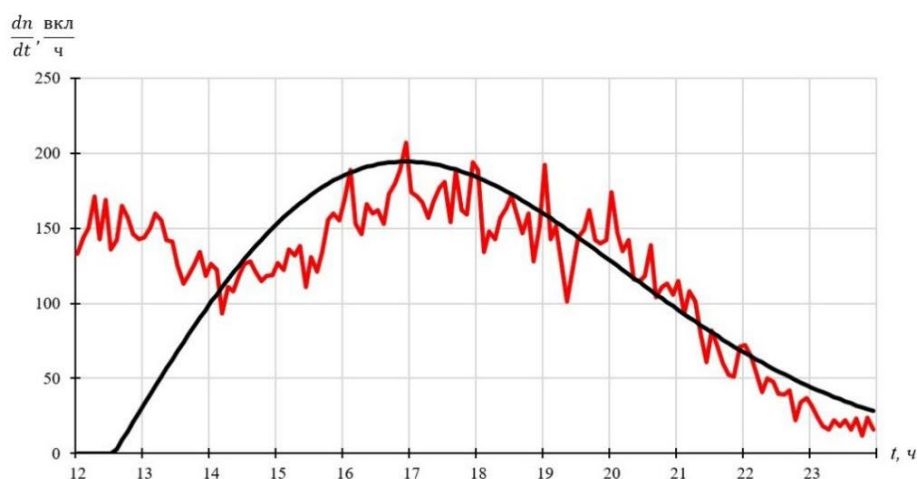


Рисунок 3 – Аппроксимация плотности включений электрического прибора в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT в вечернее время с использованием функции Вейбулла  
 Figure 3 – Approximation of the density of electrical appliance inclusions in 18 houses from the UK DALE and REFIT databases in the evening using the Weibull function

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $p^2 = 1652,53$ , среднее квадратичное отклонение –  $p = 40,65$  вкл/ч.

*Аппроксимации для российского посёлка.* На Рисунках 4 и 5 красная кривая демонстрирует реальный уровень энергопотребления посёлка в самый холодный день апреля 2024 года. Графики потребления электроэнергии предоставлены Иркутскими электрическими сетями для одного ввода ячейки, обслуживающей поселок на 500 сельских домов и участков [10].

На Рисунке 4 приведен результат аппроксимации энергопотребления российского поселка в утреннее время с использованием функции Вейбулла с параметрами формы  $k = 2$ , ширины  $\lambda = 3,4484$ , сдвига  $c = 4,6866$  ч.

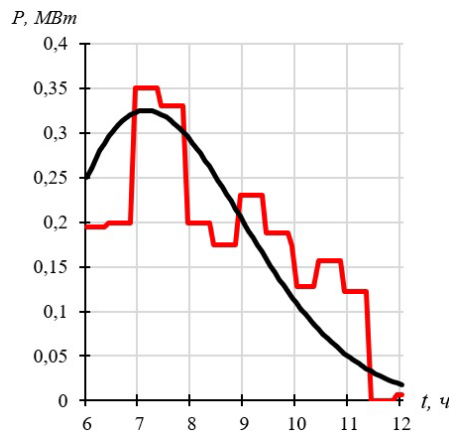


Рисунок 4 – Аппроксимация энергопотребления российского поселка в утреннее время с использованием функции Вейбулла

Figure 4 – Approximation of the energy consumption of a Russian village in the morning using the Weibull function

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $p^2 = 0,00408$ , среднее квадратичное отклонение –  $p = 0,0639$  МВт.

На Рисунке 5 приведен результат аппроксимации энергопотребления российского поселка в вечернее время с использованием функции Вейбулла с параметрами формы  $k = 2$ , ширины  $\lambda = 4,4678$ , сдвига  $c = 17,465$  ч.

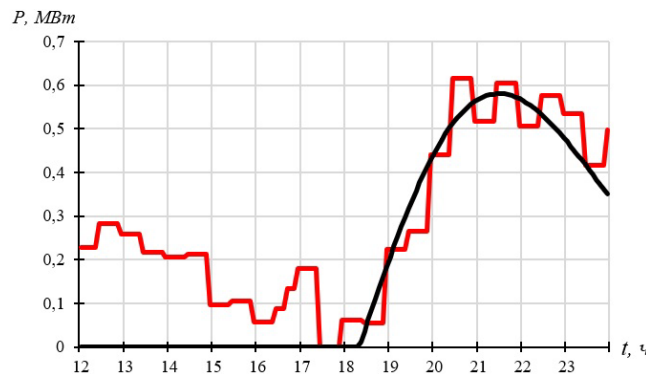


Рисунок 5 – Аппроксимация энергопотребления российского поселка в вечернее время с использованием функции Вейбулла

Figure 5 – Approximation of the energy consumption of a Russian village in the evening using the Weibull function

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $\overline{p^2} = 0,00414$ , среднеквадратичное отклонение –  $p = 0,06434$  МВт.

*Аппроксимации Гауссовой и Лоренцевой функциями.* Функция Гаусса имеет вид:

$$f(t, b, c, d) = be^{-\left(\frac{t-c}{d}\right)^2}, \quad (10)$$

где  $b$  – значение функции Гаусса в максимуме,  $c$  – положение максимума на оси времени,  $d$  – экспоненциальная полуширина функции Гаусса.

Рассмотрим случай с включениями электрического чайника в утреннее время в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT, который был приведен ранее на Рисунке 2. На Рисунке 6 продемонстрирован результат аппроксимации того же случая с использованием функции Гаусса. Параметры распределения Гаусса:  $b = 171,16$  вкл/ч,  $c = 7,239$  ч,  $d = 1,35$  ч.

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $\overline{p^2} = 1265,063$ , среднеквадратичное отклонение –  $p = 35,57$  вкл/ч.

Функция Лоренца имеет вид:

$$f(t, b, c, d) = \frac{b}{1+\left(\frac{t-c}{d}\right)^2}, \quad (11)$$

где  $b$  – значение функции Лоренца в максимуме,  $c$  – положение максимума на оси времени,  $d$  – полуширина функции Лоренца.

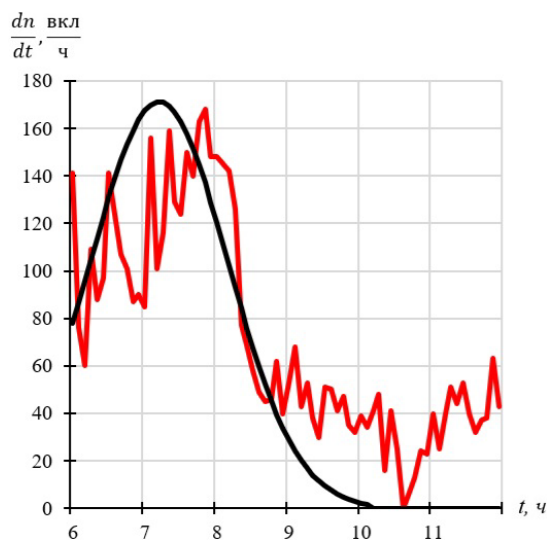


Рисунок 6 – Аппроксимация плотности включений электрического прибора в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT в утреннее время с использованием функции Гаусса

Figure 6 – Approximation of the turn-on density of an electrical appliance in 18 houses from the UK DALE and REFIT databases in the morning using the Gauss function

На Рисунке 7 приведен результат аппроксимации плотности включений электрического прибора в утреннее время в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT с использованием функции Лоренца. Параметры распределения Лоренца:  $b = 176,674$  вкл/ч,  $c = 7,239$  ч,  $d = 1,124$  ч.

При условии совпадения площадей под теоретическим и экспериментальным графиком дисперсия составила  $p^2 = 943,785$ , среднее квадратичное отклонение –  $p = 30,72$  вкл/ч.

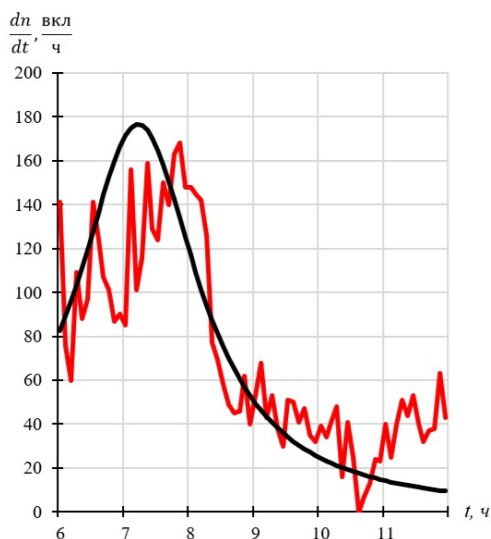


Рисунок 7 – Аппроксимация плотности включений электрического прибора в 18 домах из баз данных UK DALE и REFIT в утреннее время с использованием функции Лоренца

Figure 7 – Approximation of the turn-on density of an electrical appliance in 18 houses from the UK DALE and REFIT databases in the morning using the Lorentz function

Таким образом, при аппроксимации с использованием функций Вейбулла, Гаусса и Лоренца среднее квадратичное отклонение составило  $p = 27,2; 35,5; 30,72$  вкл/ч. Аппроксимация с использованием функции Вейбулла демонстрирует лучший результат.

### Заключение

В работе рассмотрены аппроксимации плотности включений бытовых приборов в разное время суток и потребляемой бытовыми приборами мощности. Целью работы является найти наиболее подходящий вид аппроксимации с наименьшим значением среднее квадратичного отклонения между экспериментальными точками и теоретической функцией, а также обосновать расчет параметров распределений. Аппроксимации выполнялись с использованием следующих видов аппроксимирующих функций: Вейбулла, Гаусса, Лоренца. Поскольку в открытом доступе отсутствуют российские базы данных, содержащие сведения об энергопотреблении, включении и выключении приборов в жилом секторе, исследование выполнялось на основании сведений из общедоступных баз данных REFIT и UK DALE. Результаты исследования демонстрируют, что аппроксимация с использованием функции Вейбулла наилучшая. Далее следуют функция Лоренца (критериально отличается от Вейбулла на 13 %) и функция Гаусса (критериально отличается от Вейбулла на 30 %). Таким образом, для имитационного моделирования суточных графиков электрических нагрузок оптимальным вариантом является использование функции Вейбулла. Такой выбор аппроксимирующей функции возникает вследствие того, что большая часть населения жилого района живет по определенному графику. Уходит на работу к определенному времени, приходит с работы в определенное время, ужинает, вечером пьет чай.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Гиря М.А., Шеина С.Г. Проблемы энергосбережения в жилищном фонде российских городов. *Инженерный вестник Дона*. 2018;(3). URL: [https://ivdon.ru/back\\_media/uploads/article/pdf/IVD\\_60\\_girya\\_sheina.pdf\\_20615f90f8.pdf](https://ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_60_girya_sheina.pdf_20615f90f8.pdf)  
Girya M.A., Sheina S.G. The problems of energy saving in the housing stock of Russian cities. *Engineering Journal of Don*. 2018;(3). (In Russ.). URL: [https://ivdon.ru/back\\_media/uploads/article/pdf/IVD\\_60\\_girya\\_sheina.pdf\\_20615f90f8.pdf](https://ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_60_girya_sheina.pdf_20615f90f8.pdf)
2. Штайнер В.Ю., Питык А.Н., Архипова Е.С. и др. Энергосбережение в России: основные проблемы и перспективы. *Инженерный вестник Дона*. 2017;(4). URL: [https://www.ivdon.ru/back\\_media/uploads/article/pdf/IVD\\_222\\_steiner\\_pityk.pdf\\_1flac56d92.pdf](https://www.ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_222_steiner_pityk.pdf_1flac56d92.pdf)  
Steiner V.Yu., Pityk A.N., Archipova E.S., et al. Energy saving in Russia: main problems and prospects. *Engineering Journal of Don*. 2017;(4). (In Russ.). URL: [https://www.ivdon.ru/back\\_media/uploads/article/pdf/IVD\\_222\\_steiner\\_pityk.pdf\\_1flac56d92.pdf](https://www.ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_222_steiner_pityk.pdf_1flac56d92.pdf)
3. Доброго К.В. Модель электрической нагрузки жилищно-коммунального объекта для исследования систем «генератор – накопитель – потребитель» методом Монте-Карло. *Наука и техника*. 2017;16(2):160–170. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-2-160-170>  
Dobrego K.V. Model for Electric Load of Community Housing Projects to Investigate "Generator – Accumulator – Consumer" System while Using Monte-Carlo Method. *Science and Technique*. 2017;16(2):160–170. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-2-160-170>
4. Кузнецов Б.Ф., Клибанова Ю.Ю., Сукьясов С.В. и др. Построение стохастической модели бытовой нагрузки на примере водонагревателя. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2019;23(5):958–966. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-5-958-966>  
Kuznetsov B.F., Klibanova Yu.Yu., Sukyasov S.V., et al. Building a stochastic model of residential load on example of a water heater. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2019;23(5):958–966. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-5-958-966>
5. Рытов С.М. *Введение в статистическую радиофизику*. Москва: Наука; 1966. 404 с.
6. Боровский А.В., Воронов А.В., Юменчук А.А. и др. Коэффициенты асимметрии и эксцесса для плотности вероятностей Вейбулла. *System Analysis & Mathematical Modeling*. 2025;7(1):97–110. [https://doi.org/10.17150/2713-1734.2025.7\(1\).97-110](https://doi.org/10.17150/2713-1734.2025.7(1).97-110)  
Borovsky A.V., Voronov A.V., Yumenchuk A.A., et al. The Coefficient of Asymmetry and the Access for the Weibull Probability Density. *System Analysis & Mathematical Modeling*. 2025;7(1):97–110. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2713-1734.2025.7\(1\).97-110](https://doi.org/10.17150/2713-1734.2025.7(1).97-110)
7. Соловьева А.С., Шведов Г.В. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. 2023;23(1):27–37. <https://doi.org/10.14529/power230103>  
Solovyova A.S., Shvedov G.V. A comparative analysis of the electric load on weekdays and weekends of multi-apartment buildings with electric stoves in the power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"*. 2023;23(1):27–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/power230103>

8. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции. *Вопросы электротехнологии*. 2021;(2):57–67.  
Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., et al. Analysis of electric loads in multi-apartment residential complexes during an outbreak of coronavirus disease. *Electrical Engineering Issues*. 2021;(2):57–67. (In Russ.).
9. Тарнижевский М.В., Михайлов В.И. Моделирование суточных графиков электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей методом ортогональных разложений. *Электричество*. 1985;(5):66–68. URL: [https://www.booksite.ru/elektr/1985/1985\\_5.pdf](https://www.booksite.ru/elektr/1985/1985_5.pdf)
10. Боровский А.В., Юменчук А.А. Теория случайных импульсов электрической нагрузки для жилого сектора. *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2025;(2):128–139. <https://doi.org/10.25729/ESI.2025.38.2.011>  
Borovskiy A.V., Yumenchuk A.A. Theory of random electrical load pulses for the residential sector. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2025;(2):128–139. (In Russ.). <https://doi.org/10.25729/ESI.2025.38.2.011>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Боровский Андрей Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор Байкальского государственного университета, Иркутск, Российская Федерация.  
*e-mail:* [andrei-borovskii@mail.ru](mailto:andrei-borovskii@mail.ru)  
ORCID: [0000-0003-2119-1072](https://orcid.org/0000-0003-2119-1072)

**Andrey V. Borovskiy**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation.

**Юменчук Андрей Анатольевич**, преподаватель, Байкальский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация.  
*e-mail:* [andrey.yumenchuk@mail.ru](mailto:andrey.yumenchuk@mail.ru)  
ORCID: [0009-0005-6754-1631](https://orcid.org/0009-0005-6754-1631)

**Andrey A. Yumenchuk**, Lecturer, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 21.04.2026; одобрена после рецензирования 17.06.2026; принята к публикации 24.06.2026.*

*The article was submitted 21.04.2026; approved after reviewing 17.06.2026; accepted for publication 24.06.2026.*