

УДК 621.31.031

DOI 10.21661/r-469483

T.N. Васильева, В.А. Пушкин, Д.А. Жижнов

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЗА АВГУСТ – ОКТЯБРЬ 2017 ГОДА**

Аннотация: в статье авторами рассмотрены электрические нагрузки Рязанского государственного радиотехнического университета за август – октябрь 2017 года. Определены значения математического ожидания, дисперсии, среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации электрических нагрузок, а также максимальное и минимальное значения нагрузок в сутки, месяц, квартал.

Ключевые слова: система электроснабжения, электрические нагрузки, максимальное и минимальное значения электрических нагрузок.

T.N. Vasileva, V.A. Pushkin, D.A. Zhizhnov

**ELECTRIC LOADS OF THE RYAZAN STATE RADIO ENGINEERING
UNIVERSITY FOR AUGUST – OCTOBER 2017**

Abstract: in the article the authors considered electric loads for the period of August – October 2017. The values of mathematical expectation, dispersion, standard deviation, coefficient of variation of electrical loads, as well as the maximum and minimum of load values per day, month, quarter are determined.

Keywords: power supply system, electric loads, maximum and minimum values of electrical loads.

Введение

Основными характеристиками системы электроснабжения предприятий и бытовых потребителей являются режим их работы и прогнозируемая величина электрических нагрузок.

Электрическая нагрузка высшего учебного заведения в течение суток непостоянна. Она в основном суммируется из освещения помещений и работы лабораторных установок, а также бытовых приборов. Во время проведения дневных занятий нагрузка увеличивается, в ночное время суток уменьшается до минимальных значений. Наиболее интенсивные изменения её отмечаются в течение года, семестра, экзаменацационной сессии, каникул и преимущественно при проведении особых ремонтных работ.

Актуальность работы. В последние времена острой задачей является эффективное использование ресурсов электроэнергии. Присутствие большого количества приборов, использующих электрическую энергию, принуждает к увеличению расхода электрической энергии и к повышению электрических нагрузок. При этом уменьшается качество электрической энергии. В таком образовательном учреждении как университет, где количество приборов, питающихся от электрического тока, исчисляется тысячами, энергосбережение является актуальной проблемой [1–5].

Целью работы является определение электрических нагрузок зданий и сооружений Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ) для разработки мероприятий по сбережению электроэнергии и оценке ее качества.

Материал и методика исследования

На трансформаторной подстанции, обеспечивающей электроэнергией университет, расположена система АСКУЭ, которая собирает получаемый сигнал с приборов учёта электрической энергии и передаёт данные в городские электросети. Для выполнения поставленной цели обработаны данные о реальном потреблении электроэнергии университетом за август, сентябрь, октябрь месяцы 2017 года. Данные о нагрузках принимались из актов фактического потребления электроэнергии по часам ООО «Рязанская городская муниципальная энергосбытовая компания». Исследуемый период (август – октябрь) был выбран из-за увеличения нагрузки в электрической сети вследствие производимых ремонтных

работ в этот период. Она весомо отличалась от нагрузки в период занятий (семестров) и зимних каникул.

В течение августа – октябрь месяцев 2017 года данные об изменении нагрузки протоколировались каждый час ежедневно в рабочие, выходные и праздничные дни. Получено 2232 значения замеров электрической нагрузки по РГРТУ. Все расчеты выполнялись в относительных величинах, каждое значение мощности за час соотносилось с максимальным значением мощности, зафиксированным в течение года.

Электрическая нагрузка величина постоянно изменяющаяся, так как пользователи системы электроснабжения включаются или отключаются [1]. Мощность, расходуемая электроприборами, меняется с изменением их загрузки. В зависимости от величины электрификации учебного процесса с изменением времени варьируется общая электрическая нагрузка университета. Эти изменения, зачастую, имеют хаотичный характер, но они подчиняются вероятностным законам, которые могут быть вычислены с большой точностью при большом количестве опытных данных. В связи с этим для исследования нагрузки применили математический аппарат теории вероятностей [2].

Сначала построили функцию и плотность распределения случайных значений величины нагрузки. При этом предполагалось, что данные исследований подчиняются нормальному закону распределения. Посчитали значения математического ожидания, дисперсии и среднего квадратического отклонения случайной величины [1]. Среднее значение случайной величины определяли как среднее взвешенное значение (математическое ожидание), [2–4], то есть сумму произведений всех её значений и их вероятности.

Рассеивание случайной величины оценивали по значению дисперсии. Отклонение случайной величины от ее математического ожидания это есть математическое ожидание квадрата соответствующей центрированной величины [2; 3].

Значение дисперсии определяли как сумму квадратов разности значений случайной величины и математического ожидания. Квадратный корень из дисперсии (среднее квадратическое отклонение) есть среднее квадратическое

отклонение [3]. Оно определяет разброс данных случайных величин относительно математического ожидания. Рассеивание значений случайных величин от математического ожидания приводит к большим значениям дисперсии и среднего квадратического отклонения. Характеристику рассеивания случайной величины рассчитывали как коэффициент вариации [2; 5].

Соответствие результатов исследования электрических нагрузок предполагаемому теоретическому закону распределения проверяли методом Пирсона (χ^2)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(b_i - np_i)^2}{np_i}$$

Результаты исследований.

Главная совокупность данных является однородной. При доверительной вероятности оценки значений, равной 0,95, доверительный интервал не превышает 2%.

Установлены математические ожидания общей мощности в месяц, только в рабочие дни и только в выходные и праздничные дни за август – октябрь 2017 г. (рис. 1).

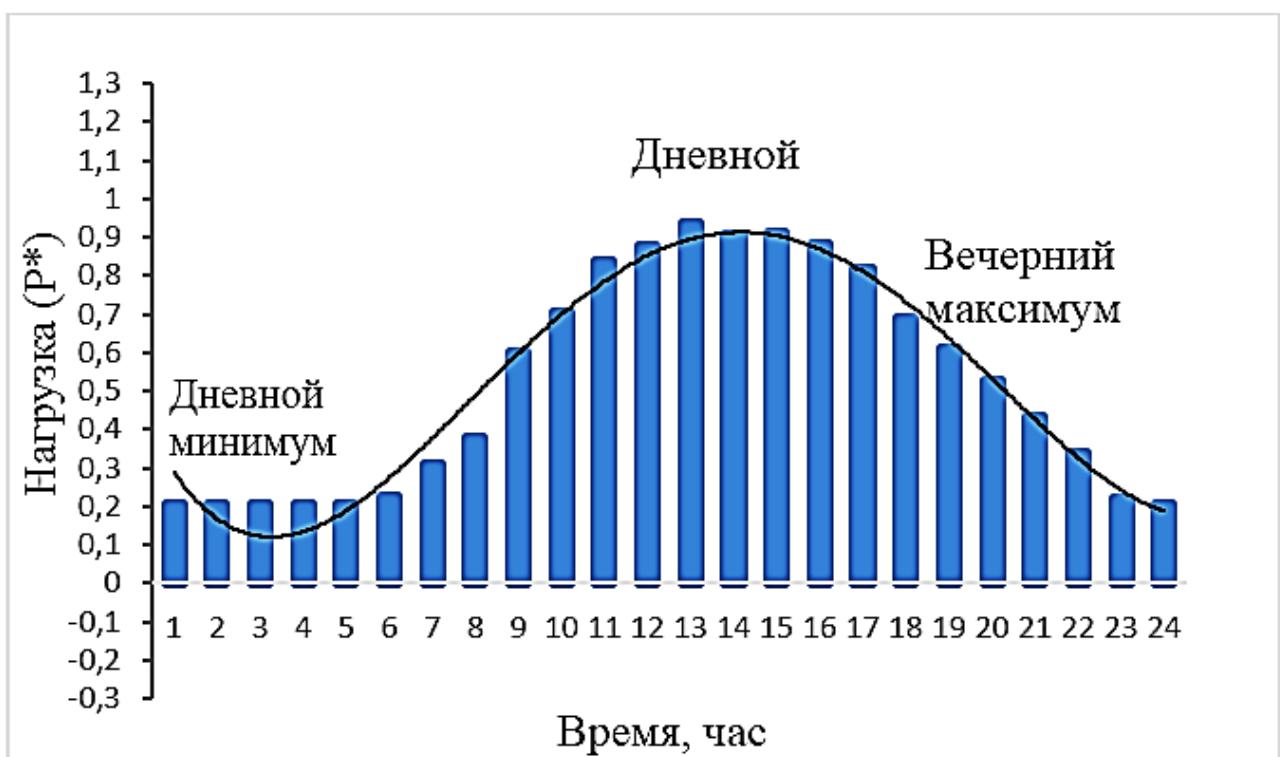


Рис. 1. Гистограмма нагрузки за 19 октября 2017 года

Данный график показывает изменение нагрузки в течении рабочего дня. На оси ординат отложены значения P^* , вычисляемые по формуле $P^* = P_i / P_{\max}$, где P_i – абсолютное значение нагрузки в определенный момент времени, а P_{\max} – максимальное значение нагрузки за весь год. На оси абсцисс отложены значения t – время в сутки. Показаны дневные и вечерние максимумы и минимумы нагрузки.

Рассмотрим дневной максимум и минимум. В момент времени $t = 3–4$ час достигается дневной минимум нагрузки $P^* = 0,2$, затем в момент времени $t = 13–15$ час, достигается дневной максимум нагрузки $P^* = 0,939$. В это промежуток времени в университете функционирует максимальное количество учебных аудиторий и находящихся в них электрических устройств, таких как компьютеры, интерактивные доски, проекторы. Вечером наблюдаются следующие максимум и минимум нагрузки, в момент времени $t = 18–19$ час, $P^* = 0,689$, а при $t = 23–24$ час, $P^* = 0,2$. В промежуток времени от 22–00 до 8–00 занятий в университете нет, но расход электроэнергии идёт на обслуживание таких объектов как котельная главного корпуса, бассейн «Радиоволна», центральный тепловой пункт (ЦТП) и Бизнес-инкубатор, поэтому значение нагрузки не падает до нулевого значения. График описывает линия тренда:

$$y = -6E-07x^6 + 4E-05x^5 - 0,0013x^4 + 0,0167x^3 - 0,0875x^2 + 0,1749x + 0,1025.$$

Величина достоверности аппроксимации (R^2) = 0,9745 [5].

Наибольшая общая средняя мощность использовалась в сентябре, наименьшая в августе месяцах. Средняя общая мощность в сентябре, выше потребляемой мощности в августе на 25,4%. Наибольшее среднее значение мощности в рабочие дни соответствует сентябрю, а наименьшее среднее значение – августу. Различие в средних значениях мощности при этом составляет 25,33%. Потребляемая средняя мощность в выходные и праздничные дни за три месяца изменяется незначительно (не более 10%).

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение значений мощности по месяцам года существенно изменяются. Максимальное значение среднего квадратического отклонения соответствует октябрю, а минимальное значение –

августу. Разница составляет 34,633 кВт. При учёте только рабочих дней значение среднего квадратического отклонения составило наибольшее значение в сентябре (112,62 кВт), а наименьшее в августе – (23,25 кВт), что в четыре раза меньше.

Для выходных дней среднее квадратическое отклонение значений мощности изменяется от 8,12 кВт до 39,41 кВт (в 5,7 раз). Аналогично изменяется и дисперсия.

Характер изменения коэффициента вариации по виду соизмерим с изменением среднего квадратичного отклонения. Его значение изменяется от 0,17 до 0,49 при анализе данных нагрузок по месяцам и составляет от 0,20 до 0,49 – в рабочие, а в выходные дни от 0,069 до 0,35.

Максимальное значение общей нагрузки соответствует 0,99 относительных единиц, минимальное значение – 0,11. Максимальная общая нагрузка в мае-августе превышает минимальную общую нагрузку в 9 раз. Для рабочих дней максимальная нагрузка превосходит минимальную нагрузку в 5–8 раз, а в выходные дни в 2,2 – 2,7 раза. Таким образом, минимальная нагрузка $P_{\min} = (12,5 - 20) \% P_{\max}$.

Суточные графики нагрузки аппроксимированы полиномиальной функцией и установлены уравнения, отражающие изменение мощности P^* во времени t .

В воскресенье занятий в университете нет (рис. 2), но расход электроэнергии идёт на обслуживание таких объектов как Котельная главного корпуса, бассейн «Радиоволна», ЦТП-центральный тепловой пункт и Бизнес-инкубатор.

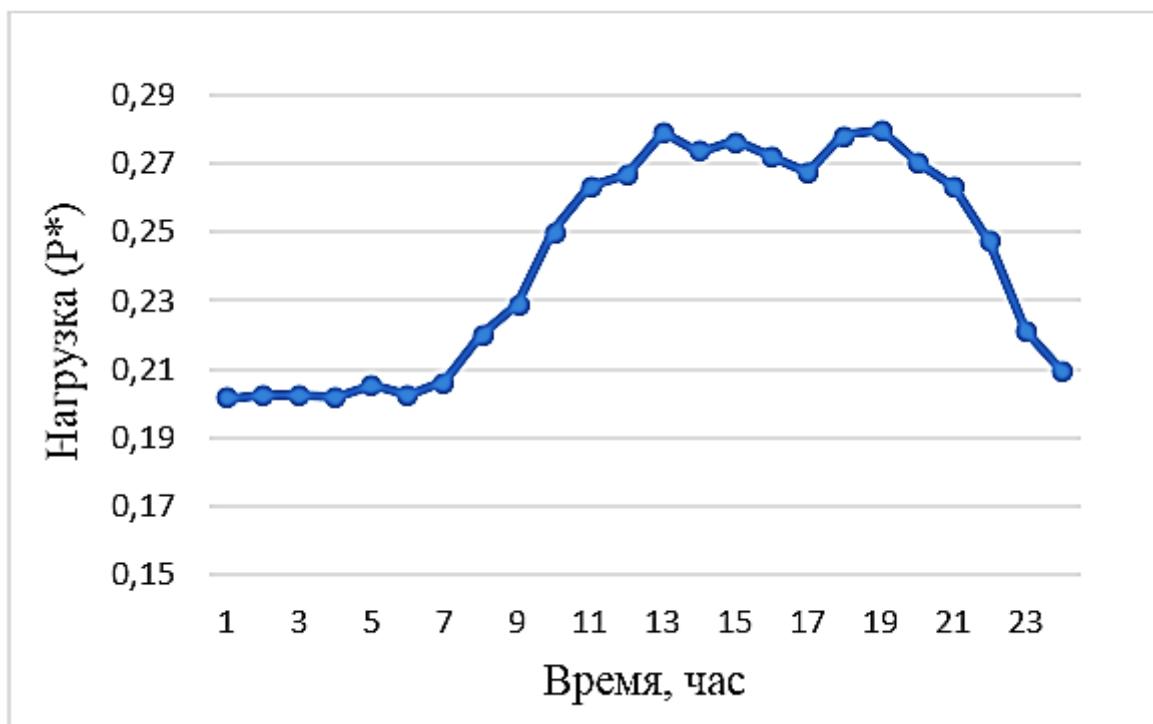


Рис. 2. Гистограмма нагрузки 25 октября (воскресенье) 2017 года

График изменения нагрузки в воскресные дни описывается линией тренда, уравнение которой имеет следующий вид:

$$y = -3E-05x^3 + 0,001x^2 - 0,005x + 0,2147.$$

При этом величина достоверности аппроксимации (R^2) = 0,8652.

Изменение нагрузки в течение месяца (рис. 3) строилось также с интервалом в 1 час. Осью ординат является P^* , осью абсцисс – число месяца. На графике чётко видны скачки нагрузок до минимальных значений – это изменение нагрузки в выходные.

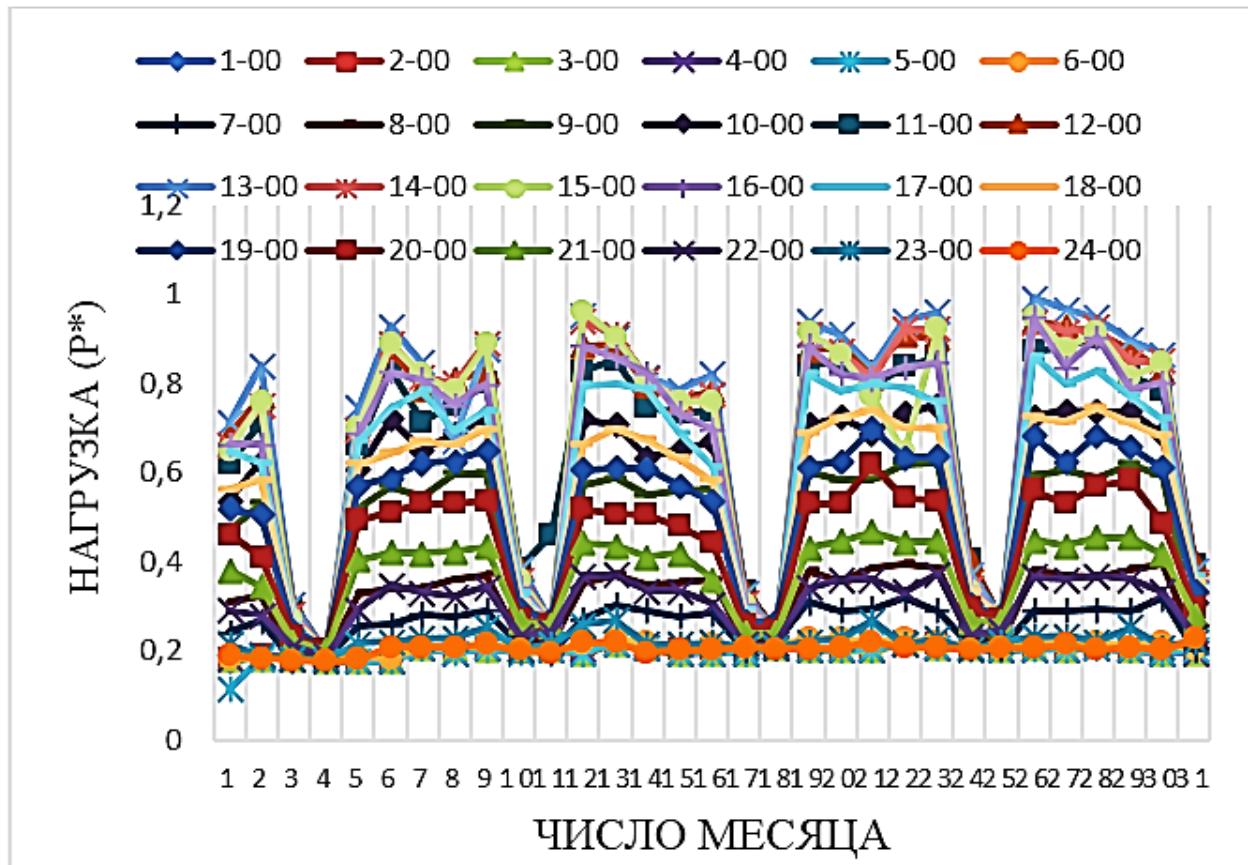


Рис. 3. График нагрузок за октябрь 2017 года

В выходные дни октября 2017 года максимальная нагрузка составляет 0,463, а минимальная нагрузка – 0,175, то есть $P_{\min} = 37,7\% P_{\max}$. В рабочие дни максимальная нагрузка равна 0,99, а минимальная – 0,182. Максимальная нагрузка больше минимальной нагрузки в 5,4 раз и определяется только рабочими днями.

Так как в университете сосредоточено большое количество электрического оборудования, рост электрических нагрузок может привести к постепенному существенному и устойчивому отклонению напряжения от параметров, нормируемых ГОСТом. Для определения отклонений напряжения предполагается в дальнейшем провести исследование по оценке качества электроэнергии.

Выходы

- Генеральная совокупность статистических значений изменения нагрузки потребителей РГРТУ за август – октябрь 2017 года является однородной. При доверительной вероятности оценки данных, равной 0,95, доверительный интервал не превышает 2%.

2. Максимальная общая средняя мощность использовалась в сентябре, минимальная – в августе месяце. В сентябре она на 25,4% выше потребляемой средней мощности в августе.

3. Графики суточной нагрузки обуславливаются наибольшим значением общей нагрузки в месяц, равной 0,99 о.е., наименьшим значением – 0,175 о.е., Наибольшая общая нагрузка в августе-октябре превосходит наименьшую нагрузку в 5,4 раз. Для рабочих дней превышение максимальной нагрузки над минимальной составляет 5 – 8 раз, а в выходные дни – 2,2 – 2,7 раз. Минимальная нагрузка $P_{\min} = (12,5 - 20)\% P_{\max}$.

4. Максимальное среднее значение мощности в рабочие дни наблюдалось в сентябре, а минимальное в августе месяце. Разница составляет 25,33%. Потребляемая средняя мощность в выходные и праздничные дни за три месяца варьируется незначительно (не более 10%).

5. Максимальное значение среднего квадратического отклонения общей нагрузки приходится на октябрь, минимальное на август месяц. Разница составляет 34,633 кВт. Для рабочих дней значение среднего квадратического отклонения наибольшее в сентябре (112,62 кВт), а наименьшее значение в августе – (23,25 кВт). Для выходных дней среднее квадратическое отклонение значений мощности варьируется от 8,12 кВт до 39,41 кВт (в 5,7 раз). Изменение дисперсии и коэффициента вариации аналогичное.

Список литературы

1. Федоров А.А. Теоретические основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1976. – 272 с.
2. Васильева Т.Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения. – М.: Горячая линия. Телеком, 2014. – 152 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов – М.: Колос С, 2015. – 655 с.
5. Васильева Т.Н. Эффективность обеспечения электрической энергией объектов Рязанского Радиотехнического Университета /

Т.Н. Васильева, В.А. Пушкин, Д.А. Баженов, И.В. Гуров // Инновационные технологии в науке и образовании. – 2017. – 456 с.

References

1. Fedorov, A. A. (1976). Teoreticheskie osnovy elektronnabzheniiia promyshlennykh predpriiatii., 272. M.: Energiia.
 2. Vasil'eva, T. N. (2014). Nadezhnost' elektrooborudovaniia i sistem elektronnabzheniiia., 152. M.: Goriachaia liniia. Telekom.
 3. Venttsel', E. S. (1969). Teoriia veroiatnostei., 576. M.: Nauka.
 4. Leshchinskaia, T. B., & Naumov, I. V. (2015). Elektroosnabzhenie sel'skogo khoziaistva., 655. M.: Kolos S.
 5. Vasil'eva, T. N., & Bazhenov, D. A. (2017). Effektivnost' obespecheniiia elektricheskoi energiei obektor Riazanskogo Radiotekhnicheskogo Universiteta. Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii, 456.
-

Васильева Татьяна Николаевна – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Россия, Рязань.

Пушкин Виктор Анатольевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Россия, Рязань.

Жижнов Денис Алексеевич – бакалавр хим. наук, магистрант ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Россия, Рязань.

Vasileva Tatyana Nikolaevna – doctor of engineering sciences, professor at the Ryazan State Radio Engineering Institute, Russia, Ryazan.

Pushkin Viktor Anatolevich – candidate of engineering sciences, associate professor at the Ryazan State Radio Engineering Institute, Russia, Ryazan.

Zhizhnov Denis Alekseevich – bachelor of engineering sciences, graduate student at the Ryazan State Radio Engineering Institute, Russia, Ryazan.
