

УДК 623.19

Д.М. Кочеганов, А.В. Серебряков**ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ
В АВТОНОМНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСАХ
НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

В удаленных районах России энергообеспечение большинства потребителей осуществляется с помощью автономных источников. Характерной особенностью таких электротехнических комплексов является вероятностный характер процесса формирования электрических нагрузок. Для повышения эффективности систем электроснабжения важными являются вопросы определения числовых значений графиков нагрузки. В статье рассмотрены процессы формирования графиков нагрузки автономных потребителей. Для автономного жилого дома определена средняя установленная мощность и критическая минимальная нагрузка. С целью экономии средств на создание автономного генераторного комплекса предложена схема системы электроснабжения с обособленной тепловой нагрузкой. Для определения экономического эффекта от использования схемы с дифференцированием нагрузки проведен сравнительный анализ схем автономных систем электроснабжения. Установлено, что предложенная схема позволяет снизить капитальные затраты за счет питания потребителей третьей категории от шин источника энергии напрямую.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, автономный генераторный комплекс, ветроэнергетическая установка, график нагрузки, потребитель электроэнергии.

1. Введение

Особенность географического положения Российской Федерации и наличие больших территорий с низкой плотностью населения обуславливает необходимость автономного энергообеспечения удаленных районов. В качестве автономных источников электроэнергии (АИЭ) широко распространены дизельные электростанции и котельные агрегаты, работающие на угле, мазуте или другом невозобновляемом топливе. Однако данные энергоустановки становятся все более затратными, а их использование отрицательно сказывается на экологии. Новая аппаратная база электромашиностроения, силовой электроники и микропроцессорной

техники дополнительно стимулирует разработчиков на создание высокотехнологичных, энергоэффективных, надежных и быстро окупаемых агрегатов и систем [1, 2].

АИЭ должен обеспечивать длительное бесперебойное питание объекта при различных параметрах окружающей среды [3, 4]. Нагрузка оказывает значительное влияние на формирование структуры системы электроснабжения (СЭС). Установлено, что процесс формирования электрических нагрузок носит вероятностный характер, поэтому при определении закономерностей формирования и числовых значений графика нагрузок потребителя могут быть применены общепринятые методы теории вероятностей и математической статистики. С использованием этих методов могут быть установлены числовые характеристики и законы распределения рассматриваемых величин.

II. Графики нагрузки

Процесс формирования графика нагрузки группы электроприемников автономных потребителей рассмотрен в работах О.В. Крюкова и А.В. Серебрякова [5, 6]. Включение и отключение отдельных электроприемников можно представить как случайные события. Известно, что случайная величина – график нагрузки – характеризуется функцией распределения, математическим ожиданием и корреляционной функцией, отражающей зависимость между параметрами процесса.

При допущении, что происходит независимое друг от друга включение электроприемников, число электроприемников, работающих одновременно и составляющих групповую нагрузку, может быть определено по биномиальному закону. В этом случае вероятность работы m электроприемников из общего их числа n определяется на основе выражения:

$$P_{(n,m)} = \sum \frac{n!}{m!(n-m)!} \cdot p^m \cdot (1-p)^{n-m}. \quad (1)$$

Построение модели нагрузок «среднего» автономного жилого дома или усадьбы с небольшим хозяйством, получающего питание от АИЭ, заключается в следующем. Для получения графиков нагрузки требуется проведение систематических измерений потребляемой мощности в течение суток. Однако проведение таких измерений является трудоемким. При определении степени согласованности случайных величин допускается для получения графиков их изменения применять экспертные оценки, один из видов пассивного эксперимента. Но это требует большого количества экспертов. Для сокращения времени экспериментов может быть использовано правило приведения одной случайной величины к другой. В результате экспертной оценки были получены данные о времени

работы j -ых нагрузок в i -ый интервал, по которым распределение нагрузок подчиняется нормальному закону. Результаты экспертного опроса проверялись на согласие по критерию Стьюдента для уровня значимости 0,05. Для этого определялись коэффициенты парной корреляции между значениями k -го эксперта и усредненными данными. Коэффициент корреляции определяется по выражению:

$$r_k = \frac{\bar{P}_{cp} \cdot \bar{P}_{ji} - \bar{P}_{cp} \cdot \bar{P}_{ji}}{\sigma_k \cdot \sigma_{cp}}, \quad (2)$$

где r_k – коэффициент корреляции между данными k -го эксперта и средними данными; \bar{P}_{cp} , \bar{P}_{ji} – средние значения усредненного графика и по данным k -го эксперта; σ_k , σ_{cp} – стандартные отклонения усредненного графика и по данным k -го эксперта.

В соответствии с приведенной методикой проверки, наблюдаемое значение критерия Стьюдента должно вычисляться по формуле (2) и сравниваться со стандартным значением при заданном уровне значимости и числе степеней свободы $s = n - 2$ (n – объем выборки).

$$T = r_k \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_k^2}}. \quad (3)$$

Расчетные значения критерия Стьюдента сравнивались с нормированными значениями для уровня значимости 0,05. Данные эксперта считались согласованными с реальными данными, если расчетное значение критерия Стьюдента превышало нормированное.

На рис. 1,2 показаны приведенные графики электрических нагрузок, отражающие наиболее вероятные значения нагрузок для генеральной совокупности объектов.

На основании карты сбора статистических данных и графиков нагрузки [7-9] можно сделать следующие выводы:

- установленная мощность электроприемников в большинстве индивидуальных хозяйств не превышает 20 кВт;
- критическая минимальная нагрузка, которую должен обеспечивать источник питания, не превышает для большинства хозяйств 2 кВт [10, 11, 12]. Таким образом, может быть определена минимальная мощность P_{min} резервного источника для самого худшего варианта;
- тепловая нагрузка 3-ей категории составляет не менее 60% от общей установленной мощности автономного потребителя.

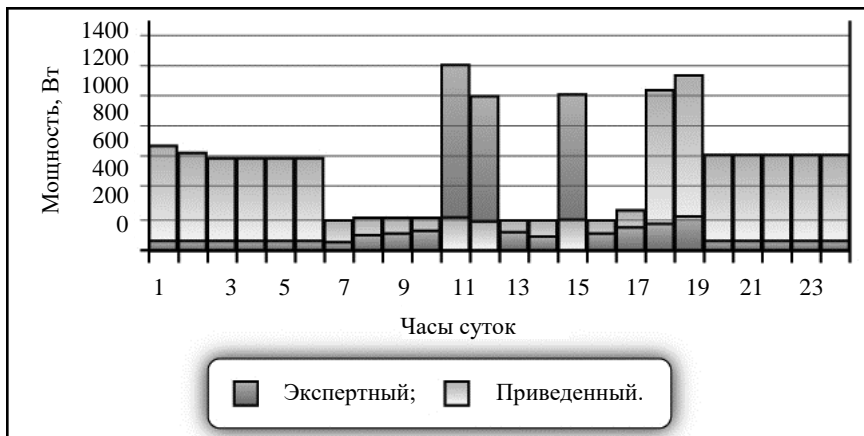


Рис. 1. График нагрузки в весенне-летний период

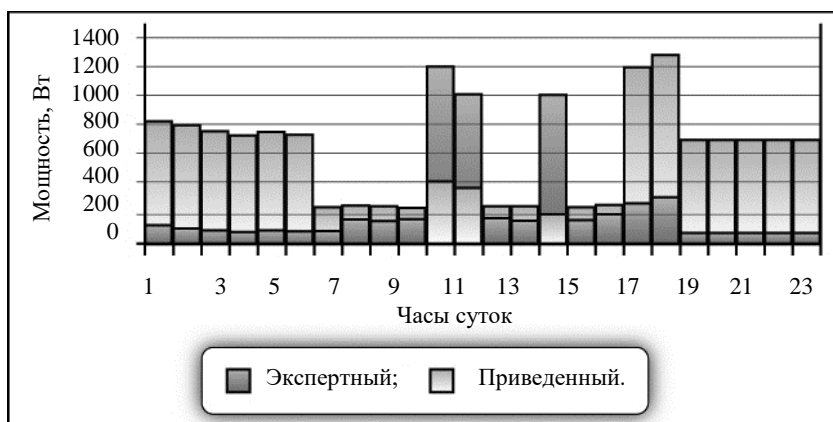


Рис. 2. График нагрузки в осенне-зимний период

III. Модель потребления электрической энергии

На основе полученных данных разработана имитационная модель потребления электрической энергии (рис. 3).

В основу модели положены два принципа: постоянная часть (реальные усредненные статистические данные потребителей) и переменная часть (вероятностная составляющая на основе нормального распределения). Приведенная модель может быть использована для расчета вероятности совпадения нагрузки и поступления энергии для включения в общую модель системы автономного электроснабжения.

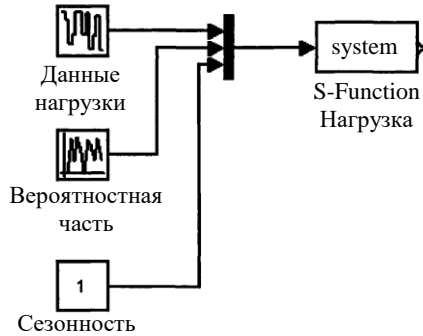


Рис. 3. Упрощенная модель нагрузки автономных потребителей

Однако обособление тепловой нагрузки 3-ей категории позволяет значительно снизить установленную мощность силовой преобразовательной части автономного генераторного комплекса (АГК) и повысить энергетические показатели дизель-электрической установки (ДЭУ). В связи с этим, возможно создание более экономичной структуры автономной СЭС в рамках комбинированного генераторного комплекса с дифференцированием тепловой и электрической нагрузки потребителей (рис. 4).

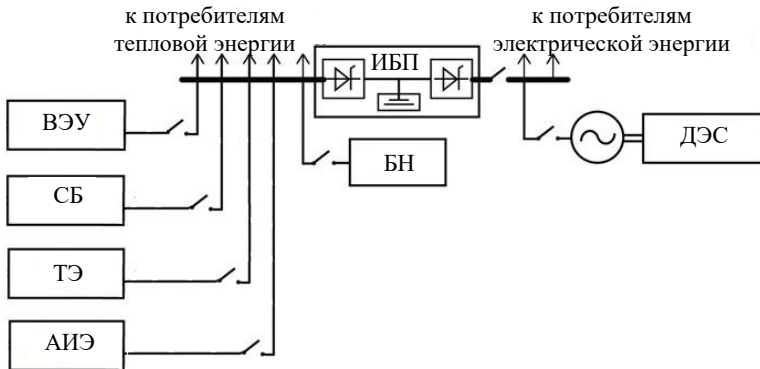


Рис. 4. Схема автономной СЭС с дифференцированием нагрузки:

ВЭУ – ветроэнергетическая установка; СБ – солнечные батареи;
 ТЭ – топливные элементы; АИЭ – альтернативный источник энергии;
 БН – балластная нагрузка; ИБП – источник бесперебойного питания;
 ДЭС – дизель-энергетическая станция

Данная схема обеспечивает подключение потребителей 3-ей категории напрямую к шинам источника энергии, а все потребители электроэнергии получают питание от автономного источника энергии через источник бесперебойного питания (ИБП). При этом ДЭУ выполняет функцию резерва с подключением только в номинальный режим. Данная структура АГК позволяет обеспечить автономные СЭС высококачественной электроэнергией при оптимальной загрузке ДЭУ и минимальном расходе топлива топливным источником энергии (ТИЭ).

Проведенный анализ схем АГК и соответствующие расчеты затрат на топливо при равных условиях эксплуатации установили, что при работе по схеме с дифференцированием тепловой и электрической нагрузки (рис. 5) возможно получение значительного экономического эффекта.

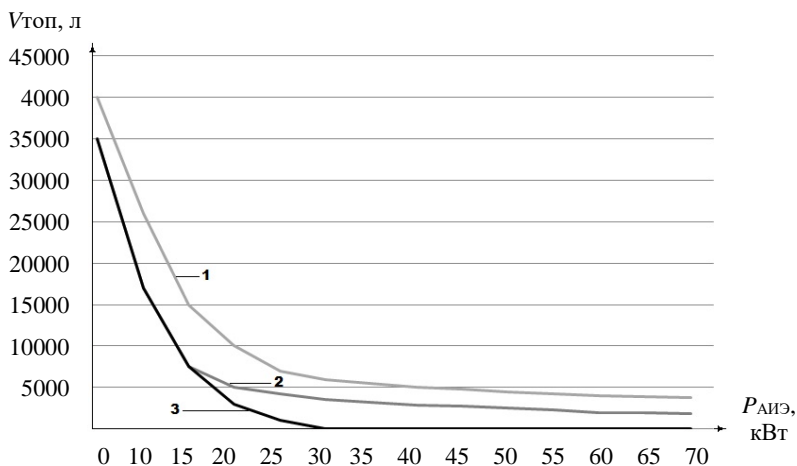


Рис. 5. Расход топлива ДЭУ за год в зависимости от суммарной мощности АИЭ для комбинированного АГК с ДЭУ:

- 1 – АГК с постоянно работающей ДЭУ; 2 – АГК с накопителем энергии;
3 – АГК с дифференцированием нагрузки и накопителем энергии

IV. Выводы

На основе анализа карты сбора статистических данных и графиков нагрузки нескольких автономных жилых объектов определено, что установленная мощность электроприемников не превышает 20 кВт, а тепловая нагрузка 3-ей категории составляет не менее 60% от общей установленной мощности автономного потребителя.

Предложена структура автономной СЭС с дифференцированием нагрузки, позволяющая получить значительную экономию топлива ТИЭ и

снизить капитальные затраты на создание АИЭ за счет питания потребителей 3-ей категории напрямую от шин источника энергии.

© Кочеганов Д.М., 2018

© Серебряков А.В., 2018

Библиографический список

- [1] Мониторинг и прогнозирование технического состояния электромеханических систем энергетики / О.В.Крюков, Л.А.Макриденко, А.В.Серебряков и др. М.: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2017. – 146 с.
- [2] Thorsen V., Dalva M. Condition monitoring methods, failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry // 8th IEEE int. conf. EMD '97, University of Cambridge. № 444. Pp. 109-113.
- [3] Kliman G.B., Stein J. Induction motor fault detection via passive current monitoring // Int. conf. ICEM '90, 1990, Boston, USA. Pp. 13-17.
- [4] Thomson W.T., Chalmers S.J., Rankin D. Online current monitoring and fault diagnosis in high voltage induction motors-case histories and cost savings in offshore installations // Offshore Europe '87, Sept. 1987, Aberdeen, UK, SPE-16577-MS.
- [5] Крюков О.В., Серебряков А.В. Метод и система принятия решений по прогнозированию технического состояния электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехнические системы и комплексы. 2015. № 4 (29). С. 35-38.
- [6] Серебряков А.В. Оптимизация диагностирования электромеханической части ветроэнергетических установок // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 3. С. 39-46.
- [7] Серебряков А.В., Титов В.Г., Чернов Е.А., Шахов А.В. Дифференцирование нагрузки в системах электроснабжения автономных потребителей // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 2 (109). С. 203-209.
- [8] Серебряков А.В. Энергоэффективные ветроэнергетические установки с оперативной диагностикой для автономных систем электроснабжения: дис. канд. техн. наук, НГТУ, Н. Новгород, 2013. – 171 с.
- [9] Васенин А.Б., Титов В.Г. Как повысить энергоэффективность ветроэнергетической установки // Главный энергетик. 2015. № 1. С. 58-60.
- [10] Стеклов А.С., Серебряков А.В., Титов В.Г. Система диагностики технического состояния судового синхронного генератора // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. № 1 (112). С. 60-64.
- [11] Крюков О.В., Серебряков А.В., Васенин А.Б. Диагностика электромеханической части ветроэнергетических установок // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2012. № 3 (19). С. 549-552.
- [12] Стеклов А.С., Титов В.Г., Серебряков А.В. Определение степени работоспособности судовых синхронных генераторов с применением искусственных нейро-нечетких сетей // Вестник Чувашского университета. 2016. № 1. С. 97-104.

D.M. Kochegarov, A.V. Serebryakov

**DIFFERENTIATION OF LOADING IN AUTONOMOUS
GENERATOR COMPLEXES BASED
ON ALTERNATIVE ENERGY SOURCES**

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Most consumers are supplied with energy through autonomous sources in remote areas of Russia. A characteristic feature of such electrical systems is the probabilistic nature of the process of the formation of electrical loads. The issues of determining the numerical values of load graphs are important to improve the efficiency of power supply systems. The article describes the processes of formation of load graphs of autonomous consumers. The average installed capacity and the critical minimum load are determined for an autonomous residential building. In order to save money on the creation of an autonomous generator complex, a scheme of the power supply system with a separate heat load was proposed. A comparative analysis of autonomous power supply system has been carried out to determine the economic effect of the use of a circuit with load differentiation. The proposed scheme allows to reduce capital expenditures by supplying consumers of the third category from buses of the power source directly.

Keywords: autonomous power supply system, autonomous generator complex, electricity consumer, load graph, wind power installation.

References

- [1] L.A. Makridenko, S.N. Volkov and A.P. Sarychev, Monitoring and forecasting of the technical state of electromechanical energy systems. Moscow, 2017.
- [2] V. Thorsen and M. Dalva. Condition monitoring methods, failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry // in proc. 8th IEEE Int. conf. EMD'97, University of Cambridge, no. 444, pp. 109-113.
- [3] G.B. Kliman and J. Stein. Induction motor fault detection via passive current monitoring // in proc. Int. conf. ICEM '90, 1990, Boston, USA, pp 13-17.
- [4] W.T. Thomson, S.J. Chalmers and D. Rankin. Online current monitoring and fault diagnosis in high voltage induction motors-case histories and cost savings in offshore installations // in proc. Offshore Europe '87, Sept. 1987, Aberdeen, UK, SPE-16577-MS.
- [5] O.V. Kryukov and A.V. Serebryakov. Method and system of decision making of technical state forecast of electric gas compressor units // *Electrotechnical Systems and Complexes*, vol. 4, no. 29, pp. 35-38, 2015.
- [6] A.V. Serebryakov Optimization of diagnostics of electromechanical part of wind-power installations // *Electrical equipment: operation and repair*, vol. 3, pp. 39-46, March 2013.

-
- [7] A.V. Serebryakov, V.G. Titov, E.A. Chernov and A.V. Shakhov. Differentiation loads in power systems autonomous consumers // Proceedings of the NNSTU n.a. R.E. Alekseev, vol. 2, no. 109, pp. 203-209, 2015.
 - [8] A.V. Serebryakov, Energy efficient wind power plants with on-line diagnostics for autonomous power supply systems // Cand. of Tech. S. thesis, NNSTU, N. Novgorod, Russia, 2013.
 - [9] A. Vasenin and V.G. Titov. How to enhance efficiency of wind power mill // Chief Power Engineer, no. 1, pp. 58-60, 2015.
 - [10] A.S. Steklov, A.V. Serebryakov and V.G. Titov. Diagnostic System of the Technical Condition of the Ship Synchronous Generator // Proceedings of the NNSTU n.a. R.E. Alekseev, no. 1 (112), pp. 60-64, 2016.
 - [11] O. Kryukov, A. Serebryakov and A. Vasenin. Diagnosis electromechanical part of wind turbines // Electromechanical and Energy Saving Systems, vol. 3, no. 19, pp. 549-552, 2012.
 - [12] A.S. Steklov, V.G. Titov and A.V. Serebryakov. Determination of degree of use of ship synchronous generators with the use of artificial neuro-fuzzy nets // Bulletin of the Chuvash University, no. 1, pp. 97-104, 2016.