

РАСЧЕТНАЯ НАГРУЗКА ГРУПП ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ С МАЛОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ВКЛЮЧЕНИЯ

Павел Олегович Гуков
Сергей Александрович Филонов
Роман Михайлович Панов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Определение расчетного максимума нагрузки на вводах в объекты и на участках линий – один из основных этапов проектирования сельских электрических сетей. Выбор методики расчета нагрузки зависит от характера электроприемников. Для промышленных объектов используется метод упорядоченных диаграмм, или метод коэффициента использования, для сельскохозяйственных – коэффициент одновременности, или метод добавок мощности. Эти методики основаны на статистической обработке данных о потреблении электроэнергии и получении основных вероятностных характеристик. При этом считается, что закон распределения нагрузок является нормальным. Кроме того, рассматриваются группы с достаточно большим количеством потребителей с длительным временем работы, а мощность случайных кратковременно включаемых электроприемников при определении суммарного максимума нагрузки допускается не учитывать. Для повышения точности определения расчетной нагрузки предлагается методика расчета суммарной нагрузки групп таких случайных кратковременно включаемых потребителей. По определению, расчетной нагрузкой является максимальное из усредненных за 0,5 ч значений мощности, получаемых из графика нагрузки. Кратковременно включаемыми электроприемниками считаются те, работа которых длится менее получаса. Для них определяется вероятность включения как отношение длительности работы к получасовому промежутку времени. Длительность работы можно определить, например, по суточному технологическому графику работы электрооборудования. Получена формула для расчета суммарного максимума группы кратковременно включаемых электроприемников (расчеты проведены по моделирующей программе для различного числа случайных приемников при числе испытаний 10^6). Показано, что величина максимума зависит от количества потребителей, их мощности и вероятности включения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: расчетная нагрузка, кратковременно работающий электроприемник, вероятность включения, закон распределения.

THE ESTIMATED LOAD PRODUCED BY GROUPS OF POWER-CONSUMING UNITS WITH SHORT OPERATING TIME

Pavel O. Gukov
Sergey A. Filonov
Roman M. Panov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Determining the estimated peak input load at different facilities and circuit sites is one of the main stages of designing the electric networks in rural areas. The choice of method of load calculation depends on the nature of power consumers. It is advisable to use the method of ordered diagrams (or the consumer load factor method) for industrial facilities and the coincidence factor (or the power addition method) for agricultural facilities. These methods are based on statistical processing of data about electric power consumption and determining the basic probability characteristics. Meanwhile it is assumed that the law of load distribution is natural. Moreover, the considerations involve groups with quite a large number of consumers with a long operating time, whereas in the determination of the total peak load it is allowed to neglect the power of accidental power consumers switching on for a short time. In order to improve the accuracy of determining the estimated load the authors propose a method of calculating the total load of groups of such accidental power consumers with short operating time. By definition, the estimated load is the maximum of the average power values per 0.5 hours determined from the load diagram. Power-consuming units with short operating time are those that operate for less than half an hour. For them it is possible to determine the probability of switch-on as the ratio of operating time to the half-hour period of time. Operating time can be determined, for instance, by the daily operation schedule of electrical equipment. The authors have developed a formula for calculating the total maximum for the group of power consumers that operate for a short time (the calculations were performed in a simulation program for a various number of accidental power consumers in 10^6 replicates). It is shown that the maximum value depends on the number of consumers, their power and probability of switch-on.

KEY WORDS: estimated load, power-consuming unit with short operating time, probability of switch-on, distribution law.

Режим электрической сети определяется исходя из данных об электрических нагрузках потребителей. На основании этих данных рассчитываются нагрузки на участках линий электропередач, которые определяют напряжения и мощности в узлах [3, 7], потери мощности и напряжения в сети [6, 9] и другие режимные параметры.

Методики определения расчетных нагрузок зависят от характера потребителей. Для промышленных предприятий используется метод упорядоченных диаграмм, или метод коэффициента использования [5, 8]. Нагрузки сельскохозяйственных потребителей определяют по методикам, описанным в руководящих материалах по проектированию электроснабжения сельского хозяйства [2, 10].

Известные методики основаны на статистической обработке данных о потреблении электроэнергии и получении основных вероятностных характеристик.

По результатам статистической обработки получают необходимые характеристики нагрузки на вводах в типовые сельскохозяйственные объекты: средние значения соответственно активной и реактивной мощности \bar{P} и \bar{Q} , а также параметр $\beta\sigma$ (σ – среднеквадратическое отклонение, β – коэффициент надежности).

В соответствии с вероятностно-статистическим методом [1] расчетный максимум i -го потребителя рассчитывается по формуле (1):

$$P_{mi} = \bar{P}_i + \beta\sigma_i. \quad (1)$$

Суммарный максимум нескольких потребителей на участке линии или на шинах подстанции определяется как

$$P_{m\Sigma} = \sum_i \bar{P}_i + \sqrt{\sum_i (P_{mi} - \bar{P}_i)^2}. \quad (2)$$

В настоящее время номенклатура электроприемников, используемых в сельскохозяйственном производстве, расширяется, появляются фермерские хозяйства, в которых кроме бытовых потребителей есть и производственные. Рассчитать нагрузки таких объектов с помощью выражений (1) и (2) затруднительно из-за отсутствия необходимых табличных данных и данных об аналогичных работающих объектах.

Один из наиболее точных, на наш взгляд, способов определения расчетной нагрузки на вводе в производственный объект основан на составлении суточного технологического графика работы электрооборудования. Расчетной нагрузкой, в соответствии с определением [2, 8], является максимальное из усредненных за 0,5 ч значений мощности, получаемых из графика.

По характеру работы электроприемники можно разделить на два типа: с фиксированным временем работы и случайно включаемые. В связи с целесообразностью перехода от свободного к регулируемому графику нагрузки можно предположить, что доля потребителей с заранее известным временем работы будет возрастать. В этом случае эксплуатационный график нагрузки будет мало отличаться от полученного при проектировании, а следовательно, и расчетный максимум будет с большей точностью соответствовать рабочему.

Наличие случайных потребителей усложняет расчет. В руководящих материалах по проектированию электроснабжения сельского хозяйства [2] допускается не учитывать мощность случайных кратковременно включаемых электроприемников при определении суммарного максимума нагрузки. Но исходя из того, что в формировании максимума нагрузки могут участвовать электроприемники обоих типов, для повышения точности предлагается методика расчета суммарного максимума случайных кратковременно работающих (менее 0,5 часа) потребителей.

Исходными характеристиками i -го случайного электроприемника являются:

- P_i – потребляемая активная мощность;
- p_i – вероятность включения;
- Δt_i – длительность работы.

Пусть имеются n случайных электроприемников, которые могут независимо друг от друга включаться в пределах одного получасового интервала. Вероятность одновременной работы, например, только i -го и j -го из n приемников определяется по формуле (3) [1, 4]

$$p_{i,j}^n = p_i p_j \prod_{k=1}^n q_k, \quad k \neq i, k \neq j, \quad (3)$$

где $q_k = 1 - p_k$.

Число возможных комбинаций одновременно включаемых потребителей составит [1, 4]

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{n!}{i!(n-i)!}. \quad (4)$$

Используя формулы (3) и (4), можно рассчитать вероятности всех возможных сочетаний одновременно работающих электроприемников. Каждой комбинации соответствует своя суммарная мощность. Например, для одновременно работающих i -го, j -го и k -го потребителей она составит

$$P_{i,j,k} = P_i \frac{\Delta t_i}{30} + P_j \frac{\Delta t_j}{30} + P_k \frac{\Delta t_k}{30}. \quad (5)$$

Множитель $\Delta t / 30$ определяет вклад потребителя в суммарный получасовой максимум.

Таким образом, с помощью выражений (3), (4) и (5) можно рассчитать все возможные для конкретного набора электроприемников значения суммарной мощности и вероятности появления этих значений.

Необходимо отметить, что одно и то же значение может создаваться разными комбинациями приемников. В этом случае вероятность появления такой мощности находят как сумму вероятностей всех комбинаций, создающих данное значение.

Расчетный максимум из всех возможных значений суммарной мощности выбирают в соответствии с принципом практической уверенности [4], согласно которому в расчетный диапазон случайной величины включают только те значения, вероятность появления которых не ниже 0,05. Тогда расчетный максимум определяется как наибольшее значение из расчетного диапазона.

Кроме максимума нагрузки по данной методике можно определить среднее и максимально возможное (одновременная работа всех электроприемников) значения:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n P_i \frac{\Delta t_i}{30} p_i; \quad (6)$$

$$P_{\max} = \sum_{i=1}^n P_i \frac{\Delta t_i}{30}. \quad (7)$$

Для проверки полученных выражений была разработана моделирующая программа. В одном испытании для каждого приемника задают случайное число v в диапазоне $0 \dots 1$. Если вероятность приемника $p_i \geq v$, то приемник считается включенным, в противном случае – выключенным. Таким образом, в каждом испытании определяется набор одновременно работающих приемников и суммарная мощность для данного на-

бора. При многократном повторении испытаний (до 10^6 раз) считается количество появлений всех возможных значений мощности. Так как включение электроприемника рассматривают как случайное событие, отношение количества появлений данного значения мощности к количеству испытаний есть вероятность появления данного значения. Выбрав из всех значений мощности наибольшее с вероятностью не ниже 0,05, получим расчетный максимум.

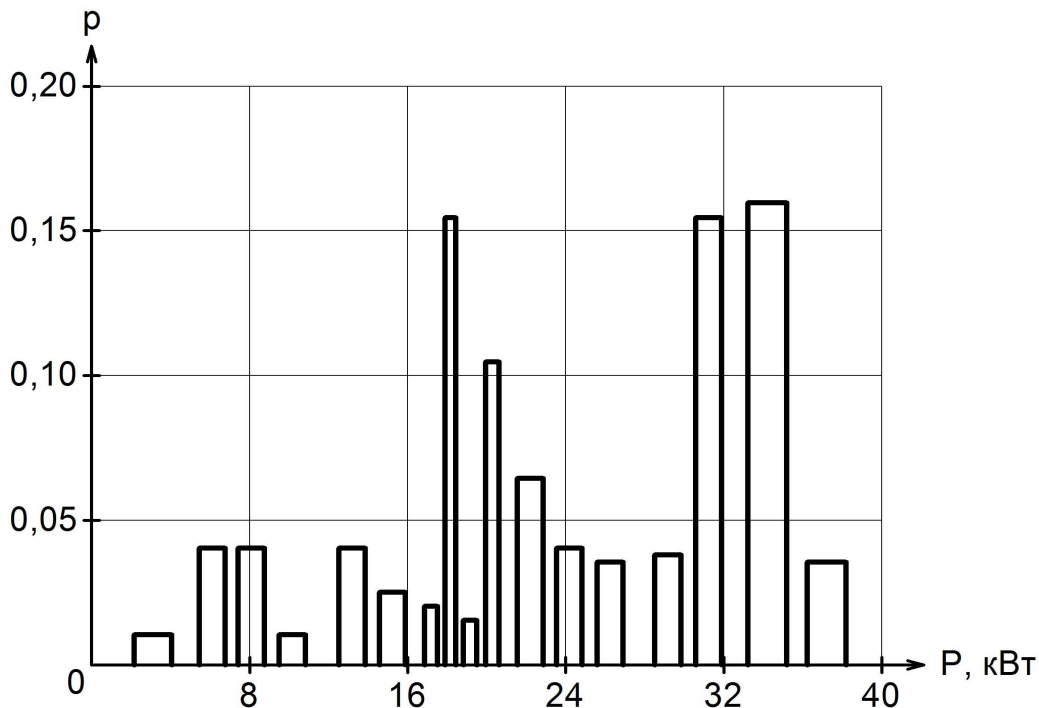
Результаты расчетов, проведенных по моделирующей программе для различного числа случайных приемников при числе испытаний 10^6 , совпадают с результатами, полученными при прямом использовании формул (3) - (7).

В качестве примера рассмотрим пять случайных приемников, параметры которых приведены в таблице.

Параметры электроприемников

Номер приемника	Потребляемая мощность P, кВт	Вероятность включения, p	Время работы, мин
1	5	0,4	20
2	10	0,8	15
3	8	0,3	10
4	20	0,6	20
5	15	0,7	25

На приведенном ниже рисунке показано вероятностное распределение случайных значений суммарной мощности для данной группы.



Вероятностное распределение суммарной мощности группы электроприемников

На основании расчета распределения мощности группы электроприемников получены следующие результаты:

- расчетный максимум $P_{\Sigma m} = 34$ кВт (вероятность появления 0,16);
- среднее значение суммарной мощности $\bar{P} = 22,9$ кВт;
- максимально возможная мощность $P_{max} = 37$ кВт.

Библиографический список

1. Афанасьев В.В. Теория вероятности : учебник для вузов / В.В. Афанасьев. – Москва : ВЛАДОС, 2007. – 350 с.
2. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник для вузов / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская. – Москва : Колос, 2000. – 536 с.
3. Веников А.В. Электрические системы. Электрические сети : учебник для вузов / В.А. Веникова, В.А. Строев. – Москва : Высшая школа, 1998. – 256 с.
4. Вентцель Т.Б. Теория вероятности : учеб. для вузов / Т.Б. Вентцель. – Москва : Высшая школа, 1999. – 576 с.
5. Герасименко А.А. Передача и распределение электроэнергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 715 с.
6. Гуков П.О. Анализ влияния распределения нагрузки в воздушных линиях 10 кВ на величину потерь мощности / П.О. Гуков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 1 (48). – С. 93-97.
7. Картавцев В.В. Метод расчета режима распределительной электрической сети / В.В. Картавцев, П.О. Гуков, Ю.М. Помогаев // Научное обозрение. – 2016. – № 10. – С. 98-104.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – Москва : Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
9. Лыкин А.И. Электрические системы и сети : учеб. пособие / А.И. Лыкин. – Москва : Логос, 2008. – 256 с.
10. Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник / И.В. Наумов, Т.Б. Лещинская. – Москва : КолосС, 2008. – 656 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Павел Олегович Гуков – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8 (473) 253-75-35, E-mail: guckow.pav@yandex.ru.

Сергей Александрович Филонов – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8 (473) 253-75-35, E-mail: filonovser@yandex.ru.

Роман Михайлович Панов – старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8 (951) 858-03-70, E-mail: panov1982@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 12.12.2016

Дата принятия к печати 26.01.2017

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Pavel O. Gukov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-75-35, E-mail: guckow.pav@yandex.ru.

Sergey A. Filonov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-75-35, E-mail: filonovser@yandex.ru.

Roman M. Panov – Senior Lecturer, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-75-35, E-mail: panov1982@yandex.ru.

Date of receipt 12.12.2016

Date of admittance 26.01.2017