

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 621.311.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-41-45

ОЦЕНКА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ В ПОТОКАХ ВКЛЮЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

ВОРОБЬЁВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: tatiana49@mail.ru

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: s.andreev@aol.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация,
Москва, ул. Тимирязевская, 49

Всё энергетическое оборудование электрифицированных объектов от внутренних проводок, аппаратуры защиты, управления, учёта до преобразовательных устройств подвергается воздействиям потоков включений и отключений электроприёмников (ЭП). Эти потоки являются основой формирования электрических нагрузок. Отмечено большое сходство потоков включений ЭП с известными потоками событий, описанными в теории вероятностей. Показано наличие у потоков включений ЭП свойств стационарности, ординарности и отсутствие последствия, что позволяет считать эти потоки простейшими. Полученные с помощью регистрирующих амперметров регистрограммы электрических нагрузок обрабатывались с использованием методов теории вероятностей и математической статистики. Исследовались потоки включений и выключений ЭП на вводах электрифицированных объектов и групповых распределительных шкафов с целью уточнения закономерностей формирования электрических нагрузок. Рассматривались потоки однородных событий, которые различались только моментами появления. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие экспоненциальное распределение интервалов времени между моментами включений ЭП. Предложено оценивать степень последствия в потоках включений ЭП с помощью нормированных потоков Эрланга. Количественная оценка последствия в потоках включений ЭП даёт возможность различать потоки включений ЭП при анализе возможных влияний их на работу электрооборудования предприятий.

Ключевые слова: потоки включений электроприёмников, экспоненциальное распределение, отсутствие последствия, пуассоновские потоки и Эрланга.

Формат цитирования: Воробьёв В.А., Андреев С.А. Оценка последствия в потоках включений электроприёмников предприятий // Агроинженерия. 2020. № 4(98). С. 41-45. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-41-45.

EVALUATION OF AFTER-EFFECT IN THE STREAMS OF POWER RECEIVERS USED IN ENTERPRISES

VIKTOR A. VOROBYEV, DSc (Eng), Professor

E-mail: tatiana49@mail.ru

SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: s.andreev@aol.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow,
Russian Federation

All power equipment components of electrified facilities, ranging from internal wiring, protection, control, metering equipment to converter devices, are exposed to the influences of the flows of switching-on and -off of electrical receivers (ER). These flows are the basis for the formation of electrical loads. The authors point out the notable similarity of the fluxes of ER inclusions with the known fluxes of events described in the theory of probability. It is shown that flows of ER inclusions feature stationarity, ordinariness and the absence of after-effect, due to which these flows can be considered the simplest ones.

The histograms of electrical loads obtained with the help of recording ammeters were processed using the methods of probability theory and mathematical statistics. The flows of switching-on and -off of electric drives at the inputs of electrified objects and group distribution cabinets were analyzed in order to clarify the formation patterns of electrical loads. The authors considered flows of homogeneous events that differed only in the moments of their occurrence. Their paper contains experimental data that confirm the exponential distribution of time intervals between the moments of switching on the electric drive. It is proposed to estimate the degree of after-effect in the flows of ER switching-on using normalized Ehrlang flows. A quantitative assessment of the after-effect in the flows of ER switching-on makes it possible to distinguish these flows when analyzing their possible influences on the operation of the electrical equipment used in enterprises.

Key words: switch-on flows of a power receiver, exponential distribution, no after-effect, Poisson and Ehrlang flows.

For citation: Vorobyev V.A., Andreyev S.A. Evaluation of after-effect in the streams of power receivers used in enterprises // *Agricultural Engineering*, 2020; 4 (98): 41-45. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-41-45.

Введение. Работа любого потребителя электрической энергии характеризуется включениями и отключениями разнообразных электроприёмников (ЭП), которые образуют соответствующие потоки включений и отключений [1, 2]. Всё энергетическое оборудование электрифицированных объектов от внутренних проводок, аппаратуры защиты, управления, учёта до преобразовательных устройств подвергается воздействиям потоков включений и отключений ЭП, которые являются основой формирования электрических нагрузок. В связи с этим имеется определённый теоретический и практический интерес к характеристикам потоков включений и отключений ЭП.

Цель исследований: уточнение основных свойств потоков включений ЭП на вводах электрифицированных объектов; подтверждение случайного характера потоков включений ЭП и применение метода оценки степени последствия в этих потоках с помощью нормированных потоков Эрланга.

Материал и методы. В работе использованы регистрирующие амперметры типов Н343 и Н344, которые предназначены для регистрации чернилами на диаграммной ленте в криволинейных координатах быстропротекающих процессов, представленных в форме электрических сигналов. Амперметры подключались на вводах электрифицированных объектов, производственных помещений и групповых распределительных шкафов. Для расширения пределов измерений амперметров использовались трансформаторы тока типа ТК-20. Для контроля показаний регистрирующих амперметров последовательно с последними подключались щитовые аналоговые (стрелочные) амперметры серий А14 и А72П с соответствующими пределами измерений. Для безразрывного контроля схемы включения измерительных приборов применялись токоизмерительные клещи типа Ц4502.

Полученные с помощью регистрирующих амперметров регистрограммы электрических нагрузок обрабатывались с использованием методов теории вероятностей и математической статистики [3]

Результаты и обсуждение. Многократная регистрация изменений электрических нагрузок на вводах различных электрифицированных объектов и групповых распределительных шкафов показывает, что формирование электрических нагрузок определяется взаимодействием потоков включений и выключений ЭП [4]. Эти потоки легко зарегистрировать потому, что любое увеличение электрической нагрузки связано с включением ЭП или повышением его загрузки, т.е. мощности, а отключение или снижение загрузки ЭП можно считать моментом выключения

элементарного ЭП. Совокупности моментов увеличений и уменьшений электрической нагрузки любого объекта представляют собой соответствующие потоки включений и выключений ЭП. В теории вероятностей рассматриваются различные потоки событий и даются им исчерпывающие характеристики [5]. В нашем случае исследовались потоки включений и выключений ЭП на вводах электрифицированных объектов и групповых распределительных шкафов с целью уточнения закономерностей формирования электрических нагрузок [4]. В данной работе рассматриваем потоки однородных событий, различающихся только моментами появления [5].

При чередовании включений ЭП, следующих одно за другим через строго определенные промежутки времени, подразумеваются регулярные индивидуальные потоки включений ЭП, управляемые программными устройствами. Наряду с регулярными потоками включений ЭП многие ЭП включаются автоматически (водокачки, вентиляционные, холодильные, нагревательные и др. установки) в случайном порядке. В данном случае суммарный поток включений – результат суммирования многих разнообразных потоков включений ЭП – является случайным. Случайные потоки обладают простыми свойствами [5]:

1. Стационарностью, если вероятность попадания того или иного числа событий на определённый участок времени зависит только от длины участка и не зависит от того, где именно на оси времени расположен этот участок. В нашем случае число включений ЭП на протяжении суток, месяца и т.д. на объекте подтверждает свойство стационарности.

2. Ординарностью, если вероятность возникновения двух событий в определённый момент времени пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью возникновения одного события. В нашем случае вероятность включения одновременно двух ЭП практически очень низка по сравнению с вероятностью включения двух ЭП.

3. Не имеют последствия, если для любых непрерывающихся участков времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие. На электрифицированном объекте включения ЭП следуют одно за другим в случайном порядке и невозможно предсказать точно момент включения определенного ЭП. Особенно указанное свойство проявляется при автоматизации технологических процессов.

Если поток событий обладает всеми тремя свойствами (т.е. стационарен, ординарен и не имеет последствия), то он называется простейшим (или стационарным пуассоновским) потоком. В простейшем потоке событий

интервалы времени между событиями распределяются по экспоненциальному закону.

$$F(\Delta t) = 1 - e^{-\Delta t/m_i} = f_{IT}. \quad (1)$$

Потоки включений ЭП обладают перечисленными свойствами и поэтому являются простейшими. Для подтверждения этого в качестве примера на рисунке 1 приведён отрезок регистрограммы электрического тока на вводе трансформаторной подстанции № 62 свиноводческого комплекса «Ильиногорский» Нижегородской области (бывший совхоз имени 50 – летия СССР) со стороны 380/220 В.

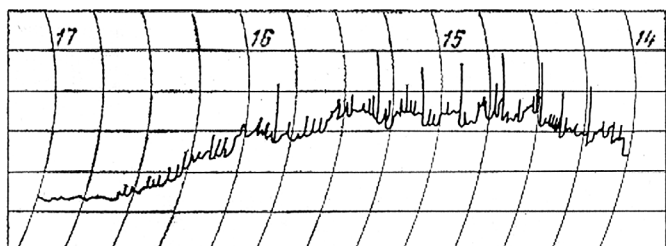


Рис. 1. Фрагмент регистрограммы электрического тока на вводе трансформаторной подстанции

Fig. 1. A fragment of the electric current register at the input of the transformer substation

На рисунке 1 можно увидеть моменты увеличения электрической нагрузки, обусловленные включениями отдельных ЭП. Характерно, что видны повышенные пусковые токи ЭП с асинхронными электродвигателями. Обработан фрагмент реализации электрического тока

в течение 124 мин. Измерены интервалы времени между отдельными включениями ЭП (Δt) (табл. 1), на основе которых составлен вариационный ряд (табл. 2) и построена гистограмма (рис. 2)

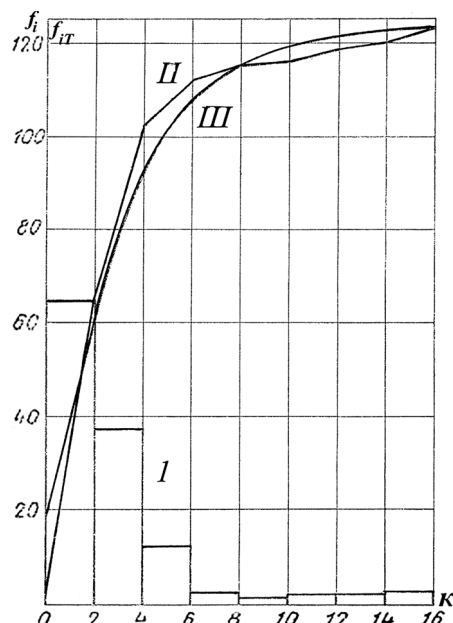


Рис. 2. Гистограмма функции распределения интервалов времени между включениями ЭП (I): II –эмпирическая; III –теоретическая

Fig. 2. Histogram of the distribution function of the time intervals between the switching-on of an electric drive (I): II – empirical; III – theoretical

Таблица 1

Значения интервалов времени (Δt) между включениями ЭП

Table 1

The values of the time intervals (Δt) between the switching-on of an electric drive

№ п.п.	Δt	№ п.п.	Δt	№ п.п.	Δt	№ п.п.	Δt	№ п.п.	Δt	№ п.п.	Δt
1	10	22	6	43	2	64	1	85	3	106	1
2	10	23	2	44	1	65	2	86	1	107	5
3	4	24	3	45	1	66	1	87	1	108	1
4	15	25	1	46	2	67	1	88	2	109	4
5	15	26	4	47	3	68	3	89	2	110	2
6	6	27	2	48	1	69	1	90	1	111	2
7	12	28	5	49	2	70	1	91	1	112	1
8	14	29	1	50	5	71	1	92	4	113	3
9	2	30	1	51	1	72	1	93	1	114	2
10	7	31	4	52	2	73	1	94	2	115	2
11	5	32	6	53	3	74	2	95	2	116	1
12	1	33	3	54	2	75	2	96	1	117	3
13	1	34	3	55	2	76	2	97	2	118	3
14	1	35	3	56	1	77	4	98	2	119	1
15	1	36	2	57	1	78	1	99	3	120	2
16	4	37	1	58	1	79	2	100	1	121	5
17	2	38	3	59	2	80	1	101	4	122	2
18	1	39	2	60	1	81	2	102	4	123	13
19	3	40	1	61	1	82	1	103	1	124	16
20	1	41	3	62	4	83	1	104	3		
21	1	42	1	63	2	84	2	105	1		
										$\sum_{i=1}^{124} \Delta t = 357$	

Вариационные ряды интервалов времени между включениями ЭП

Table 2

Variational series of time intervals between the switching-on of an electric drive

Разряд <i>Discharge</i>	Интервал времени между включениями ЭП <i>The time interval between the switching-on of an electric drive</i> Δt	Эмпирическая частота Δt в каждом разряде <i>Empirical frequency Δt in each digit</i> f_i	Накопленная (кумулятивная) эмпирическая частота значений Δt в разряде <i>Accumulated (cumulative) empirical frequency of Δt values in the discharge</i> f_{ik}
1	0...2	65	65
2	2...4	37	102
3	4...6	12	114
4	6...8	2	116
5	8...10	1	117
6	10...12	2	119
7	12...14	2	121
8	14...16	3	124
		$\Sigma = 124$	

Характер изменения частот появления интервалов времени в различных разрядах (табл. 2) и очертания кумулятивной формы эмпирического распределения (рис. 2) дают возможность предположить экспоненциальное распределение длительности интервалов между включениями ЭП.

Результаты расчётов теоретической вероятности появления интервалов времени между отдельными включениями ЭП позволили выявить зависимость

$$F(\Delta t) = 1 - e^{-0,347\Delta t} = f_i. \tag{2}$$

Близкое расположение экспериментальной и теоретической кривых распределения длительности интервалов времени между включениями ЭП (рис. 2) качественно подтверждает простейший характер потока включений ЭП.

Для количественной оценки степени соответствия теоретических и экспериментальных данных используем критерий Пирсона[3].

Значение критерия Пирсона определяют по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{it} - f_i)^2}{f_i}, \tag{3}$$

где f_{it} – теоретическая частота значений Δt_{∞} в каждом разряде; f_i – эмпирическая частота Δt_{∞} в каждом разряде; k – число сравниваемых разрядов.

Пользуясь данными, определяем вероятность достоверности гипотезы об экспоненциальном распределении интервалов времени между включениями ЭП [3].

Определяем число степеней свободы:

$$h = 8 - 2 = 6.$$

В качестве двух ограничений принимаем: равенство математических ожиданий экспериментального и теоретического законов распределений и равенство единице суммы вероятностей всех состояний системы ЭП.

В приложении IV при числе степеней свободы 6 и $w = 1,63$ указана вероятность $w = 0,95$ [3]. Результаты наших расчётов дают $\chi^2 = 1,4889$. Путём интерполяции находим $w = 0,96$. Значит, экспериментальные данные подтверждают гипотезу об экспоненциальном распределении длительности интервалов времени между отдельными включениями ЭП и о пуассоновском характере потока их включений с вероятностью $0,96$.

Количественную оценку степени последействия в потоках событий можно сделать с помощью нормированных потоков Эрланга, имеющих различное последействие в зависимости от порядка потока [4]. Так, поток Эрланга первого порядка получается из пуассоновского, если выбросить из него каждый второй момент появления события. Этот поток называется еще потоком Пальма. Так как в простейшем потоке не зависимы промежутки времени между событиями, то не зависимы и значения, получающиеся суммированием двух соседних промежутков. Поток Эрланга второго порядка получается, если сохранить в простейшем потоке каждую третью точку, а две промежуточные не учитывать. Потоком Эрланга k -го порядка называется поток, получаемый из простейшего, если сохранить каждое $(k + 1)$ событие, а остальные не учитывать [4].

При увеличении порядка потока Эрланга возрастают значения математического ожидания и дисперсии, а плотность потока падает. При этом нормированный поток Эрланга приближается к регулярному, у которого имеется жесткая функциональная связь между моментами появления событий, а коэффициент последействия равен бесконечности ($\kappa_n = \infty$). При уменьшении порядка потока Эрланга он превращается в простейший, у которого коэффициент последействия равен нулю ($\kappa_n = 0$). Значение последействия для других потоков рассчитывается по выражениям, связывающим математические характеристики потока с показателем нормированного потока Эрланга k -го порядка. При этом

$$m_i = 1/\lambda, D_i = \frac{1}{\lambda^2 (k+1)}, \tag{4}$$

а коэффициент последействия в потоке событий

$$\kappa_n = \frac{m_i^2}{D_i} - 1, \tag{5}$$

где m_i и D_i математическое ожидание и дисперсия промежутков времени между событиями; λ – интенсивность потока событий.

В рассматриваемом потоке включений ЭП $m_i = 2,88$ мин, $D_i = 9,38$ мин²

$$\kappa_n = \frac{2,88^2}{9,38} - 1 = -0,116.$$

Таким образом, последствие в рассматриваемом потоке включений ЭП получилось значительно меньше нуля. Аналогичные исследования электрических нагрузок электрифицированных объектов показали, что потоки отключений ЭП также не имеют последствие.

Выводы

Исследования потоков включений ЭП на электрифицированных объектах показали, что они имеют свойства

Библиографический список

1. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: КолосС, 2006. 368 с.
2. Каялов Г.М. Теория случайных процессов и расчёт нагрузок заводских электрических сетей // Изв. Вуз. Электромеханика. 1961. № 11. С. 65-81.
3. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. М.: Наука, 1965. 511 с.
4. Воробьев В.А. Электрические нагрузки сельскохозяйственных предприятий. М.: Изд-во МСХА, 1991. 297 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 576 с.

Критерии авторства

Воробьев В.А., Андреев С.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Воробьев В.А., Андреев С.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 30.05.2020

Опубликована 31.08.2020

пуассоновских потоков, т.е. обладают свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствие. Степень последствие в потоках включений ЭП можно оценивать с помощью нормированных потоков Эрланга соответствующего порядка. Особенностью исследованных потоков включений ЭП являются значения последствие в них, близкие к нулю, и даже отрицательные значения. Оценка степени последствие в потоках включений ЭП позволяет учитывать воздействия случайных параметров электрических нагрузок на нагрузочные и резонансные показатели оборудования.

References

1. Leshchinskaya T.B. *Elektrosnabzheniye sel'skogo khozyaystva* [Power supply for agriculture]. Moscow, KolosS, 2006: 368. (In Rus.)
2. Kayalov G.M. *Teoriya sluchaynykh protsessov i raschet nagruzok zavodskikh elektricheskikh setey* [Theory of random processes and calculation of loads of factory power grids]. *Izv. Vuzov. Elektromekhanika*. 1961; 11: 65-81. (In Rus.)
3. Smirnov N.V., Dunin-Barkovskiy I.V. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki, tekhnicheskikh prilozheniy* [Course of probability theory and mathematical statistics. Technical applications]. Moscow, Nauka, 1965: 511. (In Rus.)
4. Vorob'yev V.A. *Elektricheskiye nagruzki sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy* [Electrical loads of agricultural enterprises]. Moscow, Izd-vo MSKHA, 1991: 297. (In Rus.)
5. Venttsel', Ye.S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow, Nauka, 1964: 576. (In Rus.)

Contribution

V.A. Vorobyev, S.A. Andreyev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. V.A. Vorobyev, S.A. Andreyev have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 30, 2020

Published 31.08.2020