

УДК 621.316

А.А.МИРОШНИК, канд. техн. наук

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
им. П. Василенко*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННОЙ СЕЛЬСКОЙ СЕТИ 0,38/0,22 КВ**

Рассмотрено моделирование режимов сети 0,38/0,22 кВ методом Монте-Карло с использованием компьютерной программы Electronic Workbench, и проведено статистическую обработку результатов моделирования и проверку гипотезы закона распределения по критерию Пирсона с использованием программы Mathcad.

Розглянуто моделювання режимів мережі 0,38/0,22 кВ методом Монте-Карло з використанням комп'ютерної програми Electronic Workbench та проведена статистична обробка результатів моделювання та перевірка гіпотези закону розподілення за критерієм Пірсона з використанням програми Mathcad.

Modeling of network modes 0.38 / 0.22 kV by Monte Carlo method is made by using a computer program Electronic Workbench and statistical analysis of simulation results and test the hypothesis of the distribution is made by the Pearson`s criterion.

*Ключевые слова:* несимметричный режим сети, метод Монте-Карло.

Улучшение качества электрической энергии является актуальной проблемой в сельских электрических сетях напряжением 0,38/0,22 кВ и неразрывно связано с уменьшением дополнительных потерь электроэнергии, вызванных несимметричной нагрузкой фаз.

Анализ режимов работы сельских сетей напряжением 0,38/0,22 кВ [1] показал, что несимметрия токов обусловлена коммунально-бытовой нагрузкой. Основную часть этой нагрузки составляют неравномерно распределенные по фазам однофазные электроприемники, имеющие, как правило, случайный характер электропотребления. Знание величин несимметрии токов в сети, позволяет уточнить уровень потерь электроэнергии и по возможности применить мероприятия по их снижению [2]. Современные компьютерные программные средства позволяют производить моделирование несимметричного режима сети и вычисление дополнительных потерь электроэнергии, которые являются следствием несимметричных режимов.

Целью настоящей работы является моделирование несимметрично нагруженной сельской сети с использованием компьютерной программы Electronic Workbench и проверка гипотезы закона распределения по критерию Пирсона с использованием программы Mathcad.

Рассмотрим участок трехфазной четырехпроводной воздушной линии 0,38/0,22 кВ длиной 210 м (шесть опор), на каждой опоре к каждой из трех фаз присоединены по одному однофазному потребителю. Сеть

питається от трансформатора, вторичные обмотки которого соединены по схеме «звезда с нулем». Схема сети в смоделирована в программе Electronics Workbench [3] (рис.1) и представляет собой три однофазных источника напряжения, соединенных по схеме "звезда с нулем", начальные фазы синусоид равны соответственно 0, 120, 240 градусов, сопротивления алюминиевых проводов участков воздушной линии между точками присоединения потребителей (для воздушных линий это расстояние между опорами) представлены рядом последовательно соединенных активных сопротивлений ( $R = 0,012 \text{ Ом}$ ,  $X = 0,011 \text{ Ом}$  для провода АС-35). Потребители подключены к фазным и нулевому проводам, сопротивления нагрузки потребителей имеют чередующиеся по фазам в разной последовательности на разных опорах значения: 20 Ом, 30 Ом, 40 Ом. Потребители к линии подключены таким образом, что на шинах подстанции 10/0,4 кВ линия 0,38/0,22 кВ представляет собой симметричную нагрузку.

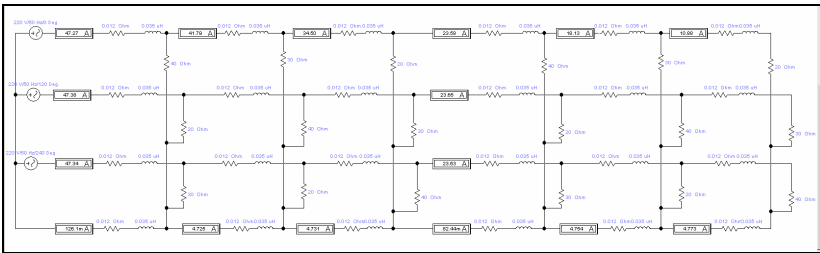


Рис.1 – Моделирование режимов сети 0,38/0,22 кВ с помощью компьютерной программы Electronic Workbench

Учитывая, что изменение нагрузки коммунально-бытовых потребителей носит случайный характер, подчиняющийся нормальному закону распределения случайных величин, проведем статистическое моделирование схемы участка сети, используя метод Монте-Карло. Пример одного испытания показан на рис.2, данные токов приведены в табл.1.

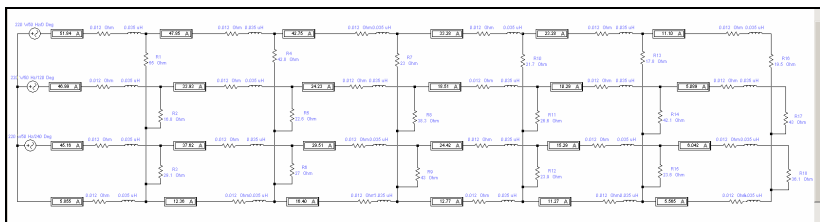


Рис.2 – Моделирование режимов сети 0,38/0,22 кВ методом Монте-Карло с помощью компьютерной программы Electronic Workbench

Таблиця 1 – Токи на участках сети

Фазы	Участки					
	1	2	3	4	5	6
А	51,84	47,85	42,75	33,28	23,28	11,1
В	46,99	33,93	24,23	18,51	10,29	5,09
С	45,16	37,62	29,51	24,42	15,29	6,04
N	5,86	12,36	16,4	12,77	11,27	5,57

На основании 25 испытаний проведем статистическую обработку результатов моделирования и проверку гипотезы закона распределения по критерию Пирсона с помощью программы Mathcad [4] (рис.3).

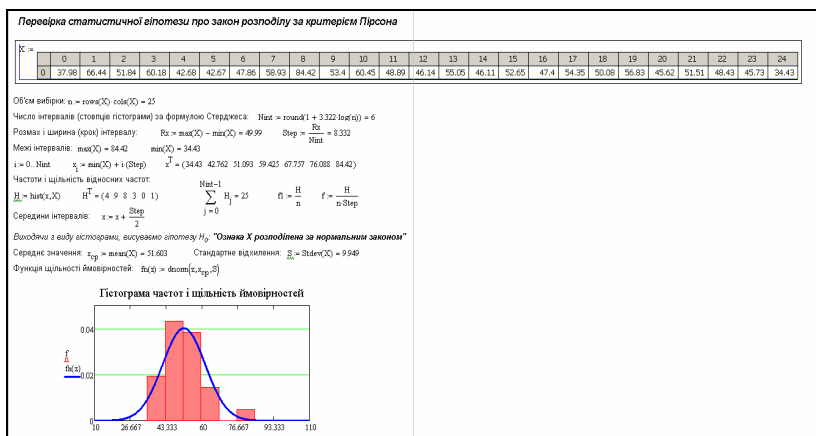


Рис.3 – Вычисление критерия Пирсона с помощью программы Mathcad

В результате статистической обработки данных получены следующее значения математического ожидания  $M$  и дисперсии  $\sigma^2$  токов (табл.2) и потерь электроэнергии (табл.3) на участках линии 0,38/0,22кВ. Так как найденное значение критерия  $\chi^2 = 0,804$  меньше критического  $\chi_{кр} = 3,8$ , то гипотеза о нормальном законе распределении принимается.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о нормальном законе распределения токов нагрузки и потерь электрической энергии на участках несимметрично нагруженной сети 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, с увеличением количества потребителей длина линии и величина токов, протекающих по линии, возрастает, что влечет за собой увеличение потерь электроэнергии. Поэтому возникает необхо-

димось применения мероприятий по снижению потерь электроэнергии. На сегодняшний день существует множество устройств по симметрированию сети, но все они из-за своей высокой стоимости и низкой надежности и неэффективности при протяженных линиях, питающих коммунально-бытовую нагрузку, не получили широкого применения в сетях 0,38/0,22 кВ. На наш взгляд при полной реконструкции существующих или сооружении новых линий необходимо переходить на другие системы электроснабжения. Наиболее экономически выгодной в данном случае является система электроснабжения, при которой по населенному пункту проходит распределительная воздушная линия напряжением 10 кВ, от которой через установленный на опоре однофазный или трехфазный трансформатор по коротким воздушным линиям 0,4 кВ запитываются несколько ближайших потребителей.

Таблица 2 – Математическое ожидание и дисперсия тока на участках сети

Фазы	Участки						
	Математическое ожидание и дисперсия	1	2	3	4	5	6
А	М	51,603	45,163	37,972	26,543	20,389	11,666
	□	9,949	9,021	8,84	6,612	5,706	4,099
В	М	53,184	40,636	34,285	26,216	13,565	7,334
	□	9,894	7,766	7,01	5,638	3,539	2,702
С	М	52,485	44,765	33,887	27,415	18,393	5,558
	□	10,691	9,478	8,911	8,648	6	1,263
N	М	17,323	13,207	12,519	10,546	9,096	6,225
	□	11,934	9,063	9,11	7,389	6,585	3,205

Таблица 3 – Математическое ожидание и дисперсия потерь электроэнергии в сети

Фазы	Участки						
	Математическое ожидание и дисперсия	1	2	3	4	5	6
А	М	31,954	24,476	17,303	8,454	4,989	1,633
	□	1,1878	0,977	0,94	0,525	0,3907	0,202
В	М	33,943	19,815	14,106	8,247	2,208	0,645
	□	1,175	0,724	0,59	0,382	0,15	0,088
С	М	33,056	24,047	13,78	9,019	4,06	0,371
	□	1,372	1,078	0,953	0,898	0,432	0,019
N	М	3,601	2,093	1,881	1,335	0,993	0,465
	□	1,709	0,986	0,996	0,655	0,52	0,123

1. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ // Электричество. – 1999. – №5. – С.18-22.

2. Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств // Дисс. ... д-ра техн. наук, 05.20.02. – Иркутск, 2002. – 387 с.

3.Свергун Ю.Ф. Моделирование несимметричного режима сельской воздушной электрической сети 0,38/0,22 кВ / Ю.Ф. Свергун, А.А. Мирошник // Проблемы региональной энергетики. – Кишинев: Ин-т энергетики. – 2010. – №3(14). Режим доступа: [http://ieasm.webart.md/data/m71\\_2\\_148.doc](http://ieasm.webart.md/data/m71_2_148.doc).

4.Глушаков С.В. Математическое моделирование / С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. – Харьков: Фолио, 2001. – 524 с.

*Получено 08.11.2011*

УДК 621.311.019.3 : 519.21

Г.П.ШУМИЛОВА, канд. техн. наук, Н.Э.ГОТМАН, Т.Б.СТАРЦЕВА

*Учреждение Российской академии наук Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО РАН, г.Сыктывкар*

## **ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Исследовано влияние вероятностной природы нагрузки на оценку критического времени отключения короткого замыкания для региональной ЭЭС. Определено вероятностное распределение критического времени отключения для пятиуровневой модели нагрузки, которое позволяет установить, с какой вероятностью ЭЭС перейдет в неустойчивый режим, если увеличится время отключения короткого замыкания.

Досліджено вплив імовірнісної природи навантаження на оцінку критичного часу відключення короткого замикання для регіональної ЕЕС. Визначено імовірнісний розподіл критичного часу відключення для п'ятирівневої моделі навантаження, яке дозволяє встановити, з якою ймовірністю ЕЕС перейде в нестійкий режим, якщо збільшиться час відключення короткого замикання.

The influence of the stochastic nature of pre-fault system loading conditions on the critical clearing time assessment for the regional power system was studied. A probability distribution of the critical clearing time for the five-level load model using a probabilistic approach was determined.

*Ключевые слова:* электроэнергетическая система, динамическая надежность, критическое время отключения короткого замыкания, многоуровневая модель нагрузки, вероятностная оценка неустойчивого состояния энергосистемы.

При оценке динамической надежности (ДН) электроэнергетических систем (ЭЭС) в процессе их функционирования длительное время используют детерминистический критерий. Согласно этого критерия, ЭЭС должна сохранять работоспособность в экстремальных условиях работы и при наиболее опасных возмущениях, т.е. сохранять живучесть в самых наихудших случаях аварийных ситуаций. Однако, например, исследования энергосистем Peace River и Columbia River [1] показали, что детерминистический критерий не всегда соответствует самым наихудшим случаям. Например, в системе Columbia River наихудший случай был с 95%-м уровнем нагрузки, а не со 100%-м, который обычно используется в детерминистическом анализе. Или, например, в энергосистеме Тайваня