

– при движении удаляемого воздуха в трубах  $Re_1 \geq 5000$ , что обеспечивает достаточно высокий коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ ;

– поперечный и продольный шаги между трубами примерно равны, что позволяет принять  $\varepsilon_s = 1$ ;

– отношение диаметров  $d_2 / d_1 = 1,1$ .

После решения системы уравнений получаем зависимости для расчета коэффициента теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup> К):

$$\text{– при } Re_1 = 5 \times 10^3 - 10^4 \quad k = 3,43 \xi^{0,667} g_1^{0,76} g_2^{0,2} d_1^{-0,058},$$

$$\text{– при } Re_1 = 10^4 - 5 \times 10^6 \quad k = 2,28 \mu_{ст} \xi^{0,667} g_1^{0,534} g_2^{0,2} d_1^{-0,266},$$

где  $\xi$  – коэффициент влаговыведения;  $g_1$  и  $g_2$  – скорости удаляемого и приточного воздуха, м/с;  $d_1$  – внутренний диаметр труб, м;  $\mu_{ст}$  – коэффициент, учитывающий термическое сопротивление стенок труб.

Полученные уравнения состоят из независимых переменных, которые определяют коэффициент теплопередачи в кожухотрубчатых теплоутилизаторах. Использование этих уравнений упрощает выполнение тепловых расчетов теплоутилизаторов.

## НЕСИММЕТРИЯ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 0,38 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. М. Збродыго (БГАТУ) г. Минск

Несинусоидальность и несимметрия напряжений неблагоприятно воздействует на энергосистему и электропотребителей, вызывая увеличение потерь напряжения и мощности в сетях, уменьшение их пропускной способности, нарушение нормальной работы электрооборудования и снижение его срока службы, снижение качества и количества выпускаемой продукции, уменьшение производительности труда.

Автором проведены исследования уровней несинусоидальности и несимметрии напряжений в сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения Республики Беларусь. Установлено, что при загрузке питающих трансформаторов менее 50 % в их распределительных сетях среднесуточные и даже максимальные значения исследованных показателей качества электроэнергии в подавляющем большинстве случаев не превышают установленных ГОСТ 13109-97 нормально допустимых значений, так как

мощности искажающих электроприемников слишком малы по сравнению с мощностями этих трансформаторов.

Высокая степень загрузки питающих трансформаторов (до 70 % и выше) в совокупности с наличием нелинейных и несимметричных электроприемников приводит к значительному снижению качества электроэнергии, так как мощностями искажающих электроприемников могут быть соизмеримы с мощностями питающих трансформаторов. Токи высших гармоник, токи обратной и нулевой последовательности при этом довольно велики и вызывают существенные падения напряжений на элементах системы, искажая симметрию и синусоидальность сетевых напряжений. К тому же при высокой степени загрузки, сопровождающейся насыщением магнитной системы, трансформаторы сами являются источниками высших гармоник, что приводит к еще более значительному искажению синусоидальности формы кривых напряжений.

В целом результаты исследований показали, что среднесуточные значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения (таблица 1), коэффициентов несимметрии по обратной (таблица 2) и нулевой (таблица 3) последовательности в большинстве точек измерения не выходят за пределы нормально допустимых стандартом значений. Максимальные значения вышеназванных коэффициентов при высокой степени загрузки трансформатора в 2...3 раза превышают их среднесуточные значения и часто выходят за допустимые нормы, особенно в коммунально-бытовом секторе нагрузки.

**Таблица 1 - Распределение среднесуточных значений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения**

Коэффициент искажения $K_u, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 2,0	5	2
2,0...3,0	21	17
3,0...4,0	34	29
4,0...5,0	23	21
5,0...6,0	9	13
более 6,0	2	4

**Таблица 2 - Распределение среднесуточных значений коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности**

Коэффициент несимметрии $K_2$ $U, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 0,5	3	2
0,5...1,0	37	16
1,0...1,5	43	44
1,5...2,0	11	19
более 2,0	0	5

**Таблица 3 - Распределение среднесуточных значений коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности**

Коэффициент несимметрии $K_0$ $U, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 1,0	12	0
1,0...2,0	41	4
2,0...3,0	25	19
3,0...4,0	13	32
4,0...5,0	3	23
более 5,0	0	8

Анализ спектра высших гармоник показывает, что преобладающими являются третья, пятая, седьмая и девятая гармоники. Пятая, седьмая и девятая гармоники достигают иногда до 3...4 % от уровня основной гармоники, а третья – до 5...6 %, что превышает нормально допустимые значения. Замечены такие нечетные гармоники до 23-й включительно, но их значения не превышают допустимых значений. Соседние четные гармоники на порядок ниже. Гармоники с 24-й по 40-ю практически незаметны. Из аномальных гармоник можно выделить вторую (до 1 %).

В результате экспериментальных исследований установлено наличие несимметрии и несинусоидальности напряжений в сельских электрических сетях 380/220 В, которые при загрузке питающих трансформаторов выше 50 % и наличии в структуре нагрузок нелинейных и несимметричных электроприемников зачастую превышают допустимые согласно ГОСТ 13109-97 значения. С учетом неблагоприятного воздействия некачественного напряжени

на работу всех элементов электрических систем в этих сетях требуется проведение мероприятий по снижению уровней несимметрии и несинусоидальности напряжений для обеспечения надежной и эффективной работы электроустановок сельскохозяйственных потребителей производственного и коммунально-бытового сектора.

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Зеленькевич А.И. (БГАТУ) г. Минск

Аппаратура подстанции, предназначенная для защиты, управления, наблюдения, учета и связи, относится к вспомогательному оборудованию. Подстанция, на которой вспомогательное оборудование связано между собой при помощи последовательных интерфейсов, называется *автоматизированной подстанцией*.

Современная автоматизированная подстанция включает интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) для всех функциональных компонентов. К ИЭУ относятся устройства защиты, устройства управления, комбинированные устройства управления и защиты, а также станционные модули.

### **Защита**

Все необходимые функции защиты (линии, трансформаторов, генератора, шин) реализуются устройствами защиты.

### **Управление**

Эти функции реализуются устройствами управления, комбинированными устройствами управления и защиты, либо станционным модулем.

В число основных функций управления входят следующие: управление секционным выключателем (СВ); управление разъединителем; управление заземляющим разъединителем; управление переключателем обмоток трансформатора (РПН); блокировка; проверка синхронизации перед включением СВ.

В число дополнительных функций управления входят следующие: последовательность коммутации; автоматическое отключение неисправных секций; автоматическое переключение шин; интеллектуальные устройства АПВ; распределение нагрузки между линиями; интеллектуальное сбрасывание нагрузки; интеллектуальные модули восстановления электроснабжения.

### **Функции управления на уровне станции**