

## АНАЛИЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕМЕНТАХ СЕТИ 0,38 кВ

**М.А. Юндин**, к.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия»

**Ю.И. Ханин**, аспирант, ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия»

*В статье анализируются дополнительные потери электроэнергии от протекания токов высших гармоник в сетях 0,38 кВ питающих преимущественно коммунально-бытовые электропотребители.*

### Постановка проблемы в общем виде

В быту современный человек использует различные электроприемники, большинство которых имеет нелинейную вольт-амперную характеристику. При работе нелинейной нагрузки, кроме потерь электроэнергии на основной частоте, в элементах сети возникают дополнительные потери от высших гармонических составляющих тока.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Расчеты дополнительных потерь электроэнергии в цепи «силовой трансформатор – головной участок сети 0,38 кВ – электропотребитель» будут выполнены с учетом следующих допущений:

1. Токи высших гармоник образуют симметричные составляющие. Гармоники с номером  $u=3m+1$  – образуют прямую последовательность, с номером  $u=3m+2$  – обратную последовательность, а с номером  $u=3m+3$  – нулевую последовательность, где  $m=0, 1, 2, \dots \infty$  [1];

2. Предполагалось равенство сопротивлений обратной и прямой последовательностей  $R_1=R_2$  для трансформатора и линии электропередач [2];

3. Для участка трехфазной линии с нулевым проводом сопротивление нулевой последовательности  $R_0=R_\phi+3R_N=(3n+1)\cdot R_\phi$ , где  $R_\phi$  – сопротивление фазного провода,  $R_N$  – сопротивление нулевого провода,  $n$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз сопротивлению нейтрального провода больше сопротивлению фазного провода [2];

4. Для трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y_N$   $R_0=(9,0\dots 10,5)R_k$ , где  $R_k$  – сопротивление короткого замыкания силового трансформатора [2];

5. Изменение активного сопротивления вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости учтено коэффициентом  $k_v = 0,47 \cdot \sqrt{v}$  [3].

### Формулирование целей статьи (постановка задачи).

Целью данной статьи является анализ дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии, обусловленный протеканием высокочастот-

ных токов в элементах электрической сети 0,38 кВ, питающей преимущественно коммунально-бытовых электропотребителей.

### Изложение основного материала исследований.

Для этого при помощи сертифицированного прибора «Энергомонитор-3.3Т» были получены суточные базы данных об основных электрических величинах с минутным усреднением для 4 головных участков сети 0,38 кВ ТП 10/0,4 кВ с номинальной мощностью силовых трансформаторов  $S_{ном}=250$  кВА, питающих коммунально-бытовых потребителей в летний период года. В дальнейшем эти базы были статистически обработаны, а полученные результаты использовались для последующих вычислений.

Потери активной мощности на головном участке от протекания  $u$ -ой гармоники тока:

Для гармоник кратных 3-ей:

$$\Delta P_{\dot{A}\dot{E}. \dot{A}.v} = 3 \cdot I_{(1)}^2 \cdot R_1 \cdot (3n+1) \cdot K_{I(v)}^2 \cdot k_v,$$

Для остальных гармоник:

$$\Delta P_{\dot{A}\dot{E}. \dot{A}.v} = 3 \cdot I_{(1)}^2 \cdot R_1 \cdot K_{I(v)}^2 \cdot k_v,$$

где  $I_{(1)}$  – ток основной гармоники, определяемый, как среднее арифметическое фазных токов, А;

$R_1$  – активное сопротивление прямой последовательности основной гармоники тока, Ом;

$K_{I(v)}$  – коэффициент  $u$ -ой гармонической

$$K_{I(v)} = \frac{I_{(v)}}{I_{(1)}}.$$

составляющей тока,

Потери электроэнергии на головном участке:

$$\Delta W_{\dot{A}\dot{E}} = \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \Delta P_{\dot{A}\dot{E}i} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\dot{A}\dot{E}i}$  –  $i$ -е значение потерь активной мощности на головном участке, Вт;

$\Delta t$  – интервал времени между  $i$ -ми значениями, ч;

$T$  – расчетный период, ч.

Потери активной мощности в трансформаторе от протекания  $u$ -ой гармоники тока с учетом [3] вычислялись:

Для гармоник кратных 3-ей:

$$\Delta P_{\text{од.}\dot{A}.v} = 10 \cdot K_{\zeta}^2 \cdot \Delta P_{\dot{e}\zeta} \cdot K_{I(v)}^2 \cdot k_v \cdot (1 + 0,05 \cdot v^2)$$

Для остальных гармоник:

$$\Delta P_{\text{од.}\dot{A}.v} = K_{\zeta}^2 \cdot \Delta P_{\dot{e}\zeta} \cdot K_{I(v)}^2 \cdot k_v \cdot (1 + 0,05 \cdot v^2).$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери мощности короткого замыкания на основной частоте, Вт;

$K_{\zeta}$  – коэффициент загрузки трансформатора.

Потери электроэнергии в трансформаторе:

$$\Delta W_{\text{од}} = \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \Delta P_{\text{од}i} \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\text{ТР}i}$  –  $i$ -е значение потерь активной мощности в трансформаторе, Вт.

По полученным выражениям (1, 2) произведена оценка потерь электроэнергии на головном участке сети и в силовом трансформаторе. Для расчета использовались значения следующих

величин из полученных баз данных: фазные токи, фазные напряжения, активная и реактивная мощности, коэффициенты  $v$ -ой гармонической составляющей тока для 2-ой, 3-ей, 5-ой, 7-ой, 9-ой и 11-ой гармоники тока. Брался шинопровод ШРА73 с удельным сопротивлением 0,210 мОм/м, удельное сопротивление нулевого проводника принято равным 0,120 мОм/м [4]. Длина шинопровода 0,5 м. Расчетный период  $T=24$  ч, интервал между  $i$ -ми значениями  $\Delta t = 1/60$  ч.

Выполненные расчеты дополнительных потерь электроэнергии в цепи «силовой трансформатор – головной участок сети 0,38 кВ» для каждой из четырех ТП 10/0,4 кВ затем были статистически обработаны. Итоговые результаты представлены таблицами 1, 2 и рисунками 1, 2.

Таблица 1

Результаты расчета потерь электроэнергии

ТП		42	47	168	302	Среднее
Коэффициент загрузки		0.135	0.107	0.117	0.107	0.117
$\Delta W_{\text{ВЛ}}$	Вт·ч	19.19	11.16	13.60	11.36	13.83
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.ВГ}}$	Вт·ч	0.384	0.432	0.499	0.468	0.446
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.2}}$	Вт·ч	0.0022	0.0012	0.0014	0.0011	0.0015
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.3}}$	Вт·ч	0.3300	0.3413	0.3958	0.3672	0.3586
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.5}}$	Вт·ч	0.0300	0.0703	0.0791	0.0786	0.0645
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.7}}$	Вт·ч	0.0060	0.0086	0.0103	0.0093	0.0086
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.9}}$	Вт·ч	0.0136	0.0085	0.0092	0.0092	0.0101
$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.11}}$	Вт·ч	0.0018	0.0023	0.0031	0.0027	0.0025
$\Delta W_{\text{М}}$	Вт·ч	1743.0	1061.2	1289.6	1087.1	1295.2
$\Delta W_{\text{ТР.Д.ВГ}}$	Вт·ч	134.1	146.2	168.7	159.8	152.2
$\Delta W_{\text{ТР.Д.2}}$	Вт·ч	0.2424	0.1347	0.1553	0.1303	0.1657
$\Delta W_{\text{ТР.Д.3}}$	Вт·ч	108.9	116.5	135.2	126.7	121.8
$\Delta W_{\text{ТР.Д.5}}$	Вт·ч	6.19	15.00	16.83	16.87	13.73
$\Delta W_{\text{ТР.Д.7}}$	Вт·ч	1.883	2.819	3.365	3.082	2.787
$\Delta W_{\text{ТР.Д.9}}$	Вт·ч	15.71	10.32	11.10	11.15	12.07
$\Delta W_{\text{ТР.Д.11}}$	Вт·ч	1.194	1.503	2.061	1.807	1.641

где  $\Delta W_{\text{ВЛ}}$ ,  $\Delta W_{\text{М}}$  – нагрузочные потери электроэнергии на головном участке 0,38 кВ и в силовом трансформаторе от протекания основной гармоники тока, соответственно, Вт·ч;  $\Delta W_{\text{ВЛ.Д.ВГ}}$ ,  $\Delta W_{\text{ТР.Д.ВГ}}$  – дополнительные потери электроэнергии на головном участке 0,38 кВ и в силовом трансформаторе от протекания токов высших гармоник, соответственно, Вт·ч;  $\Delta W_{\text{ВЛ.Д.}v}$ ,  $\Delta W_{\text{ТР.Д.}v}$  – потери электроэнергии на головном участке 0,38 кВ и в силовом трансформаторе от протекания тока  $v$ -ой гармоники, соответственно, Вт·ч.

Таблица 2

Соотношение дополнительных потерь электроэнергии на участке цепи «силовой трансформатор – головной участок сети 0,38 кВ» от протекания токов 3-ей гармоники к наиболее значимым суммарным токам высших гармоник (в процентах)

ТП	42	47	168	302	Среднее	Среднее квадратическое отклонение
$\frac{\Delta W_{\dot{A}\dot{E}.A.3}}{\Delta W_{\dot{A}\dot{E}.A.A\dot{A}}} \cdot 100, \%$	86,00	78,98	79,34	78,44	80,69	1,78
$\frac{\Delta W_{\text{од.}\dot{A}.3}}{\Delta W_{\text{од.}\dot{A}.A\dot{A}}} \cdot 100, \%$	81,19	79,64	80,14	79,32	80,07	0,41

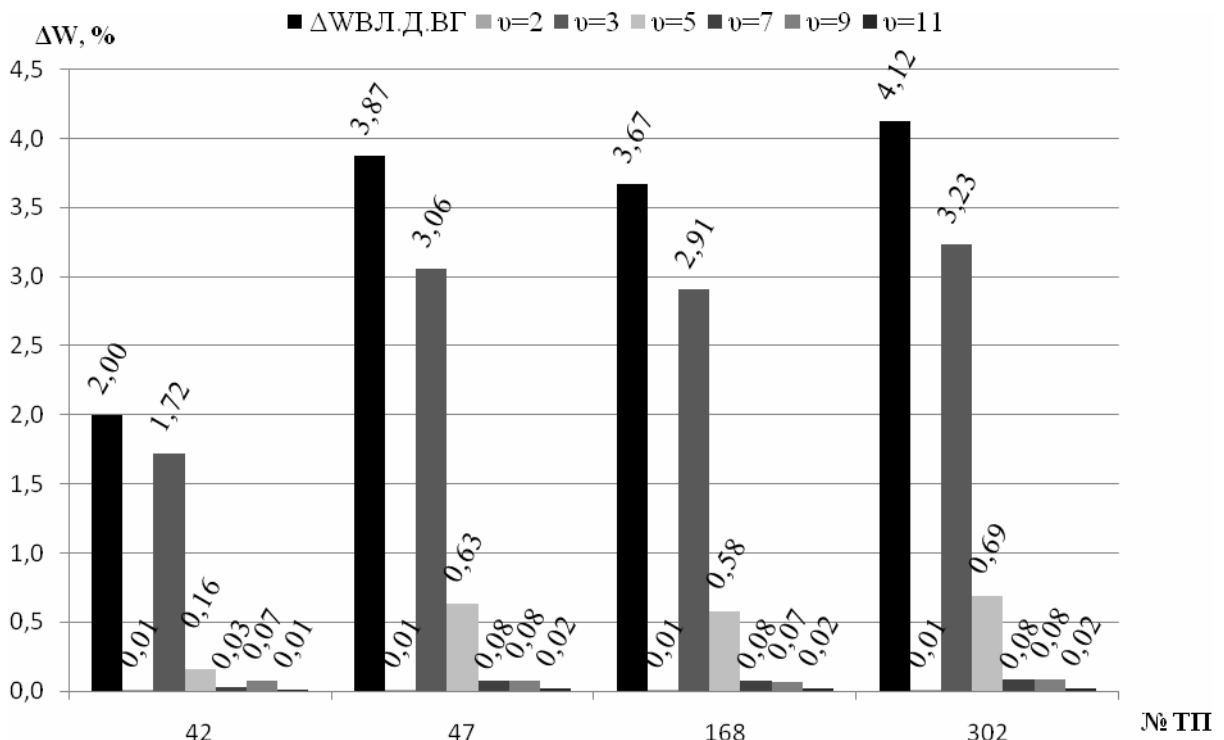


Рисунок 1 – Дополнительные потери электроэнергии на головном участке сети 0,38 кВ в процентах к потерям от протекания основной гармоники тока

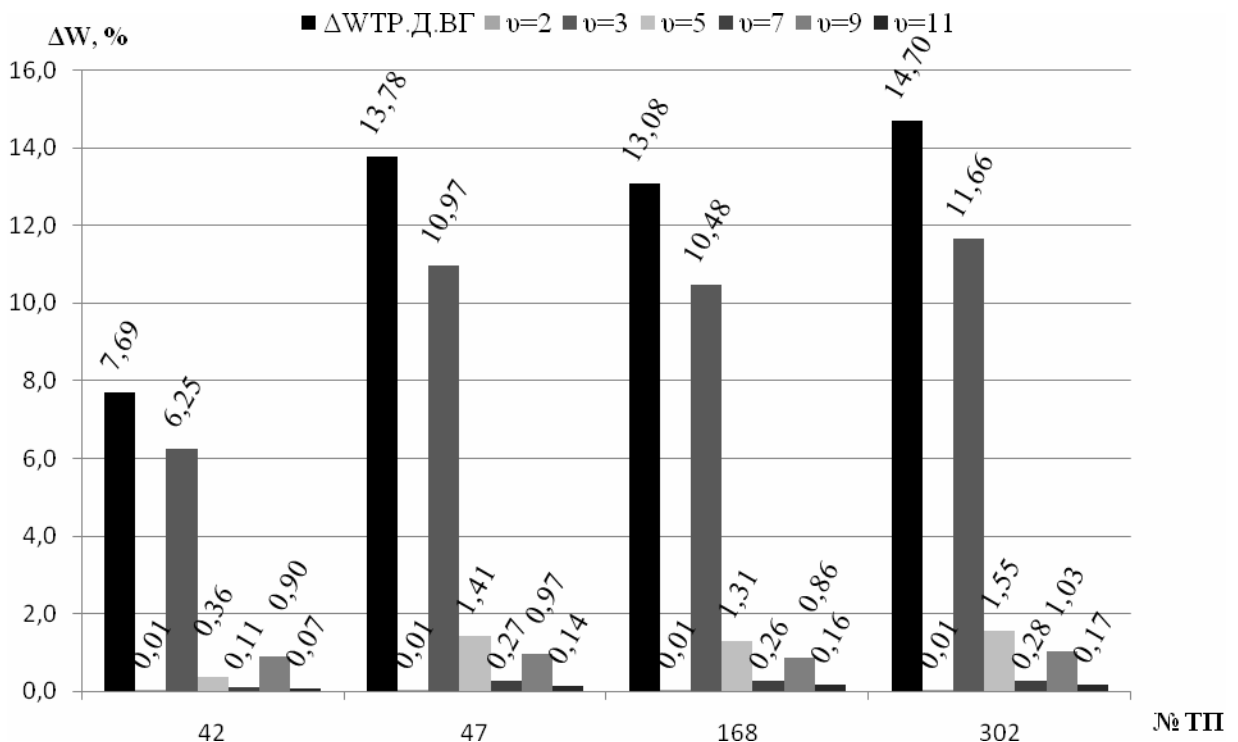


Рисунок 2 – Дополнительные потери электроэнергии в силовом трансформаторе в процентах к потерям от протекания основной гармоники тока

**Выводы:**

1. В сетях 0,38 кВ с преобладающей бытовой нагрузкой дополнительные нагрузочные потери электроэнергии от протекания токов высших гармоник на головном участке составляют

$\Delta W_{\text{ВЛ.Д.ВГ}} = (3,4 \pm 1,5)\%$ ;  $\epsilon = 44\%$ ;  $\alpha = 0,95$  относительно нормируемых нагрузочных потерь электроэнергии.

2. На низковольтном вводе силового трансформатора 10/0,4 кВ, питающего преимущест-

венно бытову навантаження, додаткові втрати електроенергії з-за протікання токів вищих гармонік становлять  $\Delta W_{TR,Д,ВГ}=(12\pm 5)\%$ ;  $\epsilon = 42\%$ ;  $\alpha = 0,95$  відносно нормованих навантажувальних втрат електроенергії.

3. По експериментальним і розрахунковим даним встановлено, що в мережах з переважаючою побутовою

навантаженням на частоту додаткових навантажувальних втрат електроенергії з-за протікання токів 3-ї гармоніки на ділянці мережі «силового трансформатора – головної ділянки мережі 0,38 кВ» становить  $(80,4\pm 2,7)\%$ ;  $\epsilon = 3,4\%$ ;  $\alpha = 0,95$  від додаткових навантажувальних втрат електроенергії, викликаних протіканням інших токів вищих гармонік.

#### Список використаної літератури:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л.А. Бессонов. – Москва, 1996 – 638 с.
2. Косоухов Ф.Д. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях [Текст] / Ф.Д. Косоухов, И.В. Наумов. – Иркутск, 2003 – 260 с.
3. Жежеленко И.В. Электрические потери от высших гармоник в системах электроснабжения [Текст] / И.В. Жежеленко // Электрика. – 2010. – № 4. – С. 3–6.
4. Юндин М.А. Токовая защита электроустановок [Текст] / М.А. Юндин. – СПб: Издательство «Лань», 2011. – 288 с.

У статті аналізуються додаткові втрати електроенергії від протікання струмів вищих гармонік в мережах 0,38 кВ що живлять переважно комунально-побутові електроспоживачі.

*In article additional losses of the electric power because of flow of harmonics currents in networks 0,38 kV feeding mainly household electroconsumers are analyzed.*

Дата надходження в редакцію: 25.02.2012. р.

Рецензент: д.ф.-м.н., професор Кузема О.С.

УДК 621.9

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОЛОМ'ЯНОЇ БІОМАСИ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**М.Я. Довжик**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

**Ю.І. Семірненко**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

**С.Л. Семірненко**, асистент, Сумський національний аграрний університет

Виходячи зі світового досвіду і концепції розвитку біоенергетики в Україні у статті наводяться дослідження щодо використання у якості палива соломи конкретної культури та внесення як добрив утвореної золи з метою зменшення техногенного навантаження.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Високі ціни, що зберігаються, на традиційні енергоносії та посилені вимоги до охорони навколишнього середовища обумовлюють високий інтерес виробників і споживачів теплової і електричної енергії до використання у якості палива поновлюваних джерел енергії, зокрема сільськогосподарської біомаси. Тому збільшення використання сільськогосподарських рослинних відходів в енергетичних цілях приведе до зростання об'ємів золи, а отже і проблем забруднення зовнішніх поверхонь нагріву соломоспалюючих котлів та проблем з утилізацією золи. Тобто, екологічно чисте паливо буде зменшувати шкідливі викиди, в той же час буде відбуватися нагромадження золи від спалювання даного палива, що може становити екологічну небезпеку.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вирішення даної проблеми висвітлювалось в ряді робіт [1,2,3,4]. Але проведений аналіз літературних джерел не вказує на способи утворення та видалення золи озимих зернових культур, та способи її внесення в ґрунт. Для забезпечення ефективного внесення в ґрунт та

запобігання пагубної дії на довкілля пропонується перед застосуванням золи провести її пелетування, таблетування і т. ін., що частково вирішує проблеми негативного впливу на здоров'я людей. Але це приводить до зміни живильних речовин, а також до додаткових затрат на виконання вказаних операцій.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Авторами приводиться аналіз зольності соломи зернових культур, склад золи соломи цих культур, плавкісні характеристики золи зернових культур, обґрунтовується доцільність використання у якості палива соломи озимої пшениці. як добрива для сільськогосподарських культур, а також пропонується спосіб утилізації сипучої золи шляхом внесення в ґрунт. Цим вирішуються важливі екологічні питання – забруднення золою навколишнього середовища, економічні питання, пов'язані із витратами на утилізацію золи та питання, пов'язані із підвищенням родючості ґрунтів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В сучасних умовах, коли застосування екологічно безпечних технологій земле-