

УДК 502:620.9

Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева

ОЦЕНКА ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 кВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены источники шума силовых трансформаторов. Произведена оценка шумового воздействия проектируемой трансформаторной подстанции ТП 10/0,4 кВ с тремя сухими трансформаторами суммарной номинальной мощностью 2400 кВА для территории, непосредственно прилегающей к техническому университету. Расчеты показали, что специальных мероприятий по снижению шума не требуется. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (госконтракт № 16.526.12.6016 от 11.10.2011 г.)

Ключевые слова: сухой трансформатор, трансформаторная подстанция, шум.

Производство энергии, являющееся необходимым средством для существования и развития человечества, оказывает существенное воздействие на окружающую среду. От энергетики в решающей мере зависит экономический потенциал государств и благосостояние людей. Самые острые экологические проблемы (изменение климата, кислотные осадки, всеобщее загрязнение среды и другие) прямо или косвенно связаны с производством или использованием энергии. Поэтому человек все больше уделяет внимание экологическому аспекту энергетики. Одним из таких воздействий является шум, создаваемый энергетическим оборудованием.

На рис. 1 показано воздействие энергоустановок на окружающую среду

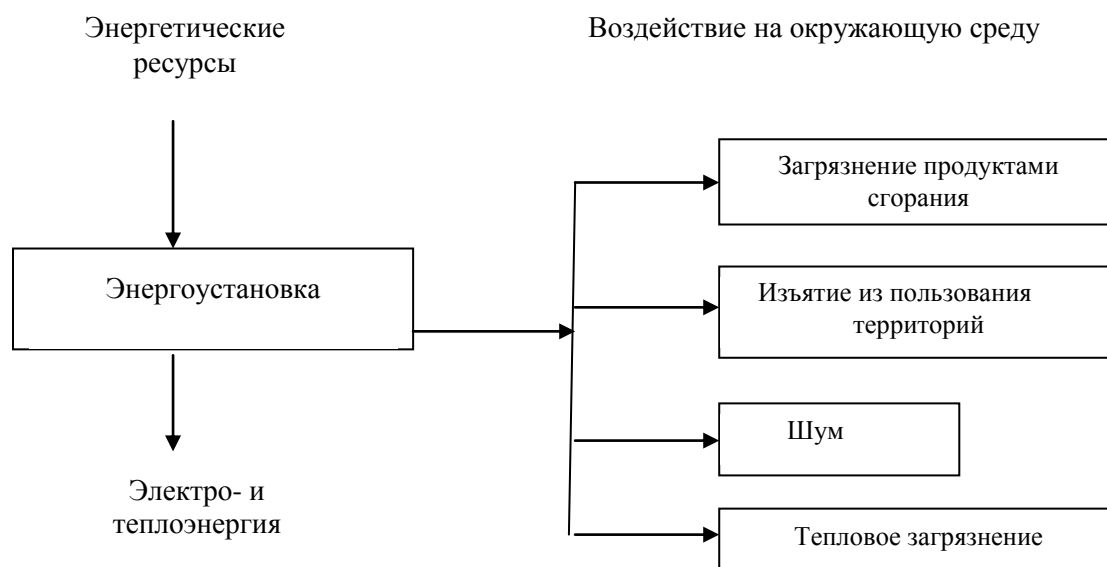


Рис. 1. Воздействие энергоустановок на окружающую среду

В настоящее время "шумовая болезнь" характеризуется комплексом симптомов: снижение слуховой чувствительности; изменение функции пищеварения, выражающейся в понижении кислотности; сердечно-сосудистая недостаточность; нейроэндокринные расстройства. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т.д. Воздействие шума может вызывать негативные изменения эмоционального состояния человека, вплоть до стрессовых.

Силовые трансформаторы понизительных подстанций являются одним из источников шума для производственных территорий и окружающего района. Шум трансформаторов вызывается вибрацией активной части, а также вентиляторами системы охлаждения. Существенное влияние на шум трансформатора оказывают резонансные явления, возникающие в его отдельных элементах [1].

Вибрация активной части трансформатора обусловлена магнитострикционными и электромагнитными силами в магнитной системе и динамическими силами в обмотках. В трансформаторах преобладает магнитострикционная составляющая вибрации.

Магнитострикция – это явление деформации кристаллической решетки магнитного материала при его намагничивании. В процессе возрастания индукции сначала происходит смещение границ кристаллов материала, а затем их вращение, что ведет к изменению линейных размеров стали. Магнитострикционное удлинение листа стали может достигать нескольких десятков микрон на один метр длины. При перемагничивании магнитной системы трансформаторов индукция в ней достигает максимума дважды за один период частоты переменного тока, что соответствует двукратному изменению длины листов стали магнитной системы. Это ведет к периодическим колебаниям магнитной системы на удвоенной частоте переменного электрического тока (вибрация с частотой 100 Гц при частоте сети 50 Гц).

Проявление магнитных сил наиболее выражено в стыковых соединениях. В шихтованных магнитных системах магнитный поток вынужден перетекать из листа в лист в воздушном зазоре, образующимся за счет неплотной стыковки листов стали. При этом возникают поперечные силы, приводящие к изгибным колебаниям листов. Поскольку листы стали на участках, соседствующих с зазорами, перенасыщаются, здесь увеличиваются также и магнитострикционные силы. Одним из источников шума трансформаторов является обмотка, проводники которой вибрируют под действием сил взаимного притяжения при протекании в них переменного тока в режиме нагрузки. Генерирующими звук поверхностями в данном случае являются торцевые части обмоток, прессующие кольца, ярмовые балки, детали крепления.

Уровни звуковой мощности трансформаторов пропорциональны их массогабаритным параметрам, хотя на практике эта зависимость может значительно меняться под действием разного рода конструктивно-технологических факторов. Уровень звуковой мощности трансформатора прямо пропорционален длине стержня магнитной системы и зависит от свойств электротехнической стали, распределения поперечных магнитных потоков в углах и над средним стержнем магнитной системы, а также от высших гармоник магнитострикции и магнитного потока на отдельных участках магнитной системы, что определяет известную приближенность расчета. При прочих равных условиях увеличение длины стержня вдвое повышает уровень звука на 6 дБ. Резонанс магнитной системы может увеличить уровень звука трансформатора на 5 дБ.

Характерным для магнитных систем трансформаторов является густой спектр собственных частот в диапазоне 1-3 кГц, обусловленных отдельными пластинами электротехнической стали. Последние не всегда монолитно стянуты, в толще магнитной системы имеются пустоты, определяемые коэффициентом заполнения стали, что ведет к высокочастотным резонансным колебаниям пластин и их участков.

Существует прямая зависимость уровней звуковой мощности трансформаторов от их электрической мощности. Эта зависимость может меняться с изменением конструкции и материалов, индукции или массы при сохранении на прежнем уровне прочих параметров. Для геометрически подобных трансформаторов их уровень звуковой мощности пропорционален массе (M) или линейным размерам в третьей степени, а также пропорционален электрической мощности трансформатора в степени $3/4$.

Влияние индукции: уровень звука трансформатора изменяется на 3 дБ при изменении индукции на 10%. Это соотношение характерно для основной гармоники шума трансформатора. Высшие гармоники (3-я и 5-я) при снижении индукции уменьшаются быстрее: на 4-5 дБ при снижении индукции на 10%, что связано с улучшением синусоидальности индукции в отдельных участках магнитной системы.

Уровни вибрации и звука трансформатора зависят от характера распределения магнитных потоков по сечению сердечника. Индукция во внутренних углах шихтованных рамных магнитных систем может достигать удвоенного значения от номинального, что является предпосылкой повышения вибраций и шума.

Для трехфазных магнитных систем характерно повышенное содержание 3-й гармоники шума, что связано как с фазовым сдвигом колебаний отдельных стержней, так и с наличием значительной 3-й гармоники индукции. Повышенным шумом и вибрацией отличаются симметричные трехфазные магнитные системы из навитых магнитопроводов, где 3-я гармоника индукции может достигать 40% от основной гармоники.

Бак обычно повышает уровень звука источника, т.е. активной части трансформатора, как за счет увеличения поверхности звукового излучения, так и за счет резонанса стенок бака. Это повышение характерно для низших гармоник звука. Более высокие гармоники источника, звукоизолированные баком, могут и снижаться.

Спектральное содержание характеристик шума трансформаторов связано с частотой питающего напряжения. У трехфазных трансформаторов (частота сети - 50 Гц) наиболее ярко выражены первые три гармоники - 100, 200, 300 Гц.

Включение трансформатора в работу приводит к повышенному шуму вследствие остаточной намагниченности магнитопровода. Из-за перенасыщения магнитопровода уровень шума может превысить уровень при нормальной работе на 20 дБ. Снижение шума до установившегося состояния после включения может длиться до 6 часов.

Спецификой сухих трансформаторов мощностью до 1000 кВА включительно является большое разнообразие конструкций магнитных систем, среди которых можно назвать шихтованные, навитые, стыковые (склеиваемые из двух половин), симметричные пространственные при множестве модификаций, обусловленных типами стыков, видами шихтовки, характером прессовки и т.д.

Наиболее шумными являются симметричные пространственные магнитные системы 3-фазных трансформаторов, укомплектованные тремя О-образными навитыми магнитными элементами. Повышенная виброактивность такой системы обусловлена резкой несинусоидальностью индукции в отдельных элементах, низкой жесткостью конструкции и собственными частотами, находящимися в диапазоне 100-300 Гц.

Более всего распространены сухие трансформаторы 3-фазные с шихтованной магнитной системой. Шум активной части таких трансформаторов без кожуха не высок. Однако он резко возрастает у полностью собранного трансформатора с кожухом, который увеличивает поверхность звукоизлучения трансформатора и к тому же не обладает достаточной жесткостью, будучи изготовлен из тонколистовой стали.

Наибольший шум (иногда в области частот 1000 Гц) имеет место во внутренних углах окон магнитопровода. На этих участках имеет место повышенная индукция (до 2Тл), вызывающая возрастание вибрации и, соответственно, шума. Поскольку такие участки сухих трансформаторов доступны, снижение шума осуществляется путем заливки внутренних углов окон магнитопровода эпоксидным компаундом.

В процессе эксплуатации может ослабнуть прессовка магнитной системы. В частности, бывает ослаблена стяжка листов стержней магнитопровода, функции которой выполняет насаженная на стержень обмотка - дистанцирующие рейки свободно перемещаются от руки.

Расчет шума трансформаторов подстанции

Для оценки шумового воздействия проектируемой трансформаторной подстанции (ТП), которую предполагается установить во дворе учебного корпуса технического университета, необходимо произвести расчет уровня звукового давления на территории, прилегающей к учебным корпусам.

ТП размещена в кирпичном здании, имеющем размеры 6 x 6 x 4 м.

На ТП будет установлено 3 сухих трансформатора: номинальной мощностью 400 кВА – 1 шт; 1000 кВА – 2 шт классом напряжения 10/0,4 кВ. Трансформаторы изготовлены на ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) - Уралэлектротяжмаш» [3].

Силовые трансформаторы с литой изоляцией предназначены для распределительных подстанций для внутренней установки и обладают высокой механической и термической прочностью. Материал обмоток – алюминий. Магнитопровод изготовлен из листов холоднокатаной электротехнической стали по технологии «Step-lap», позволяющей значительно снизить уровень шума. Обмотки низшего напряжения намотаны из алюминиевой ленты с изоляцией между витками, пропитаны смолой. Обмотки высшего напряжения капсулированного типа выполнены методом литья в вакууме на основе многокомпонентной смолы. Охлаждение естественное воздушное. Степень защиты от IP00 до IP 23. Кожух имеет вентиляционные отверстия для охлаждения.

Регламентируемой шумовой характеристикой для трансформаторов является скорректированный уровень звуковой мощности $L_{РА}$, дБА, который указывается в технических характеристиках трансформатора. Скорректированный уровень звуковой мощности для сухих трансформаторов представлен в табл. 1.

Таблица 1
Шумовые характеристики трансформаторов ТСЛ

Мощность (кВА)	Корректированный уровень звуковой мощности не более $L_{РА}$, дБА
250	65
400	68
630	70
1000	74

Акустический расчет уровня звукового давления L , дБ, в помещении с несколькими источниками шума [2]:

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_{wi}} \cdot \chi_i \Phi_i}{\Omega \cdot r_i^2} + \frac{4}{kB} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} \right),$$

где L_w - октавный уровень звуковой мощности, дБ; χ - коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля; Φ - фактор направленности источника шума; Ω - пространственный угол излучения источника, рад; r - расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м; k - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении; B - акустическая постоянная помещения, м².

Акустическая постоянная помещения:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{cp}},$$

где α_{cp} - средний коэффициент звукопоглощения; A - эквивалентная площадь звукопоглощения, м².

Эквивалентная площадь звукопоглощения:

$$A = \alpha_i \cdot S_i,$$

где α_i - коэффициент звукопоглощения i -й поверхности; S_i - площадь i -й поверхности, м².

Для расчета приняты следующие значения в соответствии с [2]:

- коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля: $\chi = 2$;
- фактор направленности источника шума: $\Phi = 1$ (для источников с равномерным излучением);
- пространственный угол излучения источника: $\Omega = 2\pi$ рад (для источника шума, находящегося на полу);

- расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки: $r = 1\text{ м}$;
- коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении: $k=1,25$;
- средний коэффициент звукопоглощения: $\alpha_{\text{ср}}=0,15$;
- площадь i -й поверхности: $S=64\text{ м}^2$;
- эквивалентная площадь звукопоглощения: $A=9,6\text{ м}^2$;
- акустическая постоянная помещения: $B=11,3\text{ м}^2$.

Результатом расчета является величина шума внутри здания ТП:

$$L = 75,3 \text{ дБА.}$$

Уровень звуковой мощности шума $L_w^{\text{пп}}$, дБ, прошедшей через ограждение на территорию:

$$L_w^{\text{пп}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} - 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg K + \lg S - R,$$

где L_{wi} - уровень звуковой мощности i -го источника, дБА; $B_{\text{ш}}$ - акустическая постоянная помещения с источником (источниками) шума, м^2 ; S - площадь ограждения, м^2 ; R - изоляция воздушного шума ограждением, дБА.

Для расчета приняты следующие значения: $L_{wi} = 80\text{ дБА}$, $B_{\text{ш}} = 11,3\text{ м}^2$, $S = 24\text{ м}^2$, $R = 47\text{ дБ}$ согласно [2] уменьшение шума 15-сантиметровой оштукатуренной стены в полкирпича.

В результате расчета получается, что величина шума с наружной стороны здания ТП составляет $L_w^{\text{пп}} = 30,6\text{ дБА}$.

Согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», допустимый уровень шума на территории, прилегающей к зданию университета, не должен превышать 55 дБА.

Таким образом, шум, создаваемый проектируемой ТП 10/0,4кВ с тремя сухими трансформаторами суммарной номинальной мощностью 2400 кВА, будет ниже допустимого для территории, непосредственно прилегающей к техническому университету. Поэтому специальных мероприятий по снижению шума не требуется.

Библиографический список

1. Лазароиу, Д.Ф. Шум электрических машин и трансформаторов: [пер. с рум.] / Д. Ф. Лазароиу, Н. Бикир. – М.: Энергия, 1973. – 271 с.
2. СНиП 23.03.2003 "Защита от шума".
3. <http://www.uetm.ru>. Веб сайт ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) - Уралэлектротяжмаш»

Дата поступления
в редакцию 06.11.2012

E.N. Sosnina, O.V. Masleeva

THE NOISE IMPACT ASSESSMENT TRANSFORMER SUBSTATION 10/0, 4 KV ENVIRONMENTAL

Purpose: Determination of the need for special measures to reduce noise in the design of the transformer substation 10/0, 4 kV.

Design/methodology/approach: By calculating the sound power level of noise exposure assessed projected substation substation 10/0, 4 kV with three dry transformers total nominal capacity of 2400 kVA for the area immediately adjacent to the Technical University.

Findings: Calculations of the sound power level, the special measures to reduce the noise when installing substation 10/0, 4 kV is required.

Research limitations/implications: Research limitations — electric power industry.

Originality/value: Raised the important question of the environmental impact of power equipment on the environment.

Key words: dry transformer, transformer substation, noise.