

**к.т.н., доц. Халимов В.В.,  
к.т.н., доц. Зотов В.А.,  
аспирант Кириченко А.Т.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)**

## **ПРОБЛЕМЫ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Встановлені проблеми впливу вищих гармонічних складових на електричні мережи гірничих підприємств, сформульовані цілі та завдання подальших досліджень.*

На предприятиях горной промышленности, несмотря на ужесточающиеся требования норм и правил, обеспечивающих безопасность ведения работ, применение нового оборудования, возникают взрывы и пожары, приводящие не только к большим экономическим убыткам, но и к гибели обслуживающего персонала.

По статистическим данным [1] в угольной промышленности 35,5% пожаров в подземных выработках шахт происходит от тепловых импульсов электрической энергии, выделяющихся в рудничную атмосферу при эксплуатации электрических сетей.

Шахтные электрические сети необходимо отнести к сетям особого рода, так как их устройство и условия эксплуатации существенно отличаются от электрических сетей, работающих в нормальных условиях по следующим признакам:

1. применение электрических поверхностных и подземных электрических сетей, имеющих, в большинстве случаев электромагнитную связь;

2. сложность конфигурации и большая протяженность подземных электрических сетей, обусловленная планами горных работ. Так, протяженность кабельных линий 6 кВ в подземных выработках шахт составляет 20-45 км. Значительную протяженность также имеют кабельные линии напряжением 660, 220 и 127 В;

3. применение тиристорных и других преобразователей, создающих нелинейную нагрузку без учета электромагнитной совместимости с другим электрооборудованием;

4. наличием постоянной несимметрии фазных напряжений и токов за счет изменения сопротивления изоляции фаз электрической сети с изолированной нейтралью;

5. изменение емкости и индуктивности электрической сети по причине передвижного характера горных работ, вызывающего необходимость увеличения или уменьшения длины кабелей, питающих токоприемники;

6. отсутствие в электрических подземных сетях компенсаторов индуктивной составляющей тока. Поэтому кабельные сети представляют собой смешанные активно-индуктивно-емкостные цепи;

7. несоответствие характеристик фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ), которые должны применяться для подавления высших гармоник при наличии тиристорных и других преобразователей параметрам высших гармонических составляющих тока и напряжения.

Приведенные выше особенности кабельных сетей угольных шахт подтверждается статистикой [1], показывающей, что основные источники пожаров от электрического тока – это кабельные линии, при этом 80% возникновения пожаров приходится на гибкие и бронированные кабели напряжением 380 В и выше. При этом частоте возникновения пожаров от бронированных кабелей с напряжением выше 6 кВ в 1,5 раза выше по сравнению с кабелями до 1000 В.

Токоприемники с нелинейными характеристиками и преобразователи создают искажение электрических параметров питающей сети, приводят к появлению высших гармоник тока и напряжения, которые, воздействуя на другое оборудование, могут вызывать перегрев, выход из строя как силового оборудования, так и систем управления, а также приводят к увеличению потери электроэнергии.

Однако, выводы о воздействии высших гармоник на другое электрооборудование и возможные, в связи с этим, аварии не подтверждается статистическими данными, конкретными обобщениями и выводами, что свидетельствует о необходимости проведения исследований гармонических составляющих в электрических сетях.

Актуальность проведения исследований гармонических составляющих подтверждается также проведенными исследованиями [2], на основании которых были сделаны выводы о том, что в отключенных от источников питания электрических сетях, возможно появление э.д.с за счет проникновения высших гармонических составляющих через электромагнитные связи и воздушные промежутки (разомкнутые контактные системы).

При стечении определенных обстоятельств: наличие взрывчатой концентрации газа метана или угольной пыли, температуры и влажности окружающего воздуха, механическое повреждение кабельных ли-

ний, в результате чего выделяется энергия спектра высших гармонических составляющих, может привести к взрывам и пожарам.

На основании вышеизложенного можно сформулировать идею работы, цель и задачи научных исследований, результаты которых позволяют существенно повысить безопасность угольной отрасли, а также выявить проблемы влияния высших гармонических составляющих на электрические сети других предприятий.

Идея работы: наличие высших гармонических составляющих в электрических сетях предприятий с пожаро- и взрывоопасной средой может явиться причиной взрывов или пожаров.

Цель научных исследований: выявление закономерностей возникновения, распространения и влияния высших гармоник на взрыво- и пожароопасность шахтных электрических сетей.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить основные задачи проблем мгновенного и длительного возникновения высших гармонических составляющих в шахтных электрических сетях.

Проблемы мгновенного возникновения:

Искажения формы питающего напряжения возникают под влиянием нелинейностей трансформаторов и электродвигателей, существенный вклад вносят тиристорные преобразователи и выпрямители. Процессы коммутации мощных токоприемников и короткие замыкания в электрической сети приводят к появлению энергетических сгустков. Эти сгустки перемещаются по кабельной сети. Проходя через коммутационную аппаратуру, наталкиваясь на повреждения и другие неоднородности электрической сети, сгустки раздваиваются и перемещаются в различные стороны, неоднократно преодолевая длину кабелей до полного рассеивания в виде тепла. Появление множества сгустков приводит к накладке их друг на друга в моменты встречи, а также к резонансным явлениям с помехами, вызванными другими источниками. Спектр искажений и энергетических сгустков представлен высокими частотами, которые свободно проходят через разомкнутые контакты, между обмотками трансформаторов и рядом расположенные кабели, поэтому представляют опасность не только в отдельно взятом участке, но и для всей сети предприятия.

Полное сопротивление электрической сети представлено активными, индуктивными и емкостными составляющими. Все эти составляющие постоянно меняются с течением времени и зависят от множества факторов: состояния изоляции, количества и характера повреждений, изменения длины сети при перемещении фронта горных работ. При высоком содержании высших гармоник токов падение напряжения в участках сети становится выше предельных значений, установленных ГОСТом [3,4].

Кроме того, изменение температуры изоляции под влиянием больших потерь мощности вызывает дополнительные нелинейные изменения сопротивлений, что также вносит своей вклад в увеличение искажений.

Влияние изменения сопротивлений линий во время эксплуатации учитывается, как правило, только при расчетах токов короткого замыкания и зон действия защит, без учета токов гармонических составляющих.

Выявление закономерностей и создание устройств для оперативной компенсации высших гармоник при изменении параметров сети позволит повысить экономичность и безопасность эксплуатации подземных сетей.

Исследования показали, что в трехфазных сетях доминируют гармоники, кратные трем. Для сетей с заземленной нейтралью установлено, что эти гармоники могут вызывать появление обратной последовательности токов или напряжений, приводящей к торможению электроприводов, а также нулевой последовательности, нарушающей селективность срабатывания защит. Для сетей с изолированной нейтралью большинство этих вопросов пока не изучены. Их изучение также позволит снизить потери и предотвратить аварийные ситуации.

Между расположенными рядом проводниками (кабелями) всегда существует паразитная емкость. В результате возникают наводки в силовых, телекоммуникационных и управляющих сетях. Для основной гармоники с частотой 50Гц эта емкость представляет значительное сопротивление, поэтому взаимный обмен энергией, как правило, незначительный. Для высших гармоник емкость не является препятствием, поэтому в близлежащих проводниках (как подключенных, так и неподключенных), наводятся помехи. Энергии этих помех может оказаться достаточно для воспламенения окружающей взрывоопасной атмосферы или для сбоя управления аппаратурой, определяющей безопасность ведения работ.

Исследование взаимного влияния сетей при протекании в них высших гармоник требует определения уровня наводок в зависимости от длины параллельных участков линий, расстояния между ними, а также зависимости искажений информационных потоков и накопленных энергий от частоты высших гармоник.

Высшие гармоники создают электродинамические усилия, вызывающие акустические шумы в трансформаторах, дросселях и других электромагнитных элементах. Кроме неблагоприятного воздействия на человека, шумы и связанные с ними вибрации приводят к увеличению износа элементов электрооборудования, могут спровоцировать аварии из-за ослабления резьбовых соединений. В отдельных случаях возмож-

ны резонансные явления, приводящие к усталостному разрушению элементов электромеханических систем.

Таким образом, проблему высших гармоник следует рассматривать комплексно, применительно к процессам не только в линиях электропередач, но и в связанных с ними механическими системами. Задача исследований в данном случае состоит из двух частей: влияние на человека и оборудование.

#### Проблемы длительного возникновения:

Наличие высших гармоник в электрических сетях вызывают перегрев трансформаторов за счет увеличения активного сопротивления обмоток, а также увеличения потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе трансформаторов. Небольшую аварийность трансформаторов в подземных электрических сетях можно объяснить особенностями расчета мощности трансформаторов и коэффициентом шкалы номинальных мощностей, в результате чего загрузка трансформатора составляет 50-70% от номинальной мощности.

В электродвигателях дополнительный нагрев обмоток возникает из-за значительной разницы в скоростях вращающихся магнитных полей, создаваемых высшими гармониками и скоростью вращения ротора. В отличие от трансформаторов, выход из строя электродвигателей из-за перегрева более значительный, и возможно из-за влияния высших гармоник. При выборе мощности электродвигателей для горнотранспортных машин влияние высших гармоник не учитывается.

Потери мощности, вызывающие дополнительный нагрев кабелей возникают по следующим причинам:

- увеличение действующего значения тока спектра высших гармоник;
- увеличение активного сопротивления силовых жил кабелей из-за скин-эффекта;
- увеличение диэлектрических потерь в изоляции кабелей.

Увеличение диэлектрических потерь в изоляции гибких кабелей при частоте 50Гц и напряжении 660 и 1140 В исследованы в работах [5].

Однако подобные исследования при повышенных гармониках не проводились. Решение поставленных задач позволит повысить уровень безопасности применения электрической энергии на предприятиях с пожаро- и взрывоопасной атмосферой.

#### Выводы:

Для решения проблем влияния высших гармоник на состояние электрических сетей и уровень пожаро- и взрывобезопасности предприятий угольной промышленности необходимо:

- провести исследования причин возникновения и распространения высших гармонических составляющих в электрических сетях;
- определить возможность применения различных способов подавления высших гармоник в электрических сетях с передвижным характером работ;
- разработать нормативы на допустимые величины параметров высших гармонических составляющих, обеспечивающих безопасность на предприятиях с пожаро- и взрывоопасной средой.

*Установлены проблемы влияния высших гармонических составляющих на электрические сети горных предприятий, сформулированы цели и задачи дальнейших исследований.*

*Problems high harmonic forming in electrical networks of enterprises with fire and explosive atmosphere in mining industry.*

### **Библиографический список**

1. Ткачук К.П., Колосюк В.П., Ихно С.А. *Взрывопожаробезопасность горного оборудования*. – Киев.: Основа, 2000. – 695с., ил.
2. Халимов В.В., Тютчев А.Г. *Экспериментальное исследование качества электроэнергии на коксохимическом заводе ОАО «Алчевсккокс».*
3. ГОСТ 13109-97. *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.*
4. Жежеленко И.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий*. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с., ил.
5. Герценштейн Я.И., Халимов В.В. *Исследование изменения сопротивления изоляции шахтных гибких кабелей при напряжениях 660 и 1140 В. Сб. «Электробезопасность на горнорудных предприятиях черной металлургии СССР*. Днепропетровск, 1975.

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Зеленовым А.Б.*