

Лекция № 2

Влияние различных факторов на эксплуатационную надежность электрооборудования

2.1 Действия обслуживающего персонала и надежность электрооборудования

В процессе эксплуатации электрооборудование подвергается воздействию ряда факторов, оказывающих существенное влияние на показатели его эксплуатационной надежности. Все многообразие факторов условно подразделяют на субъективные и объективные факторы.

Субъективные факторы – такие факторы, которые зависят исключительно от действий обслуживающего персонала. К ним в первую очередь следует отнести квалификацию персонала, соблюдение правил технической эксплуатации электрооборудования, организацию системы технических обслуживаний и ремонтов, соблюдение мер безопасности и т. п. Практика показала, что действия обслуживающего персонала могут существенно понизить показатели надежности. При этом следует иметь в виду, что ошибки, допущенные при проектировании, могут быть устранены в процессе проведения испытаний при вводе электроустановок в эксплуатацию, а ошибки, допущенные при обслуживании электрооборудования, могут привести к остановке технологических процессов. Имеются сведения, что до 30 % всех отказов электрооборудования так или иначе связано с неправильными или ошибочными действиями обслуживающего персонала.

Часто причиной ошибок являются недостаточные знания принципа действия и конструктивного устройства электротехнических изделий, правил их эксплуатации, неумение предупредить и устранить неисправности, недостаточный опыт работы, небрежность при обслуживании и ремонте.

Наиболее распространенными ошибками в действиях обслуживающего персонала являются:

- несоблюдение установленных режимов работы электроустановок;
- ошибки при выборе уставок устройств релейной защиты и автоматики;
- неправильная сборка схем, настройка и регулировка аппаратов;
- коммутация не обесточенных цепей;
- нарушение порядка, объема и методики проведения профилактических мероприятий;
- неверная оценка явлений, наблюдаемых в работающих установках;
- ошибочные действия при диагностировании электрооборудования.

Следует отметить, что некоторое уменьшение влияния квалификации обслуживающего персонала можно достичь путем внедрения автоматизированных средств контроля и диагностики. Однако полное исключение субъективных факторов невозможно. Отсюда возникает необходимость высокой профессиональной подготовки персонала, обслуживающего электроустановки, и тщательного контроля его действий.

Большое значение имеет также соблюдение графиков выполнения профилактических работ, когда все операции проводятся в заданные сроки и в объеме, обеспечивающем сохранение показателей надежности оборудования в установленных пределах. Строгое выполнение графиков плановых работ позволяет рационализировать работу энергослужб, повысить качество работ, уменьшить количество ошибок, сократить общее время на проведение мероприятий по эксплуатационному обслуживанию оборудования.

2.2 Старение и износ электротехнических материалов

Помимо субъективных факторов на электрооборудование в процессе эксплуатации действует значительное количество объективных факторов. *Объективные факторы* – это такие факторы, которые обусловлены физико-химическими процессами, связанными с режимами работы электрооборудования и действием окружающей среды. Объективные факторы, в свою очередь, подразделяются на внутренние и внешние факторы.

К внутренним факторам относятся факторы, приводящие к качественному изменению в элементах электрооборудования за счет процессов старения, механического и электрического износов и т. п. К внешним факторам обычно относятся факторы, обусловленные харак-

тером эксплуатации и режимом работы (температурный режим, механические нагрузки, переходные процессы и др.), а также воздействие окружающей среды.

Окружающая среда – совокупность всех природных условий, в которых протекает эксплуатация электроустановок. К основным факторам окружающей среды относятся: температура, влажность, загрязнения, механические примеси в воздухе, биологические факторы, солнечная радиация и др. Рассмотрим процессы старения и износа элементов электрооборудования.

Старение материалов – относительно медленное изменение физико-химических свойств материалов элементов электроустановок на всех этапах их эксплуатации. Старение проявляется в структурных изменениях материалов диэлектриков, в окислении поверхностей контактов, в химических реакциях и разложении пропиточных составов, в изменении механических и электрических свойств полимерных материалов и т. д. Процессы старения протекают непрерывно и могут значительно ускоряться под действием факторов окружающей среды и характера работы электрооборудования.

Износ – изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности элементов оборудования вследствие разрушения (изнашивания) микрообъемов поверхностного слоя. Согласно молекулярно-механической теории прочности износ имеет двойственную природу. С одной стороны, он обусловлен деформационными процессами, протекающими в молекулярном слое, а с другой – взаимодействием поверхностей двух тел. *Механический износ* следует рассматривать как механический процесс, вызывающий снижение прочности поверхностного слоя. Чаще всего износ является следствием трения сопряженных поверхностей, которые изнашиваются одновременно. В этом случае силы трения, возникающие вследствие сопротивления соприкасающихся поверхностей сопряженных деталей, вызывают упругие и пластические деформации с образованием продуктов износа, срез материала с трущихся поверхностей абразивными частицами и разрыв молекулярных связей на поверхностном слое. При слабо смазанных поверхностях возникает граничное трение, оказывающее сильное влияние на износ поверхностей.

Если учесть, что для электрооборудования характерен широкий диапазон скоростей перемещающихся поверхностей, величин механических нагрузок, воздействий коррозионно-агрессивных сред, высоких и низких температур, электромагнитных явлений и т. п., то уход за трущимися деталями является важнейшим элементом эксплуатации.

Электрический износ связан с электрохимическими процессами, возникающими при протекании электрического тока. Проявляется электрический износ в изменении свойств электролитов в аккумуляторах, в изменении структуры переходов в полупроводниковых приборах, в процессах на поверхности контактов реле и т. п.

Все действующие на электрооборудование факторы обычно воздействуют одновременно и связаны сложной зависимостью, определяющей случайный характер возникновения отказов. В тоже время следует подчеркнуть, что признание случайного характера отказов вовсе не означает признание неизбежности их возникновения. Если закономерности возникновения отказов правильно поняты, то возможно принятие таких мер, которые для конкретного оборудования в конкретных условиях позволили бы существенно снизить вероятность отказов. Изучение закономерностей возникновения отказов требует более подробного освещения влияния основных объективных факторов на показатели функционирования электрооборудования.

Лекция № 3

3.1 Режимы работы электроустановок

Существенное влияние на надежность долговечность и стабильность параметров электрооборудования оказывает режим его работы. *Электрическая нагрузка* главным образом действует на изменение температурного режима. Поэтому все токоведущие части электроустановок характеризуются допустимыми нагрузками по мощности или току, а изоляционные материалы – допустимой температурой и напряжением. Отклонение от оптимального температурного режима обычно приводит к значительному росту интенсивности отказов, а работа на предельно допустимых нагрузках сокращает срок службы. Особенно чувствительны к повышению температуры изоляционные материалы и полупроводниковые приборы.

Главным источником тепла в работающих электроустановках являются потери мощности при протекании тока нагрузки по токоведущим частям, при периодическом изменении

направления магнитного потока в стальных сердечниках. А также в результате диэлектрических потерь в изоляции.

Как известно, электрический ток, протекая по проводнику, вызывает в нем потери, которые в общем виде можно представить следующим образом

$$P = \int_V \rho j^2 dV, \quad (2.1)$$

где j – плотность тока;
 ρ – удельное сопротивление;
 V – объем проводника.

При однородном по всей длине проводнике и равномерном распределении тока по его сечению формула (2.1) упрощается:

$$P = j^2 \rho V = j^2 \rho l S = I^2 R, \quad (2.2)$$

где l – длина;
 S – площадь поперечного сечения проводника;
 $R = \rho \frac{l}{S}$ – сопротивление проводника.

Потери в толще диэлектрика, обусловленные диэлектрическими потерями

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta, \quad (2.3)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота переменного тока;
 C – емкость изоляции;
 U – напряжение на изоляции;
 $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

При наличии источника тепла в пространстве происходит процесс выравнивания температур за счет потока тепла от мест с более высокой температурой к местам с более низкой температурой. Процесс переноса тепла называют теплообменом или теплопередачей. Различают три способа теплообмена: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Нормированные значения допустимой температуры нагрева и ее превышения над температурой окружающей среды для различных частей электротехнического оборудования приводятся в нормативных документах.

Известно выражение для определения превышения температуры электротехнического изделия в любой момент времени:

$$\tau = \Theta_0 + (\Theta - \Theta_0)(1 - e^{-t/T}), \quad (2.4)$$

где τ – превышение температуры в любой момент времени t ;
 Θ_0 – начальное установившееся превышение температуры в момент $t = 0$;
 Θ – конечное установившееся значение превышения температуры;
 T – постоянная времени нагревания.

При этом постоянная времени T определяет скорость нарастания и спада температуры.

Работа элементов при предельно допустимой нагрузке сокращает срок их службы и не гарантирует надежной работы. Уменьшение нагрузки до оптимального значения увеличивает надежность работы элементов.

О значениях реальной нагрузки судят по статистическим данным эксплуатации и замерам режимов работы элементов. Для оценки режимов работы обычно используют коэффициент нагрузки по мощности (току) и по напряжению.

Коэффициент нагрузки по мощности

$$k_p = P_p / P_{\text{ном}}, \quad (2.5)$$

где P_p – фактическое значение мощности,
 $P_{\text{ном}}$ – номинальное значение мощности.

Аналогично определяются коэффициенты по другим параметрам. При проектировании обычно принимается коэффициент электрических нагрузок 0,4 ... 0,6.

Для поддержания требуемого температурного режима электрооборудования необходимо тщательно соблюдать установленную длительность непрерывной работы оборудования, внимательно следить за нормальным функционированием устройств вентиляции, теплообменников, магистралей охлаждающих жидкостей; контролировать температуру элементов электроустановок, работающих в наиболее тяжелом режиме работы; проверять параметры охлаждающей среды и т. п.

3.2 Действие механических нагрузок на электрооборудование

Механические нагрузки на электрооборудование вызываются ударами и вибрацией при использовании его по назначению и при транспортировке, воздействием температурных и электродинамических перегрузок, действием ветра, осадков и другими факторами окружающей среды.

Удар – мгновенное приложение силы к конструкции, при котором в ней возникают затухающие колебания на собственной частоте. Амплитуда колебаний может быть настолько значительной, что наступает излом хрупких деталей, обрыв проводов, нарушение паек, деформация деталей и мест их сопряжения и т. п.

Ударное ускорение определяется в единицах силы тяжести:

$$g = \frac{V^2}{2 \cdot 9,81 \cdot S}, \quad (2.6)$$

где V – мгновенная скорость в момент удара, см/с;

S – перемещение при ударе или суммарная величина упругих и остаточных деформаций ударяющихся элементов, мм.

Вибрация – длительное знакопеременное колебание, вызываемое внешними силами. Следствием вибраций могут быть поломки деталей в результате усталостных явлений, обрывы проводов, нарушение регулировок, разрушение уплотнений и армирования и т. п. Ускорение при вибрации

$$g = 4\pi^2 f^2 S, \quad (2.7)$$

где f – частота колебаний, Гц;

S – амплитуда перемещений, мм.

Для электрических машин, используемых в электроустановках, характерно появление вибраций при нарушении соосности электрической машины и исполнительного механизма. Вибрации представляют собой сложные механические колебания. Характеристиками вибраций являются их продолжительность, диапазон частот и значение относительного ускорения (по отношению к ускорению свободного падения). Практика показывает, что наиболее опасными являются вибрации с частотой 100 ... 150 Гц и 175 ... 500 Гц.

Величина вибрации проверяется специальным прибором виброметром при вводе электрической машины в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации при осмотрах, текущих и капитальных ремонтах. Устраняются вибрации путем обеспечения соосности электрической машины и приводимого в действие механизма путем подкладки под лапы электрической машины специальных прокладок. При использовании стационарных резервных ДЭС и для отдельных электротехнических изделий с целью исключения повышенных вибраций применяются специальные амортизаторы.

Механические перегрузки в проводах и других элементах линий электропередачи возникают в результате смещения опор. Устраняются путем проведения специальных эксплуатационных мероприятий по правке опор.

Таким образом, следствием механических нагрузок являются усталостные явления в материалах конструкций, нарушение креплений, ослабление винтовых и заклепочных соединений, обрывы проводов в местах изгибов и паек, деформация и поломка деталей и др.

Снижение нагрузок. На снижение влияния механических нагрузок направлены соответствующие конструктивные решения той или иной электроустановки. При этом предусматриваются масляные и пружинные буферные устройства, средства амортизации, устройства, предотвращающие самопроизвольную разборку агрегатов и нарушение соединений (шплинты, фиксирующие и пружинные шайбы и т. д.). Важнейшим условием поддержания надежности оборудования на заданном уровне является установка этих элементов на место при проведении профилактических и восстановительных работ.

При монтаже устройств релейной защиты и автоматики, а также другой сложной аппаратуры следует уменьшать нагрузку на соединительные провода. Для этого предусматривается жесткий навесной монтаж элементов схемы с минимальной длиной выводов. Выводы перед пайкой обвиваются вокруг соответствующего лепестка. Тяжелые элементы прикрепляются к элементам конструкции дополнительными приспособлениями.

Эффективным средством уменьшения влияния вибрации на элементы монтажа является заливка смонтированных узлов специальными компаундами и смолами.

Лекция № 4

4.1 Параметры окружающей среды и надежность электрооборудования

Температура. Электрооборудование может эксплуатироваться в различных температурных условиях окружающей среды. Изменение температуры среды может происходить под действием прямых солнечных лучей, за счет близлежащих источников повышенной температуры и внутреннего нагрева. Влияние температуры тем сильнее, чем больше скорость и частота ее изменения.

Сезонные колебания температуры достигают 60–80 °С, а суточные – 20–40 °С. При воздействии солнечных лучей возможно повышение температуры до 40 °С, что приводит к повышению температуры отдельных электротехнических изделий и к повышению коэффициента нагрузки.

Немаловажным фактором является скорость и цикличность изменения температуры в аппаратах. Неблагоприятное воздействие на надежность оказывают как отрицательные, так и положительные изменения температуры. Особенно заметно возрастание интенсивности отказов при положительных температурах. Так, например, при увеличении температуры с 20 до 85 °С увеличивается интенсивность отказов полупроводниковых элементов в 2–3 раза.

Повышение температуры способствует распаду органических материалов, ухудшению изоляционных свойств различного рода заливок, обмоток, ухудшению механических свойств полимеров, что приводит к деформации деталей и выходу их из строя. Периодические смены низких и высоких температур особенно быстро приводят к разрушению обмоток трансформаторов, двигателей и другого электрооборудования.

При отрицательных температурах пластмассы теряют прочность, резиновые изделия становятся хрупкими, металлические изделия делаются ломкими. В образовавшиеся трещины изоляции попадает влага, снижая электрическую прочность изоляции.

Очень чувствительны к изменению температуры резисторы и полупроводниковые приборы. Например, при изменении температуры от + 60 до – 60 °С их параметры изменяются на 15–25 %.

Влажность. Повышенная влажность является одним из факторов, оказывающим наибольшее отрицательное влияние на электротехнические изделия. Влага постоянно находится в окружающей среде. Наиболее опасным является соприкосновение элементов оборудования с водяными каплями, что может быть при конденсации водяных паров в атмосфере (туман) или на поверхности элементов электрооборудования. Следует отметить, что благодаря относительно небольшому эффективному диаметру молекул воды она легко проникает в поры многих материалов.

Влажность характеризуется относительной влажностью, представляющей собой измеряемое в процентах отношение фактически содержащихся в воздухе водяных паров к максимально возможному их содержанию к их данной температуре. Нормальной считается относительная влажность 60–65 %. При влажности 80 % воздух считается сырым.

Воздействие влаги и атмосферных осадков на электрооборудование возможно путем поглощения водяных паров из воздуха, конденсации водяных паров на поверхностях аппаратов, смачивания брызгами дождя или снега, налипанием снега и льда на провода.

Повышенная влажность приводит к ухудшению электрических характеристик диэлектриков, падает удельное объемное и поверхностное сопротивление, уменьшается электрическая прочность. При воздействии влаги окисляются контакты, уменьшается сопротивление между выводами. Под влиянием влаги ускоряется разрушение лакокрасочных покрытий, нарушается герметизация и целостность заливок. Повышенная влажность приводит к коррозии металлических деталей, ухудшаются изоляционные свойства материалов.

Для учета влияния температуры и влажности на надежность оборудования вводится поправочный коэффициент, который в зависимости от их величины может находиться в диапазоне от 1 до 2,5.

Воздействие атмосферных осадков на провода воздушных линий электропередачи приводит к налипанию снега и льда на них, резко возрастают механические нагрузки на провода, сокращается стрела провеса, не исключается обрыв проводов. Для защиты линий электропередачи от этого неблагоприятного явления проводится плавка гололеда.

Для защиты электротехнических изделий от влаги применяются различные способы. Наиболее эффективным является разработка герметичной аппаратуры с резиновыми уплот-

нителеми. В ряде случаев применяются влагозащитные изоляционные материалы (покрытие деталей лаком, заливка эпоксидной смолой и т.п.). Широко применяется пропитка, особенно при изготовлении точных изделий. В ряде случаев используют опрессовку – покрытие слоем изоляционного материала, образующегося из пластмасс в специальных формах.

Выбор того или другого метода обеспечения влагозащиты определяют исходя из конкретных условий эксплуатации электрооборудования. При этом необходимо помнить, что любой метод не устраняет в полной мере влияния влажности на надежность электротехнических изделий.

Загрязнение. На надежность электрооборудования существенное влияние оказывает также загрязнение механическими и химическими примесями. Находящаяся в воздухе пыль представляет собой мельчайшие частицы горных пород, дыма промышленных предприятий, остатки растительных и животных организмов. В воздухе в зависимости от степени его загрязнения может находиться до 60 мг/м^3 пыли.

Находящаяся в воздухе пыль легко проникает в негерметизированные изделия, во вращающиеся электрические машины и механизмы. При этом снижается поверхностное сопротивление, забиваются вентиляционные каналы и ухудшаются условия охлаждения электрических машин, ускоряется износ подвижных частей и контактов, в ряде случаев изменяются параметры элементов. Особенно опасна пыль для устройств содержащие печатные платы и не защищенных специальным покрытием из-за возможности образования дополнительных токопроводящих цепочек.

Кроме пыли в атмосфере могут находиться сильнодействующие химические примеси, выбрасываемые промышленными предприятиями и автомобилями. Они увеличивают коррозию металлов, ускоряют процесс старения в пластмассах и органических диэлектриках. На морском побережье на надежность электротехнических изделий сильное влияние оказывают соли и соляные туманы. Для уменьшения влияния этого фактора необходимо применять герметизацию элементов и отдельных электротехнических изделий в целом, специальные влагостойкие и солестойкие покрытия.

4.2 Влияние качества электроэнергии на эксплуатационные свойства электрооборудования

Одним из факторов, оказывающих серьезное влияние на эффективность работы электрооборудования и приводящих к ухудшению эксплуатационно-технических характеристик, к преждевременному выходу его из строя, является низкое качество электроэнергии на зажимах электроприемников.

Причины появления недопустимых значений показателей качества электроэнергии связаны с дефицитом реактивной мощности в узлах нагрузки, неправильным проектированием трансформаторных подстанций, перегрузками сетей низкого напряжения, чрезмерно большими потерями напряжения в распределительных сетях, отсутствием и неправильной эксплуатацией регулирующих устройств.

Требования к качеству электроэнергии регламентируются ГОСТ 32144–2013. Основными показателями качества электроэнергии являются: медленные изменения напряжения $\delta U_{(-)}$; $\delta U_{(+)}$, размах колебаний напряжения δU_t , доза колебаний напряжения ψ , коэффициент несинусоидальности кривой напряжения $k_{u(n)}$, коэффициент обратной последовательности k_{2u} , коэффициент нулевой последовательности k_{0u} , отклонение частоты Δf , длительность провала напряжения Δt , величина импульсного напряжения

ГОСТ 32144–2013 устанавливает нормальный и максимальный пределы изменения по отдельным показателям. Так, отклонения напряжения должны составлять ± 5 и ± 10 % соответственно, отклонения частоты $\pm 0,02$ и $\pm 0,04$ %, коэффициент несинусоидальности 5 и 10 %.

Наиболее часто нарушаемыми и оказывающими наибольшее влияние на работу электроприемников являются отклонения напряжения.

Отклонения частоты при электроснабжении от государственных энергосистем, как правило, не превышают установленных нормативов, выход их за допустимые пределы возможен при использовании резервных электростанций.

Перспективы развития электроустановок просматриваются по пути значительного расширения объема применяемых электротехнических устройств, их усложнения и совершенствования. Внедрение сложной бытовой техники, устройств автоматизации технологиче-

ских процессов на интегральных микросхемах и микропроцессорах резко повышает требования к качеству электроэнергии и, в частности, в импульсных режимах.

Рассмотрим влияние показателей качества электроэнергии на работу отдельных электроприемников.

Отклонения напряжения оказывают существенное влияние на работу электрических двигателей, осветительных приборов, электронагревательных элементов.

При увеличении напряжения изменяются потери в электрических машинах. Общая активная мощность, потребляемая асинхронным короткозамкнутым электродвигателем из сети, определяется по формуле

$$P = k_n P_{\text{ном}} + \Delta P(1 + k_p), \quad (2.8)$$

где k_n – коэффициент нагрузки;

ΔP – потери мощности в электродвигателе при номинальном напряжении;

k_p – коэффициент пропорциональности.

Установлено, что при $\delta U = + 10 \% U_{\text{ном}}$ изменения мощности составляют 3%. Более резко с ростом напряжения увеличивается реактивная мощность. Изменение напряжения на 1 % приводит к росту реактивной мощности на 3 %.

При снижении напряжения увеличивается ток, потребляемый из сети, и двигатель начинает греться. Наблюдается преждевременный выход из строя его изоляции. Приближенная зависимость срока службы асинхронного электродвигателя от изменения напряжения описывается формулой

$$T_{\text{сл}} = T_{\text{сл.ном}} k_n^{-2} |\delta U|^{-2}, \quad (2.9)$$

где $T_{\text{сл.ном}}$ – срок службы электродвигателя при номинальных значениях напряжения и нагрузки.

Уменьшение напряжения приводит к изменению вращающего момента асинхронного электродвигателя. Известна квадратичная зависимость величины напряжения от вращающего момента. При значительных провалах напряжения происходит «опрокидывание» электродвигателя и выход его из строя.

Весьма чувствительны к отклонениям напряжения осветительные установки. Ниже приведены зависимости основных характеристик ламп накаливания (мощности, тока, светового потока, отдачи, срока службы) в функции изменения напряжения ($U^* = U/U_{\text{ном}}$)

$$P = (U^*)^{1,5}; I = (U^*)^{1,8}; \Phi = (U^*)^{3,6}; \alpha = (U^*)^{2,14}; T = (U^*)^{-13,57}, \quad (2.10)$$

Как следует из формул, чрезмерное повышение напряжения катастрофически опасно для ламп накаливания по причине их массового перегорания. Менее чувствительны к отклонениям напряжения люминесцентные лампы. Их срок службы изменяется на 4 % при отклонении напряжения на 1 %.

Работа электронагревательных установок (водонагреватели, калориферы, пастеризаторы, кормозапарники и др.) также зависит от отклонений напряжения. Достаточно сказать, что их активная мощность пропорциональна квадрату приложенного напряжения. При выходе напряжения за пределы допусков резко сокращается срок службы электронагревательных элементов (при увеличении напряжения) или возрастает время на выполнение технологических процессов (при снижении напряжения).

Значительные отклонения напряжения в бытовых сетях приводят к массовому использованию стабилизаторов напряжения, при этом расходуется дефицитная сталь, резко возрастает потребление реактивной мощности.

Для снижения отрицательного влияния отклонений напряжения на работу сельскохозяйственных потребителей требуется правильное проектирование электрических сетей, оснащение трансформаторных подстанций регулирующими устройствами, надлежащая настройка их.

Колебания напряжения представляют собой быстрые изменения, возникающие при ударных отклонениях нагрузки, коротких замыканиях в сети, включении мощных асинхронных электродвигателей. Колебания напряжения приводят к мерцанию осветительных ламп, влияют на четкость восприятия предметов, снижают производительность труда, ухудшают самочувствие работающих. Помимо колебаний напряжения в последнее время большой интерес вызывают *импульсные напряжения*, возникающие на зажимах электроприемников при аварийных ситуациях в сети (короткие замыкания, грозовые воздействия и т. д.). Величина

напряжения в этих случаях может достигать десятков киловольт при длительности 0,1–10 мкс. Чувствительны к таким перенапряжениям аппараты на современной полупроводниковой элементной базе. До 50 % всех выходов из строя бытовой радиоэлектронной аппаратуры обусловлено появлением импульсных напряжений. При использовании ЭВМ и других устройств дискретной техники могут быть сбои информации.

В качестве средств уменьшения колебаний напряжения можно рекомендовать раздельное питание ударной нагрузки, использование продольной емкостной компенсации, применение синхронных машин с быстродействующей системой регулирования напряжения.

Для сетей сельскохозяйственного назначения характерна неравномерность распределения нагрузки по фазам и, как следствие, *несимметрия напряжений*, сопровождающаяся протеканием тока в нулевом проводе. Несимметрия напряжений приводит к дополнительному нагреву обмоток и сокращению срока службы электродвигателей. При величине несимметрии в 4 % и работе с номинальным вращающим моментом срок службы асинхронного двигателя сокращается вдвое. Помимо этого наблюдаются ложные срабатывания или неправильная работа устройств защиты и автоматики.

Несинусоидальность формы кривой напряжения обусловлена наличием среди электроприемников нелинейных элементов: сварочных трансформаторов, выпрямительных устройств, дуговых печей и др. В результате появляются высшие гармонические составляющие, что нежелательно, т. к. возникают дополнительные потери энергии в элементах сетей, перегружаются силовые конденсаторные установки. При наличии гармоник наблюдается заостренная форма кривой напряжения, приводящая к ускоренному старению изоляции электрических машин и трансформаторов. Высшие гармоники вызывают трудности в эксплуатации релейной защиты и автоматики, в работе преобразователей на тиристорах.

В качестве мер борьбы с несинусоидальностью кривой напряжения рекомендуется использование фильтров, а также питание устройств, создающих гармоники, от отдельных трансформаторов.

Подводя итог, можно констатировать, что отрицательное влияние ненормированных значений показателей качества электроэнергии на работу электрооборудования очевидно. Особенно важно поддерживать у электроприемников требуемые значения отклонений напряжения.

Среди первоочередных мер решения поставленной задачи можно рекомендовать:

- установку ПБВ трансформаторов потребительских трансформаторных подстанций в правильное положение,
- обоснованный выбор устройств автоматического регулирования напряжения,
- обеспечение встречного регулирования,
- систематический контроль напряжения в распределительных сетях.