

В.Р. КОЛИК,
начальник отдела учета и
качества электроэнергии
РУП «Белэнергосетьпроект»



М.А. ДРАКО,
мл.п., заведующий
ЭТЛ отдела учета и
качества электроэнергии
РУП «Белэнергосетьпроект»



О.А. МОЙСЕЕНКО,
заместитель заведующего
ЭТЛ отдела учета и
качества электроэнергии
РУП «Белэнергосетьпроект»



ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ. ИЗМЕРЕНИЕ, АНАЛИЗ И ВЫЯВЛЕНИЕ ВИНОВНИКОВ ИХ НЕСООТВЕТСТВИЯ НОРМАМ

В статье рассматриваются проблемы обеспечения показателей и норм качества электрической энергии, установленных ГОСТ 32144-2013, в сетях разного номинального напряжения. В частности, представлены методы измерения этих показателей и выявления виновников их несоответствия нормам в части несинусоидальности напряжения (высших гармоник) с определением их фактических вкладов.

Часть 1

В наше время электроэнергия является товаром, качество которого регламентируется государственным стандартом [1]. Это обусловлено тем, что работоспособность промышленных и бытовых электроприемников зависит от показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Нарушение норм в этой области, как правило, проявляется в виде вредоносных воздействий на сетевое электрооборудование и электроприемники потребителей. Последствия этих воздействий широко освещаются в научной литературе и периодических изданиях.

Специфика электроэнергии как товара состоит в том, что на показатели ее качества в электрической сети в общем случае оказывают влияние все подключенные субъекты электроэнергетики: электрические станции, сети и потребители. При этом в большинстве случаев потребители адресуют претензии, связанные с ненадлежащим качеством электроэнергии (КЭ), энергоснабжающей организации (ЭСО), хотя зачастую сами являются виновниками его ухудшения.

В настоящее время наиболее инициативной стороной, заинтересованной в устранении факторов, негативно влияющих на ПКЭ, являются ЭСО, поскольку, с одной стороны, они несут ответственность за надлежащее КЭ

перед потребителями, а с другой – находятся под контролем соответствующих проверяющих органов. В свою очередь, большинство потребителей, обновляя свой парк электрооборудования, не уделяют должного внимания возможным искажающим воздействиям подключаемых устройств на КЭ и не принимают меры по устранению или минимизации этих воздействий.

Сегодня вопрос обеспечения надлежащего КЭ находится в стадии актуализации. Специалисты уделяют данной теме достаточно много внимания, поскольку приходит общее понимание того, что без решения этой проблемы цивилизованное развитие электроэнергетики невозможно.

Нормативно-техническое обеспечение качества электроэнергии

Как было сказано выше, основополагающим ТНПА в области КЭ является ГОСТ 32144-2013 [1]. В стандарте изменения характеристик напряжения электропитания делятся на две группы – продолжительные изменения и случайные события (таблица 1). Для каждого вида изменений документ определяет соответствующие значения ПКЭ (для продолжительных изменений это нормативные

величины, для случайных событий – справочные данные).

Область применения [1] охватывает точки передачи электроэнергии пользователям электрических сетей. В обоснованных случаях возможно и целесообразно расширение области применения документа за счет распространения его норм на другие точки электросети (например, точки раздела балансовой принадлежности между субъектами электроэнергетики, точки подключения искажающих устройств и т.д.).

В [2] регламентированы основные требования к организации и проведению контроля ПКЭ с целью определения их соответствия нормам, установленным в [1]. Методы измерения ПКЭ определены в [6, 7], требования к средствам измерения ПКЭ – в [3].

Методы анализа ПКЭ, определения источников и виновников их несоответствия нормам [1], а также фактического вклада (ФВ) каждого виновника регламентируются [5] (в России – [6]). Следует отметить, что [5] и [6], практически не имея отличий, содержат ряд положений, которые крайне сложно реализовать на практике. Более подробно это будет проиллюстрировано ниже.

В [7] и [8] приведены рекомендации по выполнению соответствующих технических требований при подключении установок, создающих помехи, к общественным системам электро-

Изменения характеристик напряжения и показатели качества электроэнергии

| Продолжительные изменения характеристик напряжения | |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Изменения характеристик напряжения | Показатели качества электроэнергии |
| Отклонение частоты | Отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения, Гц |
| Медленные изменения | Отклонение напряжения от номинального/согласованного значения, %: – отрицательное – положительное |
| Колебания и фликер | Доза фликера: – кратковременная – длительная |
| Несинусоидальность | Гармонические составляющие напряжения, %: – значения коэффициентов – суммарный коэффициент |
| Несимметрия в трехфазных системах | Коэффициент несимметрии напряжений, %: – по обратной последовательности и – по нулевой последовательности |
| Напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям | Не определены |
| Случайные события | |
| Изменения характеристик напряжения | Справочные данные |
| Прерывания напряжения | Количество прерываний в зависимости от их длительности. Пороговое значение начала прерывания (кВ) и характеристики кратковременных провалов по длительности |
| Провалы напряжения | Количество провалов в зависимости от их остаточного опорного напряжения и длительности |
| Перенапряжения | Возможные предельные значения напряжения, кВ |
| Импульсные напряжения | Значения импульсных перенапряжений, вызываемых молниевыми разрядами и коммутациями, кВ |

снабжения различных номиналов напряжения электросети. Выполнение этих требований позволяет обеспечить соответствие нормам ПКЭ для всех подключенных потребителей. Кроме того, данные ТНПА разграничивают ответственность ЭСО и потребителя в части обеспечения норм ПКЭ.

Причины несоответствий ПКЭ нормам, адресное выявление их виновников и корректирующие мероприятия

Отклонение частоты. В Белорусской энергосистеме данное несоответствие практически не наблюдается, в связи с чем в настоящей статье не рассматривается.

Медленные изменения напряжения. Виновником несоответствия нормам [1] положительного и отрицательного отклонений напряжения, как правило, является ЭСО. Недопустимые отрицательные отклонения имеют место, когда в определенных

режимах (в частности, при возрастании нагрузки) сеть не обеспечивает требуемую пропускную способность. В результате возникают большие потери напряжения в цепи от точки питания до точек передачи потребителям. Когда при снижении нагрузки потери напряжения в сети снижаются, в отдельных точках напряжение превышает верхний предел допустимой нормы. Наиболее эффективными корректирующими мероприятиями в этом случае являются:

- усиление определенных участков сети;
- совершенствование диспетчерского управления в части регулирования уровней напряжения с возможным применением вольторегулирующих устройств;
- работа с проблемными потребителями (в некоторых случаях).

Проблемы с медленными изменениями напряжения наиболее распространены на сельских ЛЭП 0,4 кВ. Как правило, эти ЛЭП построены давно и были рассчитаны на более низкую

нагрузку. С тех пор нагрузки потребителей значительно выросли, и пропускной способности линий недостаточно для обеспечения надлежащих уровней напряжения. В последние годы существенное влияние на рост нагрузки в таких сетях оказывает также государственная политика, направленная на стимулирование использования электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения. В результате у потребителей, более удаленных от начала линии, имеют место стабильно низкие уровни напряжения. В этом случае требуется реконструкция ЛЭП или/и новое сетевое строительство. Могут также применяться вольторегулирующие устройства с независимым регулированием напряжения по фазам, подключаемые в рассечку линии.

Нередко недопустимые уровни фазных напряжений обусловлены неравномерным распределением по фазам нагрузок однофазных потребителей или/и неудовлетворительным состоянием электрических контактов.

Гораздо более редкой причиной стабильно низких уровней напряжения на линиях 0,4 кВ является недостаточная мощность трансформаторов 10/0,4 кВ. Тогда требуется увеличение трансформаторной мощности.

В низковольтных электросетях Белорусской энергосистемы стандартное номинальное напряжение составляет: 220/380 В – у потребителей (см. примечание а к таблице 1 [20]), 230/400 В – у источников и преобразователей электроэнергии (см. п. 3 [21]).

Если рассматриваемая точка является одновременно источником электропитания и точкой раздела балансовой принадлежности между ЭСО и потребителем(-ями) (точкой передачи электроэнергии), то, по нашему мнению, в качестве номинального следует применять напряжение 230/400 В, что позволит обеспечить для потребителей, наиболее удаленных от центров питания, надлежащие уровни напряжения.

Несинусоидальность напряжения. Высшие гармоники напряжения в электросетях обусловлены эмиссией высших гармоник тока, которую вызывают искажающие электроприемники и преобразовательные устройства, имеющие нелинейную вольт-амперную характеристику. Речь идет главным

образом о силовой полупроводниковой электронике. В промышленном секторе это в первую очередь преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями, в электрических сетях ЭСО – управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УШР), а у непромышленных потребителей – практически любые технические устройства достаточной мощности, имеющие на входе блок питания (выпрямитель). Виновниками несинусоидальности напряжения чаще всего являются потребители, реже – ЭСО.

Методология адресного выявления виновников несоответствий в части высших гармоник и расчета их ФВ, как указывалось выше, изложена в [5]. В основе данной методологии лежит принцип, применяемый отдельно для каждой гармоники, если для нее выявлено несоответствие. Алгоритм выявления виновника следующий:

- если в данной точке электрической сети на отходящем присоединении активная мощность данной гармоники направлена от смежной точки к указанной, то источником и потенциальным виновником является смежная точка;
- если источник гармоники один, то он же является виновником, а его ФВ равен коэффициенту несинусоидальности;
- если источников гармоники больше одного, то их ФВ устанавливаются путем распределения коэффициента несинусоидальности между выявленными источниками пропорционально векторам соответствующих токов данной гармоники. Затем ФВ источников сравниваются с допустимыми вкладами (ДВ). Значение ДВ по умолчанию равно норме [1], но может приниматься и меньшая величина, например, согласно Договору на электроснабжение. Превышение ФВ над ДВ говорит, что данный источник является виновником.

Практическое применение описанной методологии объективно сопряжено с рядом проблем. Ниже мы проиллюстрируем это примерами из практической деятельности авторов статьи.

Для борьбы с высшими гармониками применяются:

- дроссели и силовые трансформаторы;
- пассивные и активные фильтры;

- фильтрокомпенсирующие устройства.

Дроссель представляет собой катушку индуктивности. Его индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте:

$$x = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (1)$$

где j – мнимая единица; f – частота, Гц; L – индуктивность катушки, Гн.

Таким образом, дроссели понижают амплитуды высших гармоник тока и напряжения. Эффективность устройств линейно нарастает по мере увеличения номера гармоники. Однако если какая-либо гармоника сильно проявлена (то есть ее амплитуда имеет большое значение), то устранить несоответствие нормам [1] с использованием дросселя не получится. В этом случае потребуется применение еще и фильтра (пассивного или активного).

С учетом вышесказанного, а также высокой цены дросселей сфера их применения ограничивается низковольтными устройствами или группами устройств относительно небольшой мощности. Наиболее характерный пример – применение дросселей для защиты от высших гармоник конденсаторных установок.

Силовые трансформаторы также можно рассматривать в качестве дросселей, но в то же время они могут являться источниками высших гармоник. Для гармоник порядка, кратного трем, могут применяться трансформаторы со схемой соединения одной из обмоток типа «треугольник» – как известно, в треугольнике такие гармоники замыкаются и затухают.

Простейшие *пассивные резонансные фильтры* представляют собой катушку индуктивности и конденсатор, последовательно соединенные и настроенные таким образом, что для определенной высшей гармоники их эквивалентное реактивное сопротивление будет близко к нулю:

$$x = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L - 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \rightarrow 0, \quad (2)$$

где C – емкость конденсатора, См.

Более сложные пассивные фильтры могут представлять собой схемы, включающие несколько резисторов, индуктивностей, конденсаторов. Такие фильтры эффективны на определенной полосе частот.

Активные фильтры устраняют все высшие гармоники, присутствующие в точке подключения фильтра. По принципу действия активные фильтры подразделяются на магнитные генераторы и кондиционеры гармоник. В рамках данной статьи мы не будем останавливаться на принципах работы этих устройств, так как подробная информация об этом есть в научных статьях и доступна в интернете. Отметим только, что за счет более низкой стоимости кондиционеры гармоник нашли более широкое применение.

Иногда амплитуда одной или нескольких гармоник, по которым выявлено несоответствие, значительно больше, чем у остальных. В этом случае может применяться комбинированная схема: наиболее выраженные гармоники фильтруются пассивными фильтрами, а остальные – активными. За счет уменьшения номинального тока гармоник активного фильтра может достигаться удешевление технического решения в целом.

Фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ) объединяет в себе функции фильтра(ов) высших гармоник и устройства компенсации реактивной мощности основной частоты.

Несимметрия напряжений в трехфазных системах. В сетях низкого номинального напряжения данное явление чаще всего возникает при:

- несимметрии трехфазных нагрузок у трехфазных потребителей;
- неверном распределении однофазных потребителей по фазам;
- неполнофазном режиме работы при однофазных замыканиях на землю;
- ненадлежащем состоянии сетей, в первую очередь – контактов.

В сетях 10 (6) кВ и выше причинами несимметрии также могут быть разные параметры фаз (например, разные их емкости вследствие нетранспонированности линий).

При несоответствии ГОСТ коэффициентов обратной или/и нулевой последовательности вследствие асимметрии в первую очередь следует подвергнуть ревизии ближайшие участки сети и устранить выявленные недостатки, а для ЛЭП 0,4 кВ – при необходимости произвести перераспределение однофазных потребителей по фазам. Если после этого несоответствия сохранятся, необходимо выявить их виновников с определением

ФВ. При этом используется та же методика, что и для высших гармоник [5].

Для устранения несимметрии применяются специальные симметрирующие устройства. Так, в сетях 0,4 кВ для симметрирования напряжений эффективны трансформаторы 6–20/0,4 кВ со схемами соединений обмоток Y/Z_n , а также Z/Z_n с симметрирующим устройством. В то же время применение в условиях несимметрии трансформаторов со схемой соединения Y/Y_n без симметрирующего устройства влечет за собой опасный рост напряжений на менее нагруженных фазах и генерацию в сеть высших гармоник.

Колебания напряжения и фликер. Согласно [1] показателями, характеризующими колебания напряжения, являются кратковременная и длительная дозы фликера. ГОСТ определяет фликер как «ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени». По мнению авторов, это не вполне удачное определение. Во-первых, зрительное восприятие субъективно и отличается у разных людей. Во-вторых, норма дозы фликера устанавливается для разных номинальных напряжений, а световые устройства не подключаются на напряжение выше 220 (230) В.

По нашему мнению, определение фликера должно опираться на физику процесса, а именно на значительные изменения напряжения между промежутками его условной стабильности, как это изложено в [11].

Причиной возникновения фликера, как правило, является резкопеременная нагрузка потребителей при недостаточной «прочности» сети, то есть ее устойчивости к внешним воздействиям и помехам. Прочность сети характеризуется мощностью КЗ, а степень искажающего воздействия в данной конкретной точке сети – отношением тока КЗ к номинальному току (расчетные формулы приведены, например, в п. 3.10 [10]).

Адресное выявление источников и виновников несоответствий кратковременной или (и) длительной доз фликера нормам [1] в общем случае производят так же, как и при быстрых изменениях напряжения. При этом рекомендуется опираться на п. 4.6.3 [5]. В то же время представляют интерес более сложные, но эффективные ме-

тоды, предложенные в [10], – в силу широкого распространения фликера в электросетях всех номинальных напряжений. Эти методы аналогичны методам выявления источников высших гармоник и несимметрии в соответствии с [5] – виновники и их ФВ определяются по интергармоникам токов или производным токов. По нашему мнению, предложенные в [10] методы до широкого внедрения требуют практического опробования.

Провалы напряжения и перенапряжения. Причинами провалов и перенапряжений могут быть, с одной стороны, однофазные замыкания на землю и КЗ, отключения ЛЭП и регулирующих устройств в электрических сетях ЭСО, с другой – резкие изменения нагрузки в сетях потребителей при недостаточной прочности сети.

Единый формализованный алгоритм поиска виновников в данном случае отсутствует. По нашему мнению, следует эмпирическим путем устанавливать корреляцию между быстрыми изменениями напряжения и событиями в электросетях ЭСО (включая резкое изменение нагрузок потребителей).

Для борьбы с несоответствиями в части быстрых изменений напряжения требуется усиление схемы сети и повышение надежности ее функционирования, развитие активно-адаптивных сетей (в первую очередь за счет совершенствования РЗА). Для устранения провалов напряжения могут также применяться мощные накопители энергии.

Если виновниками провалов и перенапряжений являются потребители, следует проводить с ними работу по ограничению электромагнитных воздействий их оборудования на возникновение данных несоответствий (с возможным применением норм [9, 11]).

Тема провалов напряжения очень подробно рассмотрена в [13]. По нашему мнению, особенно важно ознакомиться с приведенными во второй части данного источника обзором технических средств для минимизации ущербов от провалов напряжения и критериями экономической эффективности их применения.

Импульсные перенапряжения. Причинами импульсных перенапряжений являются удары молнии и коммутации в электрических сетях; в специализированной литературе к ним также относят электростатические разряды

и последствия ядерного взрыва. От импульсных перенапряжений оборудование предохраняют специальные защитные или ограничивающие устройства. Принципы защиты от этого явления зданий и сооружений изложены в международных стандартах, в первую очередь в [16], в части низковольтных систем – в [17] и [18].

Прерывания напряжения. Причинами прерываний напряжения у потребителей, как правило, являются КЗ и другие аварийные события в сетях внешнего электроснабжения. Для снижения вероятности этого несоответствия необходимо развивать электрические сети с применением интеллектуальных устройств и систем РЗА. В целях минимизации ущерба от последствий прерываний напряжения потребителями могут применяться устройства бесперебойного питания и накопители энергии.

Список литературы

1. *Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013.* – Введ. 01.04.2016. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 20 с.
2. *Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 33073-2014.* – Введ. 01.04.2016. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 52 с.
3. *Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств: ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009).* – Введ. 01.02.2016. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 42 с.
4. *Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии: ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008).* – Введ. 01.02.2016. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. – 62 с.
5. *Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии: ТКП 183.2-2009 (03130).* – Введ. 01.08.2009. – Минск: ОАО «АГАТ-системы управления». – 32 с.
6. *Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии: РД 153-*

- 34.0-15.502-2002. – Введ. 01.08.2002. – М.: ЗАО «Энергосервис». – 64 с.
7. **Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-6. Нормы. Оценка норм электромагнитной эмиссии для подключения установок, создающих помехи, к системам энергоснабжения среднего, высокого и сверхвысокого напряжения: ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020.** – Введ. 01.09.2021. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2021. – 56 с.
 8. **Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-7. Нормы. Оценка норм электромагнитной эмиссии для подключения установок, создающих колебания напряжения, к системам электроснабжения среднего, высокого и сверхвысокого напряжения: ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020.** – Введ. 01.09.2021. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2021. – 60 с.
 9. **Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-12. Нормы. Нормы для гармонических составляющих тока, создаваемых оборудованием, подключаемым к низковольтным системам электроснабжения общего назначения, с потребляемым током более 16 А и не более 75 А в одной фазе: IEC 61000-3-12:2011.** – Введ. 12.05.2011. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 30 с.
 10. **Бирюлин, В.И. Выявление источника фликера в системах электроснабжения / В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина, О.М. Ларин // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики.** – 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 3–12.
 11. **Электромагнитная совместимость. Часть 3-11. Нормы. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током не более 75 А при соблюдении особых условий подключения: ГОСТ IEC 61000-3-11-2022.** – Введ. 01.07.2022. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2022. – 24 с.
 12. **Подстанции электрические напряжением 35 кВ и выше. Нормы технологического проектирования: СТП 33243.01.216-16.** – Введ. 15.02.2016. – Минск: Экономэнерго, – 220 с.
 13. **Совместимость технических средств электромагнитная. Часть 4. Методики испытаний и измерений. Раздел 15. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования: ГОСТ IEC 61000-4-15-2014.** – Введ. 01.07.2017. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 40 с.
 14. **Либкинд, М.С. Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами / М.С. Либкинд.** – М.: Издательство Академии наук СССР, 1962. – 104 с.
 15. **Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. В 2 т, Том 1. Электрические цепи: учебник для вузов / Л.А. Бессонов.** – 12-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 831 с.
 16. **Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни: СТБ П IEC 62305-3-2006/2010.** – Введ. 01.01.2011. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 128 с.
 17. **Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсовмещенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний: ГОСТ IEC 61643-11-2013.** – Введ. 01.05.2017. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 84 с.
 18. **Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения: ГОСТ IEC 61643-12-2022.** – Введ. 01.06.2023. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2023. – 170 с.
 19. **Управляемые шунтирующие реакторы для электрических сетей напряжением 110–500 кВ. Типовые технические требования: СТО 56947007-29.180.03.198-2015.** – Введ. 23.01.2015. – ОАО «ФСК ЕЭС», 2015.
 20. **Напряжения стандартные: ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009).** – Введ. 01.06.2017. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 20 с.
 21. **Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В: ГОСТ 21128-83.** – Введ. 01.07.1984. – Минск: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1984. – 8 с.
 22. **Провалы напряжения в системах электроснабжения. Части 1, 2 / Д.М. Лосенков // Энергетическая стратегия.** – 2023. – №№ 2(92), 3(93). – С. 24–26, 30–32.

К сведению

Источники выбросов в Европе и мире, %



Источник: ACEA, Reuters, European Environment Agency, Rhodium Group