**Методы определения ущерба при использовании энергии пониженного качества**

Для осуществления мероприятий по повышению качества энергии промышлен­ные предприятия вынуждены затрачивать значительные материальные и денежные средства. В связи с этим существенным является технико-экономическое обоснова­ние выделения таких средств и, в первую очередь, определение величины народно­хозяйственного ущерба в отдельных отраслях промышленности при понижении каче­ства энергии.

В общем случае возможны три способа определения ущерба: при помощи эко­номических характеристик энергоприемников или узлов нагрузки; непосредственным учетом ущерба на производстве; проведением натуральных экспериментов.

Каждый из описанных способов имеет свои преимущества и недостатки, кото­рые обусловлены спецификой исследуемого предприятия, схемой энергоснабжения предприятия, наличием времени и средств при проведении исследовательских работ, а также видом составляющей ущерба.

Основой для составления методики по определению ущерба служит установле­ние результатов влияния понижения качества энергии на работу энергоприемников

Как было указано выше, понижение качества энергии может приводить к ущербу у потребителей. Так, понижение качества электрической энергии в общем случае вызывает: изменение потребления активной мощности и энергии; изменение реактивной мощности электроустановок; изменение количества и качества выпускае­мой продукции; порчу сырья и материалов; расстройство технологического процесса;

простой рабочей силы; повышение аварийности и повреждаемости оборудования; со­кращение срока службы оборудования и т д

Таким образом, ущерб при работе предприятия с пониженным качеством элек­троэнергии будет определяться по выражению:

Для промышленных предприятий, где частота ограничивается ГОСТ Р 54149-2010, можно полагать , что и , тогда

где *—*ожидаемый ущерб от отклонений напряжения; —то же от колебаний напряжения; - то же от несимметрии напряжения; *—*то же от несинусоидальности формы кривой напряжения.

В настоящее время для определения ущерба имеется методика, разработанная Б. А. Константиновым и Г. 3. Зайцевым. Эта методика применяется для определе­ния ущерба от отклонений напряжения.

Ущерб от понижения качества энергии в промышленных энергоустановках можно выражать суммой двух составляющих: прямого ущерба и дополнительного ущерба.

К прямому ущербу относятся: брак продукции, порча сырья и материалов, рас­стройство технологического процесса, последствия аварий, выхода из строя или сокращения срока службы основного оборудования (в том числе и энергооборудова­ния), инструментов и приспособлений, простой рабочей силы, увеличение потребле­ния активной мощности и энергии и повышение реактивной мощности электроуста­новок и т. п. Дополнительный ущерб связан с изменением выпускаемой продукции рассматриваемым объектом при работе его энергоустановок с показателями качест­ва электроэнергии, отличающимися от нормативных значений. Этот вид ущерба мо­жет проявляться либо как ущерб от проведения специальных мероприятий, необхо­димых для выполнения плановых заданий (сверхурочные работы, интенсификация производственных процессов), либо как ущерб из-за исключения определенной доли затрат из процесса расширенного воспроизводства.

Рассмотрим методику определения ущерба от работы электроприемников при пониженном качестве электроэнергии.

При отклонениях любых показателей качества электроэнергии от нормативных значений могут быть рассмотрены три случая.

1. Отклонения показателей качества электроэнергии вызывают изменения ско­рости протекания технологических процессов. Ущерб в этом случае составит:

где Уд.с — дополнительные затраты, связанные с производством сверхурочных работ для покрытия недовыпуска продукции, вызванного отклонениями показателей каче­ства электроэнергии от нормативных значений, руб.; Уп — дополнительные затраты, учитывающие ущерб от брака продукции, порчи сырья и материалов, расстройства технологического процесса, аварий и выхода из строя основного оборудования, про­стоя рабочей силы, увеличения потребления активной мощности и энергии, повы­шения потребляемой реактивной мощности.

2. Отклонения показателей качества электроэнергии вызывают изменение ско­рости протекания технологических процессов, но сверхурочные работы для воспол­нения недовыпуска продукции не проводятся. При этом предполагается, что недо­выработка продукции одним предприятием не отражается на сопряженных пред­приятиях в связи с наличием определенного запаса (задела) продукции.

В этом случае ущерб

,

где Уд.з — дополнительный ущерб от увеличения приведенных затрат на единицу продукции (недоиспользование приведенных затрат в процессе расширенного вос­производства) .

3. Отклонения показателей качества электроэнергии не оказывают влияния на выпуск продукции. В этом случае ущерб выразится:

Определение прямого ущерба Уп должно производиться для каждой электро­установки (каждого технологического процесса) на основании изучения качества потребляемой электроэнергии. Многообразие электроустановок и технологических процессов, в которых они используются, не позволяет дать конкретных рекоменда­ций по определению каждой составляющей Уп. Некоторые общие положения по этому вопросу изложены в [10, 23] для случая работы электроустановок при напря­жении, отличном от номинального.

Рекомендации по оценке влияния качества напряжения на срок изоляции син­хронных двигателей приведены в [12].

Изменение показателей качества электроэнергии может приводить к изменению потребления активной энергии, расходуемой на производство той же продукции. При этом может иметь место увеличение удельных расходов электроэнергии по сравнению с удельными расходами электроэнергии, показатели качества которой со­ответствуют требованиям действующих нормативов. Так как при этом не происходит ни увеличения количества, ни улучшения качества выпускаемой продукции, то дополнительно потребляемые мощность и энергия в этом случае могут рассматри­ваться как потерянные.

При показателях качества электроэнергии, выходящих за допустимые пределы, может меняться и реактивная мощность электроустановок. Однако с точки зрения ущерба эти изменения необходимо учитывать только в тех режимах, в которых сум­марная величина потребляемой реактивной мощности превосходит величину распо­лагаемой реактивной мощности. При этом ущерб должен определяться не по средне­взвешенному превышению, а по максимальному. Ущерб в данном случае связан с необходимостью установки дополнительных компенсирующих мощностей в энерго­системе или непосредственно у потребителя (или и в энергосистеме, и у потребите­ля) и определяется дополнительными затратами, необходимыми для приобретения, монтажа и эксплуатации этих устройств.

В случае если нарушения нормативных значений показателей качества электро­энергии приводят и к простою рабочей силы, ущерб может быть определен по формуле

,

где Сз.п — годовой тарифный фонд зарплаты простаивающих производственных ра­бочих, руб.; δ —коэффициент, учитывающий использование производственных рабо­чих во время простоя на других работах, не связанных с производством и выпуском продукции (δ=0,5—1); Т и hП—годовые числа часов работы и простоя.

Необходимо отметить, что простой рабочей силы может быть связан в данном случае только с расстройством и прекращением технологического процесса, что прак­тически возможно только при резком отличии показателей качества электроэнергии от нормативных значений.

Дополнительные ущербы, связанные с покрытием недовыпуска продукции пу­тем проведения сверхурочных работ (У'д) или интенсификации (форсирования) про­изводственных процессов (У''д), выразятся соответственно:

,

,

где β—коэффициент, учитывающий увеличение оплаты за работу в сверхурочное время; c''з.п. — годовой тарифный фонд зарплаты производственных рабочих, работа­ющих сверхурочно, руб.; с з.о—годовой фонд зарплаты персонала, связанного с об­служиванием оборудования, используемого при сверхурочных работах, руб.; hс— годовая продолжительность сверхурочных работ, ч; И'о *—* доля переменной части издержек производства, отнесенная к единице продукции, меняющаяся при форсировке режима, руб.; ε—коэффициент, учитывающий увеличение затрат на единицу продукции при форсировке производственного (технологического) режима; nо — ча­совой выпуск продукции при нормальном режиме, шт.; γ*—*кратность форсирован­ного режима, равная отношению часовых выпусков продукции при форсированном и номинальном режимах; hф — продолжительность форсированного режима.

В случае если недовыпуск продукции, вызванный работой электроустановок с пониженными показателями качества электроэнергии, не покрывается, то:

где nк — часовой выпуск продукции при показателях качества электроэнергии, не соответствующих действующим нормативам, шт.

Выявить практически дополнительный ущерб от понижения качества электро­энергии очень сложно. Наиболее явно он проявляется в тех случаях, когда пониже­ние качества приводит к прекращению технологических процессов в связи с принци­пиальной невозможностью их протекания или с резким возрастанием брака про­дукции.

Ниже рассматриваются примеры определения ущерба от работы электроуста­новок ряда предприятий при повышенном и пониженном напряжении [17]

При исследовании работы энергетического и технологического оборудования на ряде предприятий текстильной промышленности были определены среднее отклоне­ние V, неодинаковость напряжения N, дисперсия кривой распределения отклонений напряжений а2 и стандартное отклонение σ*,* затем была дана вероятностная оценка того, что отклонения от номинального напряжения будут находиться в пределах ±5% Результаты расчетов приведены в табл 1.

Таблица1

**Результаты расчетов *V* ,а2, σ, *N* и вероятностная оценка отклонения напряжения**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предприятие | Среднее отклонение  V,% | Дисперсия  *σ2* | Стандартное отключение σ,  % | Неодинаковость  N | Вероятность того, что отклонения напряжения ±5% | |
|  |  |  |  |  | в пределах  ±5% | за пределами  ±5% |
| Фабрика № 1 | 6,35 | 6,1 | 2,47 | 46,6 | 0,2946 | 0,7054 |
| Фабрика № 2 | 7,08 | 2,3 | 1,52 | 52,5 | 0,0853 | 0,9147 |
| Фабрика № 3 | 4,83 | 1,28 | 1,13 | 24,68 | 0,5596 | 0,4404 |
| Фабрика № 4 | 3,3 | 2,79 | 1,67 | 13,68 | 0,846 | 0,154 |

Для обследованных предприятий были определены следующие составляющие ущерба, брак продукции, ухудшение качества продукции, сокращение срока службы электродвигателей и осветительных приемников, применение сверхурочных работ, увеличение расходов сырья, материалов и электроэнергии, необходимых для воспол­нения недовыпуска продукции в связи с отклонениями напряжения.

Так, на фабрике № 4 из-за повышения напряжения увеличилась обрывность нитей на сновальных и тростильных машинах. В этом случае ущерб, нанесенный предприятию из за брака продукции, определялся из выражения:



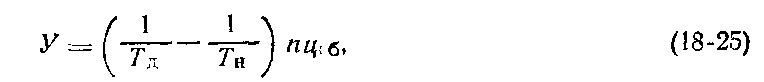
W с — себестоимость 1 кг пряжи, руб /кг; m*—* количество обрывной пряжи в еди­ницу времени, кг/ч; n *—* время работы оборудования в году, ч.

Ущерб от ухудшения качества продукции определялся из выражения



где Пд—производительность предприятия, соответствующая действительному на­пряжению Uц; Цн—цена единицы продукции высшего сорта (при Uд==Uн), руб.; Цд—цена единицы продукции сниженного качества (при U=Uд), руб.

Ущерб из-за изменения срока службы оборудования определялся по выра­жению:



где Tд и Тн—срок службы оборудования при действительном и при номинальном напряжении **(в** годах); п*—*количество вышедшего из строя оборудования, шт.; Цоб —цена единицы оборудования, руб.

Повышение напряжения приводит к преждевременному выходу из строя ламп накаливания, люминесцентных ламп, а также стартеров. Данные о количестве пере­горевших от повышенного напряжения ламп и стартеров и величина ущерба при­ведены в табл. 2.

***Таблица 2* Количество перегоревших ламп и стартеров и величина ущерба**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип лампы | Количество ламп, перегоревших от повышенного напряжения, по предприятиям | | | Всего  ламп, шт. | Стоимость единицы, Руб. | Ущерб, руб. /год |
|  | Фабрика  № 1 | Фабрика  №2 | Фабрика  № 4 |  |  |  |
| Лампы накаливания  Люминесцентные лампы ти­па:  БС и ДС-15  БС и ДС-30  БС и ДС-40  Стартер СК-200 | 5000  —  —  —  —  — | 7500  100  3800  3800  1570 | 5000  —  2000 1500  900 | 17500  100  5800 5300 2470 | 0,3  0.8  0,9  1,67  0,31 | 5250  80  5220 8851 765,7 |
| Всего ущерб, руб./год | — | — | — | — | — | 20 166,7 |

Кроме того, установлено, что при чрезмерном повышении напряжения несколь­ко повышается производительность машин, но в то же время увеличивается обрыв­ность нитей на сновальных и тростильных машинах и ухудшается качество тканей.

Для текстильных предприятий большое значение имеет освещенность рабочих мест, так как ее изменение даже на небольшую величину может привести к измене­нию производительности труда; ожидаемый прирост продолжительности труда

 (18-26)

где Rmin и Rх соответственно значения светимости рабочей поверхности при нор­мальной освещенности и при измененной.

Зная процент уменьшения производительности труда, можно определить недо­выработку продукции из-за уменьшения освещенности, т. е. величину ущерба.

Ущерб от недовыпуска продукции в связи с отклонениями напряжения

 (18-27)

где Пн и П*—*производительность механизма при работе двигателя при номиналь­ном напряжении и при отклонении от него, м/ч; Сn — себестоимость единицы продук­ции, выпускаемой данным механизмом, руб./м; n *—* время работы механизма в году, ч.

Ущерб, нанесенный предприятиям из-за повышения напряжения, приведен в табл. 3.

Анализ технологического процесса и работы электроприемников электролизного цеха содового завода показал, что при отклонениях подводимого к электролизерам напряжения работа электролизеров изменяется. Ухудшаются технические и экономи­ческие показатели, а при достаточно больших отклонениях напряжения возможна порча и простой оборудования.

На заводе была обнаружена несинусоидальность формы кривой напряжения. Наличие несинусоидальности привело к резонансу токов на частоте 7-й гармоники, что вызвало перегрузку батарей статических конденсаторов и создало опасность выхода их из строя.

В этом случае ущерб от пониженного качества электроэнергии определялся как сумма составляющих: сокращения срока службы анодов; снижения производитель­ности электролизных ванн; выхода из строя конденсаторных батарей.

Ущерб от снижения срока службы анодов определяется по формуле:

**У=ц(Мф-Мп).** (18-28)

где ц*—*цена 1 анода, руб. (по данным завода, ц=14 руб.); Мн и Мф—годовая по­требность предприятия в анодах при номинальном напряжении и при отклонениях от него, шт./год.

Ущерб от снижения производительности электролизеров определялся по выра­жению:

У=(Пн—Пф)Тsn, (18-29)

где Пн и Пф —производительность электролизной ванны при номинальном напря­жении и при отклонениях напряжения, т/сут.; Т *—* продолжительность работы элек­тролизеров в году, сут.; п*—*количество ванн в цехе, шт.; s—заводская себестои­мость 1 т соды, руб.

*Таблица 18-S* **Величина ущерба по предприятиям**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Составляющая ущерба | Ущерб по предприятиям, руб /год | | | |
|  | Фабрика  № 1 | Фабрика  № 2 | Фабрика  № 3 | Фабрика  № 4 |
| Брак продукции |  |  | 22678,8 | . |
| Ухудшение качества продукции | — | — | 14470 | — |
| Сокращение срока службы оборудования | 1500 | 12582,7 | 6137 | 188 |
| Применение сверхурочных работ для воспол­нения недовыпуска продукции | — | — | — | 10840 |
| Суммарный ущерб по предприятиям | 1500 | 12582,7 | 43275,8 | 11028 |
| Удельный ущерб, коп./проц., кВт-ч | 0,1 | 0,11 | 0,44 | 0,14 |
| Удельный ущерб, руб./проц., ч. | 0,86 | 1,08 | 3,52 | 1,04 |

Стоимость вышедших из строя конденсаторных батарей

**У=3у кΔΞкT,** (18-30)

где Зу.к — удельные расчетные затраты; они находятся по формуле:



Здесь Зу.э—стоимость электроэнергии для данного предприятия, руб (кВт-ч);

Ру.к.==0,003 кВт/квар — удельный расход активной мощности на компенсацию для конденсаторв 6 кВ; Ку.к=5 руб/квар—удельные капитальные вложения на компен­сацию для установок напряжения 6 кВ; рн*—*нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; рам — коэффициент амортизационных отчислений; Т — годовое число часов работы компенсирующего устройства; ΔQк — дополнительная компенсирующая мощность, квар.

Расчетные значения ожидаемого ущерба по содовому заводу приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения ожидаемого ущерба по заводу**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование составляющей ущерба | Ущерб, руб./год |
| Сокращение срока службы материалов Снижение производительности  Выход из строя конденсаторных батарей | 3044,5  319603  5200 |
| Всего: | 327847,5 |