

УДК 621.311

**Обеспечение надежности электроснабжения центров обработки данных**

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

В настоящее время нельзя представить себе жизнь и деятельность современного человека без применения электричества. Основное достоинство электрической энергии - относительная простота производства, передачи, распределения, преобразования. Как следствие, электроэнергия находит применение абсолютно во всех областях человеческой деятельности – в быту, промышленности, сельском хозяйстве, медицине, транспорте и многих других областях.

Следует учитывать, что одни и те же технологические процессы и электроприемники в разных областях человеческой деятельности не являются равнозначными (например, бытовой вентилятор и вентилятор главного проветривания шахты), что значительно сказывается на требованиях, предъявляемых к системам электроснабжения. Это, в свою очередь, привело к разделению электроприемников в отношении обеспечения надежности их электроснабжения на три категории согласно [1].

Электроприемники I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

Электроприемники II категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники III категории - все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий.

К электроприемникам особой группы первой категории относятся:

- устройства противопожарной сигнализации;
- противопожарные насосы;
- устройства противоаварийной автоматики крупных электростанций и подстанций;
- некоторые электроприемники лечебно-профилактических организаций (аппараты искусственной вентиляции легких, аппараты для гемодиализа (искусственной почки), наркозно-дыхательные аппараты, гемодинамические мониторы, стационарные операционные светильники, дефибрилляторы, устанавливаемые в операционных и родовых блоках, в отделениях интенсивной терапии и реанимации; инкубаторы для выхаживания недоношенных детей; аппараты искусственного кровообращения и др.);
- устройства вентиляции взрыво- и пожароопасных помещений;
- центральные диспетчерские пункты городских электросетей и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и др.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания [1].

Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников I категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

При построении принципиальных схем питания электрооборудования с электроприемниками особой группы I категории надежности электроснабжения, не имеющими встроенных аккумуляторных батарей и не допускающими перерыв электроснабжения на время меньшее, чем требуется для осуществления автоматического запуска дизель-генераторных установок (ДГУ), следует предусматривать статические агрегаты (источники) бесперебойного питания. Перечень такого электрооборудования следует принимать по согласованию с заказчиком либо по заданию разработчиков технологической части проектов.

Принципиальная схема электроснабжения ответственных объектов должна предусматривать автоматическое переключение электроприемников особой группы I категории по надежности электроснабжения с аккумуляторной батареи агрегата бесперебойного питания на питание от ДГУ после ее запуска.

Ввиду создания отдельной международной классификации особый интерес, с точки зрения правил построения схем электроснабжения, представляют центры обработки данных (ЦОД) или data-центры, в которых используются приемники электрической энергии, относящиеся к первой категории и к особой группе первой категории по надежности электроснабжения.

В 1993 году организация Uptime Institute с помощью ассоциации компаний, ответственных за обслуживание наиболее важных ЦОД в США, создала базу по обмену опытом. На ее основе начали вырабатываться способы оценки эффективности центров обработки данных. Были проанализированы аспекты, которые влияют на принятие бизнес-решений: около 30 факторов работоспособности data-центров, относящихся к расположению, воздействию на окружающую среду и качеству обслуживания, и 16 подсистем технического характера. На этом и было сосредоточено внимание Uptime Institute при разработке классификации, которая была оформлена в 1990-х в качестве стандартизированной методологии.

Известны четыре уровня стандарта Uptime Institute [2]:

- Tier I — базовая инфраструктура без резервирования;
- Tier II — инфраструктура с резервными мощностями;
- Tier III — инфраструктура, поддерживающая параллельный ремонт;
- Tier IV — отказоустойчивая инфраструктура.

Каждый следующий уровень сертификации включает в себя требования для всех предыдущих уровней.

#### Tier I. Базовый уровень.

ЦОД базового уровня подвержен нарушениям работы, как от плановых, так и от внеплановых действий. Применение фальшпола, источников бесперебойного питания (ИБП), ДГУ не обязательно. Если же ИБП и ДГУ используются, то выбираются более простые модели, без резерва, с множеством точек отказа.

На этом уровне возможны самопроизвольные отказы оборудования. Ошибки в действиях обслуживающего персонала также могут привести к простоя ЦОД.

В ЦОД Tier I отсутствует защита от случайных и намеренных событий, обусловленных действиями человека. Несущая способность перекрытий не менее  $735\text{кг/м}^2$  при нагрузке сверху плюс  $125\text{кг/м}^2$  нагрузки снизу.

#### Tier II. С резервированными компонентами.

В ЦОД Tier II время простоя возможно в связи с плановыми и внеплановыми работами, а также аварийными ситуациями, но оно сокращено благодаря введению одной резервной единицы оборудования в каждой системе. Таким образом, системы кондиционирования, ИБП и ДГУ имеют одну резервную единицу. Тем не менее, профилактические работы требуют отключения ЦОД.

Tier II требует наличия минимальных защитных мер от влияния человека. Стены и потолки снабжаются пароизоляцией, в двери устанавливается глазок с углом обзора  $180^\circ$ , все стены строятся на всю высоту помещения. Несущая способность перекрытий не менее  $857\text{кг}/\text{м}^2$  при нагрузке сверху плюс  $125\text{кг}/\text{м}^2$  нагрузки снизу.

Tier III. С возможностью параллельного проведения ремонтных работ.

Третий уровень надежности требует осуществления любой плановой деятельности без остановки ЦОД. Под плановыми работами подразумевается профилактическое и программируемое техническое обслуживание, ремонт и замена компонентов, добавление или удаление компонентов, их тестирование. Очевидно, что в этом случае необходимо иметь резервирование, позволяющее всю нагрузку пустить по другому пути во время работ на первом.

Итак, для реализации Tier III необходима схема резервирования блоков систем кондиционирования, ИБП, ДГУ  $N+1$  (где  $N$  – минимальное требуемое число элементов). Также требуется наличие двух комплектов трубопроводов для системы кондиционирования, построенной на основе чиллера.

Строительные требования обязывают сохранять работоспособность ЦОД при большинстве случаев намеренных и случайных вмешательств человека. Следует предусмотреть резервные входы, дублирующие подъездные пути, контроль доступа, отсутствие окон, защиту от электромагнитного излучения, несущую способность перекрытий не менее  $1225\text{кг}/\text{м}^2$  при нагрузке сверху плюс  $245\text{кг}/\text{м}^2$  нагрузки снизу.

Tier IV. Отказоустойчивый.

Отказоустойчивый ЦОД характеризуется безостановочной работой при проведении плановых мероприятий и способен выдержать один серьезный отказ без последствий для критически важной нагрузки. Необходим дублированный подвод питания, резервирования системы кондиционирования и ИБП по схеме  $2(N+1)$ . Для ДГУ необходима отдельная площадка с зоной хранения топлива.

Tier IV требует защиту от всех потенциальных проблем в связи с человеческим фактором. Регламентированы даже избыточные средства защиты от намеренных или случайных действий человека. Также учтено влияние непреодолимой силы - сейсмоявления, потопы, пожары, ураганы, штормы, терроризм. Несущая способность перекрытий не менее  $857\text{кг}/\text{м}^2$  при нагрузке сверху плюс  $125\text{кг}/\text{м}^2$  нагрузки снизу.

Принято считать, что ожидаемый уровень безотказной работы дата-центра Tier I составляет 99,671% (1729 минут годового простоя); Tier 2 — 99,741% (1361 минут годового простоя); Tier III — 99,982% (95 минут годового простоя); Tier IV — 99,995% (26 минут годового простоя). Ниже приведена обобщенная таблица характеристик Tier.

Таблица 1 – Обобщенные характеристики Tier

Класс	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Отказоустойчивость				
Время простоя за год, ч	28,8	22	1,6	0,4
Уровень безотказной работы, %	99,671	99,749	99,982	99,995
Уровень загрузки оборудования, %	100	100	90	90
Обслуживание без отключения	Нет	Нет	Да	Да
Планируемые остановки ЦОД	2x12ч в год	3x12ч за 2 года	Нет	Нет
Аварийность	6 аварий за 5 лет	1 авария в год	1 авария за 2,5 года	1 авария за 5 лет

Продолжение таблицы

Строительные требования				
Тип здания	С соседями	С соседями	Отдельно стоящее	Отдельно стоящее
Огнестойкость стен	Нет	Нет	1 час	2 часа
Несущая способность перекрытия	735кг/м <sup>2</sup> сверху 125кг/м <sup>2</sup> снизу			
Высота фальшпола	Нет или до 305 мм (12")	457 мм (18")	762-914 мм (30-36")	762-1067 мм (30-42")
Резервирование				
ИБП	<i>N</i>	<i>N</i> +1	<i>N</i> +1	2( <i>N</i> +1)
ДГУ	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i> +1	2( <i>N</i> +1)
Кондиционирование	<i>N</i>	<i>N</i> +1	<i>N</i> +1	2( <i>N</i> +1)
Трубопроводы теплоносителя и конденсата	<i>N</i>	<i>N</i>	2 <i>N</i>	2 <i>N</i>
Точки подключения				
Количество энергопроводов	1	1	1 раб, 1рез	2 рабочих
Точки слива дренажа	1	1	2	2
Точки водозабора для увлажнения	1	2	2	2
Наличие особых систем				
Мониторинг	Нет	Нет	Да (выборочно)	Да (всех систем)
Увлажнение	Да	Да	Да	Да
Пожарные извещатели	Нет	Да	Да	Да
Течеискатели	Нет	Да	Да	Да
Контроль доступа	Нет	Нет	Да	Да
Общие характеристики				
Срок ввода в эксплуатацию	3 мес.	3-6 мес.	15-20 мес.	15-30 мес.
Ориентировочная стоимость	5000 \$/м <sup>2</sup> 10 000 \$/кВт	6500 \$/м <sup>2</sup> 11 000 \$/кВт	9700 \$/м <sup>2</sup> 20 000 \$/кВт	12 000 \$/м <sup>2</sup> 22 000 \$/кВт

Правила построения схем электроснабжения центров обработки данных классов Tier III и Tier IV представляют интерес ввиду резервирования элементов системы по схемам (*N*+1) и 2(*N*+1) для ЦОД классов Tier III и Tier IV соответственно. Также обязательным является наличие двух вводов для щитов, которые питают ИТ-стойки, устройства автоматики (противоаварийной, противопожарной, АСУ, охранной), устройства вентиляции и кондиционирования помещений аккумуляторных батарей и ИТ-нагрузки, щитов собственных нужд ДГУ.

К системе электроснабжения центров обработки данных предъявляются такие жесткие требования ввиду того, что ущерб от незапланированного простоя инфраструктуры ЦОД или аварии может быть огромным.

Критичность некоторых современных бизнес-процессов столь велика, что простой даже в 20-25 минут в год приводит к огромным убыткам для компании. Поэтому многие специалисты сходятся во мнении, что в скором времени должен появиться пятый уровень надежности ЦОД, характеризующийся временем простоя всего 8.8 минут в год (надежность 99.999%).

В ходе недавнего исследования, проведенного организацией Ponemon Institute, было подсчитано, что стоимость одной минуты простоя ЦОД может быть свыше 5000 долларов США. В качестве материала исследования были взяты центры обработки данных, расположенные в США.

Компания Emerson Network Power, выступившая в качестве спонсора исследования, выпустила отчет «Стоимость простоев в работе ЦОД: анализ финансовых последствий уязвимости инфраструктуры». Этот документ содержит рекомендации по укреплению инфраструктуры центра обработки данных, помогающие уменьшить затраты в случае вынужденного простоя, а также тактики для повышения рентабельности инвестиций в информационные технологии (ИТ).

Средняя продолжительность инцидентов составила 90 минут, что в денежном эквиваленте оценивается в 505 500 долларов США. В случае полного выхода ЦОД из строя средняя продолжительность простоев составила 134 минуты, а их средняя стоимость — примерно 680 000 долларов США.

В случаях частичного выхода ЦОД из строя средняя продолжительность простоев составила 59 минут, а их средняя стоимость — 258 000 долларов США. Для предприятий, бизнес которых в значительной степени зависит от способности ЦОД предоставлять информационные и сетевые услуги клиентам (например, для поставщиков телекоммуникационных услуг и компаний, работающих в сфере электронной коммерции), стоимость простоев особенно высока и может достигать 1 млн. долларов за один инцидент (то есть более 11 000 долларов за минуту) [3].

В таблице 2 представлены данные Berkeley Internet Week 2000 Contingency Planning Research, оценивающие потери, вызванные 1 часом простоя ЦОД на предприятиях различных типов в США [4].

Таблица 2 – Потери, вызванные часом простоя ЦОД на предприятиях различных типов

Тип предприятия	Стоимость часа простоя, тыс. долларов США
Авторизация кредитных карт	2000
Компания Amazon (продажа товаров и услуг через интернет)	220
Бронирование билетов на самолеты	110
Резервирование (отелей, автомобилей и т.п.)	52
Банкоматы	18

Из таблиц 1 и 2 видно, что даже значительные капиталовложения в центры обработки данных, которые на первый взгляд являются излишними и приводят к незначительному увеличению надежности электроснабжения, зачастую могут быть оправданы. Также оправданными являются капиталовложения, которые позволяют предупредить аварийные ситуации и ликвидировать их в максимально короткие сроки.

Электроснабжение ЦОД в нормальном режиме обеспечивается от двух трансформаторов (сухих), которые, в свою очередь, запитаны от различных секций распределительного пункта (РП). Также предусматривается питание главного распределительного щита (ГРЩ) от дизель-генераторов (три дизельгенератора, мощности двух из которых достаточно для питания нагрузки модуля с запасом топлива на 12 часов для каждого генератора). Основные щиты (питающие ИТ-стойки, устройства автоматики (противоаварийной, противопожарной, АСУ,

охранной), устройства вентиляции и кондиционирования помещений аккумуляторных батарей и ИТ-нагрузки, щитов собственных нужд ДГУ) могут получать питание от любой секции ГРЩ. Электроприемники, обеспечивающие охлаждение ИТ-стоек (кондиционеры, вентиляторы), имеют два ввода и также запитаны от двух разных секций с возможностью автоматического переключения в аварийном режиме.

ИТ-стойки получают питание через статический online-ИБП (источник бесперебойного питания двойного преобразования), оборудованный автоматическим байпасом, сервисным байпасом, а также в обход ИБП с возможностью автоматического переключения для питания от другой секции в аварийном режиме.

Подсистема бесперебойного электроснабжения оборудования ЦОД должна обеспечивать бесперебойное электропитание потребителей особой группы первой категории, расположенных в серверном зале, без разрыва синусоиды.

К электроприемникам особой группы I категории отнесены:

- серверное и телекоммуникационное оборудование;
- система кондиционирования и вентиляции;
- аварийное освещение;
- оборудование систем пожаротушения;
- автоматизированные рабочие места;
- автоматизированная система диспетчеризации и управления;
- системы безопасности.

Данное оборудование является весьма дорогостоящим, а его эффективность сильно снижается даже при значительном отклонении параметров качества электроэнергии.

Качество электроэнергии является необходимым условием безопасного применения электрооборудования, а также непосредственно сказывается на экономических показателях, как производителей, так и потребителей электроэнергии. Некачественная электроэнергия может привести к порче дорогостоящего оборудования, нарушениям производственных циклов, выпуску некачественной продукции. Вышеуказанные явления приводят к простоям оборудования ЦОД, что влечет за собой недопустимо большие убытки.

Источники бесперебойного электропитания (ИБП) должны обеспечивать высококачественное электроснабжение потребителей, как в нормальных условиях, так и в случаях нарушения штатного электроснабжения вследствие аварии или ухудшения его качества в условиях промышленных или иных помех.

ИБП должен обеспечивать следующие параметры входного и выходного напряжения:

- входное напряжение: трехфазное, 230/400 В, 50 Гц;
- допустимые провалы напряжения основного входа ИБП от номинала в нормальном режиме работы СБЭ, не вызывающие переход на батареи, не менее -10%;
- допустимое увеличение напряжения основного входа ИБП от номинала в нормальном режиме работы СБЭ, не вызывающие переход на батареи, не менее +10%;
- допустимые отклонения частоты входного напряжения от номинала, не вызывающие переход на батареи, не менее  $\pm 10\%$ ;
- совместимость с автономными генераторами электроэнергии, «плавный старт» (постепенное увеличение тока от ДГУ и уменьшения тока от АКБ с программируемым временем перехода и задержками стартов выпрямителей ИБП в параллельной системе);
- коэффициент искажения синусоидальности входного тока при номинальных характеристиках - не более 3%;
- входной коэффициент мощности при номинальных характеристиках: не менее 0,99;
- возможность приостановки заряда аккумуляторов при работе от ДГУ;

- выходное напряжение системы 3-фазное, 230/400 В переменного тока синусоидальной формы;
- коэффициент мощности на выходе ИБП - не менее 0,93 для ёмкостных и индуктивных потребителей;
- работа на ёмкостную нагрузку - без снижения выходной мощности ИБП;
- максимально допустимое отклонение выходного напряжения:
  - ±1% при статической нагрузке;
  - ±3% при динамической нагрузке;
- суммарный коэффициент гармонических искажений по выходному напряжению:
  - не более 1% при полностью линейной нагрузке;
  - не более 3% при полностью нелинейной нагрузке.

### Заключение

Строительство ЦОД, являющихся крупными потребителями электроэнергии наряду с промышленными предприятиями, приобретает все более широкий размах. Причем наиболее активно этот процесс идет именно там, где развивается бизнес. Мощность наиболее крупных функционирующих центров обработки данных превышает 100 МВт.

По данным аналитического департамента APC (American Power Conversion, крупный производитель ИБП), структура потребления электроэнергии современного ЦОД выглядит следующим образом: системы охлаждения (чиллеры, прецизионные кондиционеры, системы вентиляции) потребляют 50 %, компьютерная нагрузка — 36 %, источники бесперебойного питания (ИБП) — 11 %, освещение, пожарная сигнализация — 3 %. В крупных ЦОД и ЦОД среднего размера данная нагрузка I особой категории преобладает над остальной нагрузкой (бытовая нагрузка АБК, наружное освещение и др.), что приводит к необходимости решения инженерных задач, связанных с обеспечением необходимого уровня качества электроэнергии и надежности электроснабжения объекта.

Один из эффективных путей решения проблемы энергоснабжения ЦОД состоит в поиске конструктивных решений и технологий, позволяющих существенно снизить энергопотребление этих объектов и одновременно с этим обеспечить высокие требования к уровню их надежности, так как электроснабжение инфокоммуникаций зависит от качества электроэнергии и надежности электроснабжения

### Литература

1. Правила устройства электроустановок. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
2. Tier: уровни надежности ЦОД и что из этого следует // AboutDC: Решения для ЦОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aboutdc.ru/page/390.php>. – Дата доступа: 22.04.2017
3. Стоимость простоя ЦОД // AboutDC: Решения для ЦОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aboutdc.ru/page/53.php>. – Дата доступа: 01.11.2017
4. Филин С. Организация электроснабжения центров обработки данных / Филин С. А. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://consystems.ru/the\\_power\\_supply\\_of\\_data\\_center](http://consystems.ru/the_power_supply_of_data_center). – Дата доступа: 01.11.2017