

ВЛИЯНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦ ИЙ В 60–80 ЛЕТ НА АВАРИЙНЫЕ ДИЗЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

David B. Hedrick

Caterpillar, Inc. – производство электроэнергии

Аварийные дизельные генераторные установки для атомных электростанций

сентябрь 2015 г.

CATERPILLAR®

АННОТАЦИЯ

В настоящем документе подробно рассматривается вопрос о том, как эволюция атомных электростанций (АЭС) длительного срока эксплуатации влияет на концепцию аварийных дизельных генераторных установок (АДГУ), используемых при обесточивании АЭС. Продление срока службы АДГУ с 40 лет до 80 лет, что соответствует продолжительности эксплуатации ядерных реакторов, сопряжено с определенными сложностями для владельцев АЭС. Настоящий документ стремится установить характер проблем, связанных с поддержанием эксплуатационной готовности существующих АДГУ. Операторам атомных электростанций еще многое предстоит освоить и усовершенствовать, учитывая актуальные тенденции в области внедрения нормативных документов, а также меры противодействия землетрясениям и наводнениям, сформированные на основе опыта ликвидации последствий аварии на АЭС Фукусима.

В разделах данного документа описывается комплекс мероприятий, призванных решить специфические задачи сегодняшнего и завтрашнего дня:

- Общие вопросы продления срока эксплуатации атомных электростанций
- Трудности, связанные с монтажом аварийных генераторных установок
- Три способа преодоления этих трудностей
- Особенности, преимущества и недостатки этих трех способов
- Заключение и рекомендации

ВВЕДЕНИЕ

Существующие атомные электростанции (АЭС) строились согласно требованиям, предусматривающим расчетный срок эксплуатации в 30–40 лет. Эти АЭС уже прошли процедуру его продления на 20–30 лет или готовятся в ближайшее время пройти ее.

Операторы, инвестирующие средства в строительство новых АЭС, обычно требуют, чтобы расчетный срок их эксплуатации составлял 60–80 лет с возможностью продления. Если принимать во внимание тот факт, что аварийные дизельные генераторные установки (АДГУ), используемые в случае обесточивания АЭС, монтируются за несколько лет до начала эксплуатации самой станции, а также должны оставаться в строю в период ее вывода из эксплуатации, то операторам АЭС понадобятся АДГУ с расчетным сроком службы в 70–90 лет. Возможно ли это? Осуществимо ли это на практике? Можно ли поддерживать надежность этой техники в течение столь длительного времени? Действительно, такая продолжительность эксплуатации ставит ряд задач перед сегодняшними владельцами и операторами АДГУ, используемых при обесточивании АЭС, а также подразумевает проблемы для всех нас в будущем. Проанализируем ситуацию более подробно.

Прежде всего рассмотрим так называемую U-образную кривую интенсивности отказов, которая отражает повышение и понижение надежности того или иного изделия с течением времени. Первый график, показанный синей линией на рисунке 1 (на следующей странице), отражает снижение количества ранних отказов в начальный период эксплуатации объекта. Второй график – оранжевый – показывает постоянную интенсивность отказов или интенсивность внезапных отказов, возникающих с течением времени. Третий график – зеленый – соответствует интенсивности отказов, обусловленных старением или износом техники. Совместив эти три показателя, мы получаем наблюдаемую интенсивность отказов – фиолетовый U-образный график, который и называют кривой интенсивности отказов. В ядерной энергетике применяется статистическая модель отказов, позволяющая определить оценочную и приемлемую (допустимую) интенсивность отказов; на диаграмме она показана красной линией.

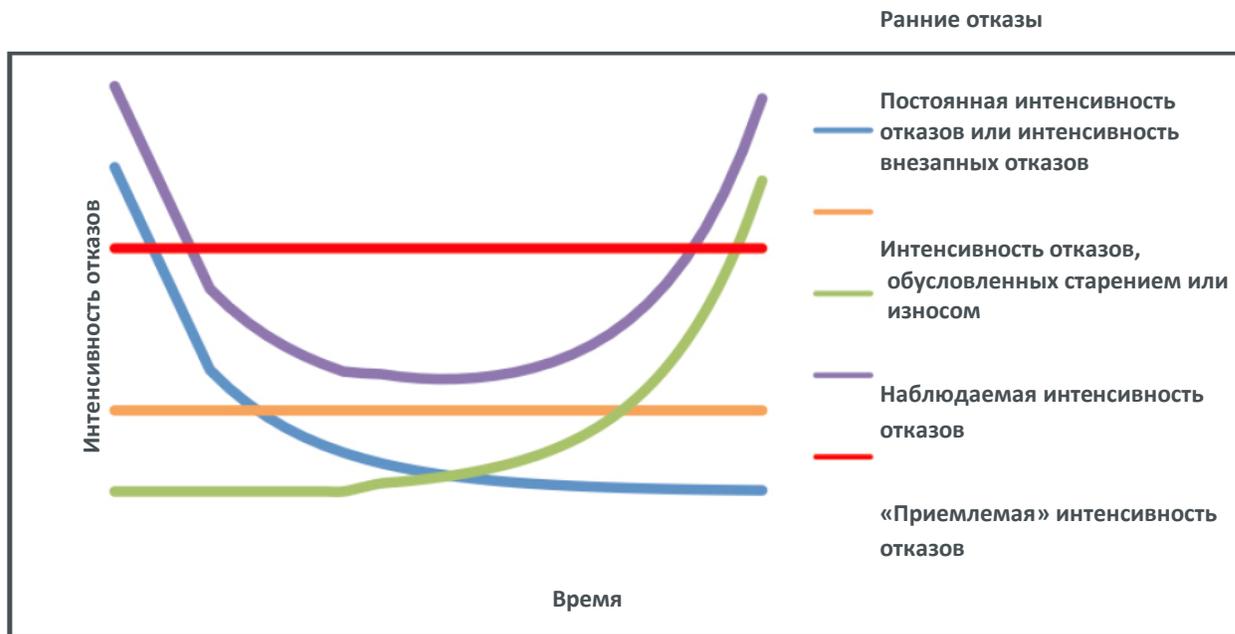


Рис. 1: U-образная кривая надежности изделия

При реализации проектов в области ядерной энергетики много времени и усилий тратится на решение задач, связанных с сокращением количества ранних отказов. Многократный технический контроль, частые проверки и обширные испытания – вот лишь несколько примеров мероприятий, направленных на снижение вероятности ранних отказов.

Вместе с тем, предметом настоящего обсуждения является правая часть диаграммы, где наблюдаемая интенсивность отказов приближается к максимально допустимому уровню. В последующих разделах документа мы обсудим планы операторов АЭС, а также долгосрочные программы управления активами, направленные на противодействие снижению надежности оборудования в конце срока эксплуатации АДГУ. В некоторый момент в будущем надежность снизится настолько, что наблюдаемая интенсивность отказов превысит допустимый уровень. Что должны предпринимать операторы, пока этот момент не наступил? Рассмотрим варианты их возможных действий.

Для АДГУ, используемых при обесточивании АЭС, оставаться в строю 70–90 лет, сохраняя приемлемый уровень надежности, – действительно непростая задача. Однако существует по меньшей мере три реализуемых способа ее решения. Первый способ: оператор или производитель поддерживает работоспособность генераторных установок в течение всего расчетного срока службы. Второй способ: оператор заменяет старые генераторные установки на новые в определенный момент – возможно, в середине срока службы. Третий способ: оператор интегрирует в существующую инфраструктуру совершенно новую систему дизельных генераторных установок, дополняющую имеющиеся изделия. В этом отношении представляется необходимым сформулировать преимущества и недостатки каждого из этих трех способов.

ПОДДЕРЖАНИЕ ИМЕЮЩИХСЯ УСТАНОВОК В РАБОЧЕМ СОСТОЯНИИ

Старение оборудования неизбежно. Поэтому задача постоянно поддерживать генераторную установку в полностью исправном состоянии изначально едва ли представляется разрешимой. Этот способ действий предполагает проактивное выполнение стандартного и прогнозного технического обслуживания через определенные интервалы, чтобы удержать надежность на приемлемом уровне. В частности, это осуществляется путем обновления, замены, модернизации и улучшения тех или иных компонентов в системе генераторных установок. Характерным примером решения является АЭС Прейри-Айленд, которой компания Caterpillar поставляет запасные части для двигателя Cat® D399, выпущенного в 1970-х годах. Периодически на таких объектах может появляться возможность модернизировать те или иные системы, которые были перепроектированы.

Преимуществом такого подхода является то, что объекты первоначальных капиталовложений все еще находятся в состоянии эксплуатационной готовности. Если появляются улучшенные запасные части, их можно сертифицировать и внедрять в существующие изделия. Но в целом эксплуатанты могут следовать установленным процедурам и выполнять проверенные процессы.

Вместе с тем, операторы более старых АЭС подтверждают, что данный подход сопряжен с рядом проблем, в число которых входит, например, моральное старение оборудования, трудности с поставками запасных частей и необходимость поддержания приемлемого уровня надежности всей системы.

Со временем многие компании меняют профиль деятельности, а некоторые поставщики и субподрядчики вовсе уходят с рынка. Это усложняет сертификацию запасных частей. Поэтому некоторые операторы АЭС и сторонние производители преуспевают в обратном инжиниринге ряда деталей или в поиске новых поставщиков. Но так или иначе ситуация не будет улучшаться. Вести дела становится все труднее и затратнее.

Еще одной проблемой, обусловленной поддержанием эксплуатационной готовности существующих АДГУ, является то обстоятельство, что в некоторых странах установлен предельно допустимый срок, к которому все сервисные работы должны быть завершены. Правила таковы, что несоблюдение этого срока влечет за собой плановую остановку реакторов. По мере старения оборудования объем работ только растет, в некоторых случаях просто не хватает времени, чтобы выполнить все операции таким образом, чтобы не возникла необходимость остановить реактор или получить специальное разрешение на продолжение работ.

Некоторые операторы АЭС дополнительно вводят в строй запасные дизельные генераторные установки, чтобы получить время для выполнения нужного технического обслуживания на имеющихся стареющих установках. Данный подход позволяет решить проблему нехватки времени, однако заставляет операторов нести существенные расходы и не избавляет их от необходимости постоянно устранять возникающие сбои, поддерживая генераторные установки в рабочем состоянии.

Кроме того, также следует обращать внимание на совокупные затраты, связанные с этим процессом. Один заказ запасных частей может и не показаться дорогостоящим, но если продолжать придерживаться такого способа вплоть до вывода АЭС из эксплуатации, то все его преимущества померкнут на фоне общих расходов.

ЗАМЕНА ОБОРУДОВАНИЯ НА МЕСТЕ

Следующим вариантом решения, который мы рассмотрим, будет полная утилизация имеющегося оборудования и его замена на новые АДГУ, используемые при обесточивании АЭС. Новое оборудование может избавить оператора от проблем, связанных с моральным старением прежних машин или с перебоями поставок. Кроме того, новые генераторные установки отвечают новым или обновленным правилам или требованиям, например предоставляют большую мощность в случае аварийной ситуации. С другой стороны, потребности в электроэнергии может быть сложно покрыть, если новое оборудование не помещается в старый генераторный зал. Однако следует признать, что такая проблема обычно не возникает, поскольку в последние годы у большинства современных генераторных установок существенно возросло значение удельной мощности, другими словами – количество киловатт на квадратный метр.



Большинство недостатков этого способа так или иначе связано со временем, которое нужно затратить на переоборудование. Нужно ли выполнять его во время остановки реактора? Загрузка нового топлива в реактор редко занимает больше нескольких недель. Этого явно недостаточно для демонтажа и замены оборудования.

Поэтому данную операцию лучше планировать одновременно с более длительным простоем реактора, например на период переоснащения реактора типа CANDU в середине срока службы, когда реализуется ряд специальных проектов, направленных на продление периода эксплуатации АЭС.

Пример такого подхода – АЭС Эмбальсе в Аргентине: оператор электростанции решил отказаться от имеющегося оборудования и заменить его на современные системы.

Важно помнить, что существует ряд условий, обусловленных особенностями конкретной АЭС. Хорошо, когда в наличии имеются свободные мощности, позволяющие заменить генераторные установки, не останавливая работу АЭС. Однако в противном случае оператору приходится прибегать к портативным резервным генераторным установкам на время выполнения работ по выводу из эксплуатации старого оборудования, а также монтажу и запуску новых машин.

Эта ситуация характерна для проекта Caterpillar на атомной электростанции в Великобритании. Одна из двух дизельных генераторных установок для зарядки аккумуляторных батарей полностью вышла из строя. Поэтому на объекте пришлось развернуть мобильное оборудование, чтобы обеспечить резервное энергоснабжение. Оператор воспользовался возможностью, чтобы усложнить техническое задание (особенно с учетом стандартов противодействия землетрясениям и наводнениям, принятых после аварии на АЭС Фукусима). В результате был организован тендер и выбрано решение компании Caterpillar, предусматривающее замену имеющихся АДГУ на месте.

РАСШИРЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ АЭС ПУТЕМ ВОЗВЕДЕНИЯ НОВОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ СТАНЦИИ

Наконец, третий вариант подразумевает строительство нового здания для обновленных АДГУ, используемых при обесточивании АЭС. Один из примеров – модернизированная система аварийного энергоснабжения реактора CANDU.

Эта система предоставляет реактору CANDU нужную электроэнергию для выполнения всех функций безопасности как в рабочем режиме, так и в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Она состоит из двух сейсмоустойчивых резервных генераторных установок, аккумуляторных батарей и распределительного устройства, расположенных в укрепленном железобетонном здании.

Другим примером может послужить модульное решение, реализованное на двух АЭС в Чехии. Благодаря модульному исполнению удалось быстро выполнить поставку и установку оборудования при меньших затратах по сравнению с возведением стандартного строения.

Этот способ также имеет свои сильные и слабые стороны. Новое оборудование решает проблему морального старения машин и исключает перебои в поставках деталей, одновременно повышая надежность системы. Оператор АЭС может с чистого листа начать проект, учитывающий последние стратегии возведения АДГУ, используемых при обесточивании АЭС. При выборе оборудования и конструкции строения это дает возможность в полной мере обеспечить соответствие новым стандартам и новым требованиям. В том числе меры противодействия землетрясениям и наводнениям.

Кроме того, во время выполнения монтажных работ АЭС может продолжать функционирование. Остановить реактор может понадобиться лишь один раз – при подключении новой инфраструктуры к существующей системе, что осуществимо и во время плановой загрузки нового топлива. Использование модульного подхода дает возможность еще больше сократить период времени от формирования концепции до передачи готового проекта заказчику.

Единственной проблемой может стать наличие свободного пространства. Некоторые АЭС не располагают достаточной площадью недалеко от реактора, которая в полной мере подходит для размещения новых систем и строительства новых зданий. В этом случае необходимо продумывать новые процедуры и процессы в ходе планирования модернизации. Кроме того, как и при введении в эксплуатацию любой новой системы, необходимо провести надлежащую подготовку персонала. Все способы так или иначе сопряжены с определенными затратами, однако единоразовые издержки в связи с реализацией этого варианта могут быть самыми высокими. Вместе с тем, разовые расходы можно рационализировать, приняв во внимание долгосрочное планирование затрат и общее повышение надежности системы.



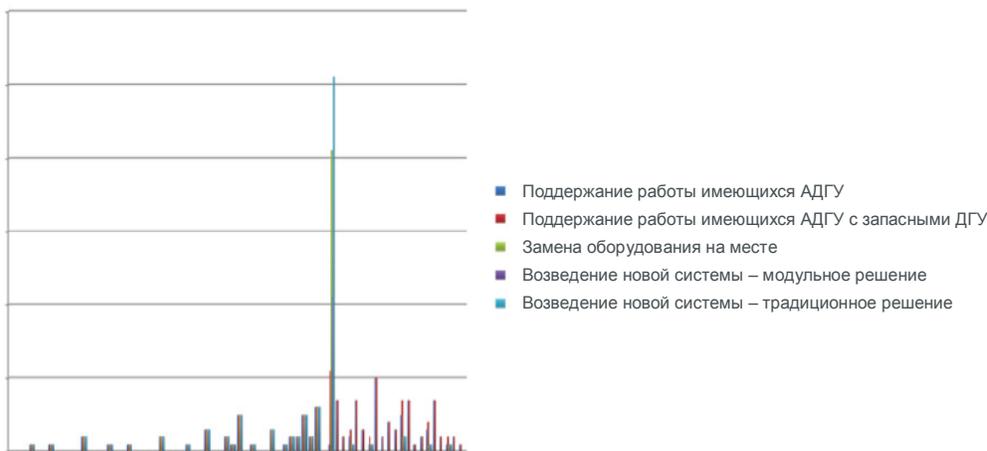
СРАВНЕНИЕ ТРЕХ ОПЦИЙ

С точки зрения операторов атомных электростанций все три варианта имеют свои плюсы и минусы. Кто-то будет склоняться к тому, чтобы поддерживать работу имеющихся АДГУ, поскольку это представляется наименее затратным вариантом. В некоторых случаях сохранение статус-кво окажется предпочтительным и оператор будет заменять старые компоненты на новые по мере необходимости. Тем не менее, внешние и внутренние факторы могут заставить владельцев всерьез задуматься о двух других вариантах, поскольку баланс между расходами и надежностью может со временем измениться. Рассмотрим более подробно затраты, связанные с каждым вариантом.

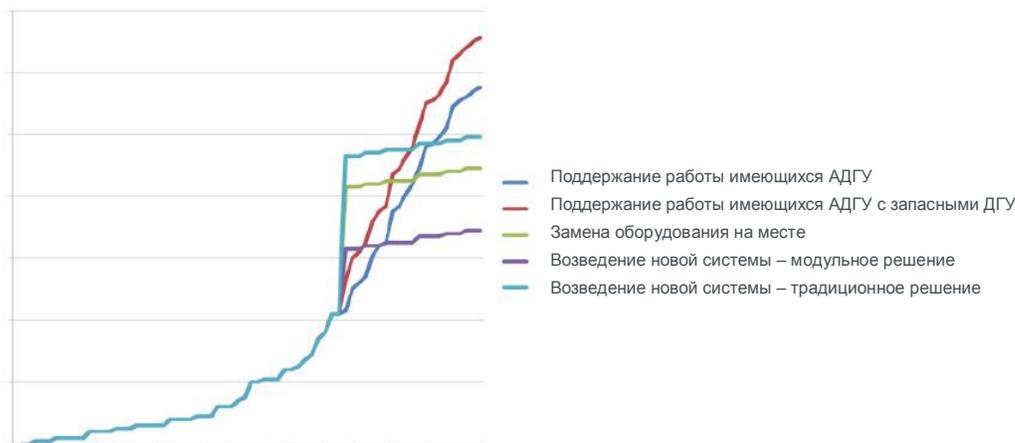
По итогам оценки расходов, которые придется понести оператору в каждом отдельном случае на протяжении года, тот или иной вариант может оказаться нерентабельным. При этом необходимо учитывать, что затраты на поддержание имеющихся генераторных установок в надлежащем состоянии будут только расти.

В целом, имеющиеся варианты можно распределить следующим образом – от самых высоких годовых затрат к самым низким:

1. Возведение новой системы – традиционное решение
2. Замена оборудования на месте
3. Возведение новой системы – модульное решение
4. Запасные дизельные генераторные установки

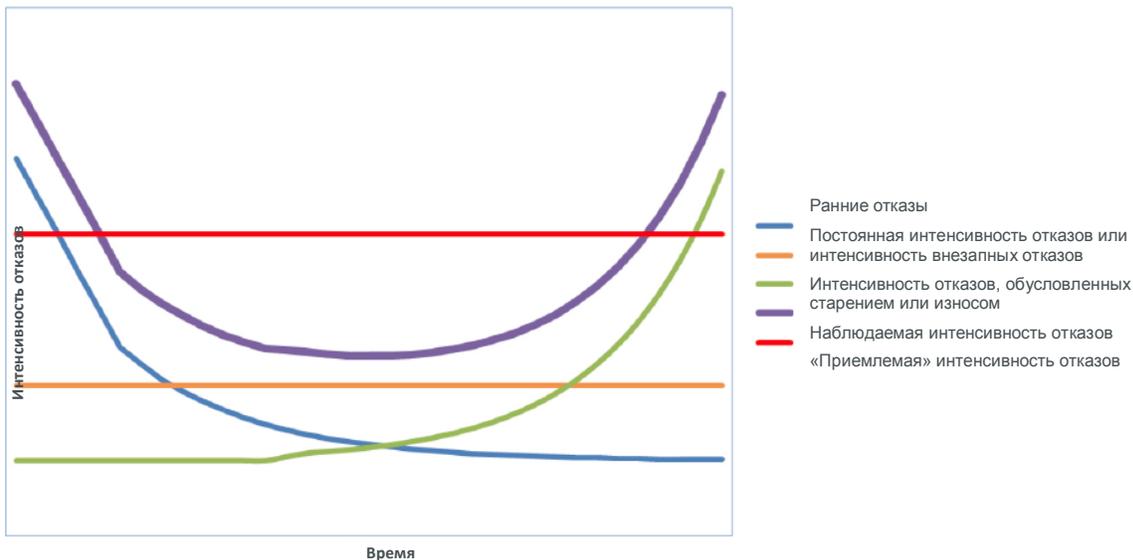


Вместе с тем, если проанализировать совокупные затраты, то картина будет несколько иной. В определенный момент совокупные затраты на поддержание имеющихся АДГУ в исправном состоянии начинают превышать совокупные затраты на замену оборудования. Монтаж запасной дизельной генераторной установки на самом деле оказывается самым затратным решением в долгосрочной перспективе. И это неудивительно, поскольку данное решение позволяет выиграть время, но приносит значительные расходы. Модульный подход отличается низкими совокупными затратами. Кроме того, график, соответствующий этому способу, раньше других пересекает график, соответствующий поддержанию работы имеющихся АДГУ, что видно на рисунке ниже.

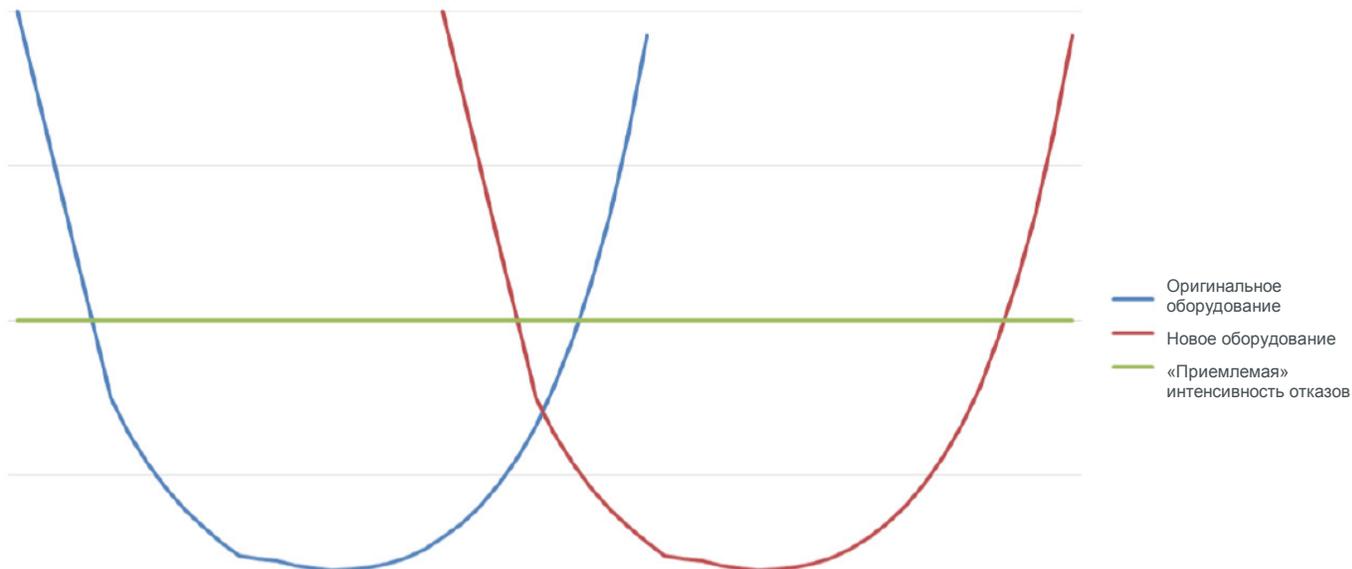


СРАВНЕНИЕ ТРЕХ ОПЦИЙ

Теперь обратимся к U-образной кривой надежности. Для наглядности этот график опускается на начальном отрезке, остается относительно плоским в течение основного периода эксплуатации оборудования, а затем поднимается ближе к его завершению.



Если руководство АЭС решит произвести замену генераторных установок, то U-образные кривые надежности будут расположены вплотную друг к другу.



Как показано на диаграмме, наиболее целесообразной является замена старой генераторной установки на новую, что позволяет поддерживать надежность на приемлемом уровне в течение длительного времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Сложно ли находить запасные детали? Какова надежность имеющихся АДГУ, используемых при обесточивании АЭС, и каков прогноз в отношении их надежности? В какой степени можно полагаться на свою сеть поставщиков? Вводят ли новые нормативные акты новые требования? Как долго планируется поддерживать работу электростанции? Это лишь некоторые вопросы, которые беспокоят операторов АЭС и вынуждают их тщательно изучать различные варианты действий: поддерживать ли имеющиеся АДГУ в исправном состоянии, производить ли замену оборудования на месте, строить ли новое здание или отдавать предпочтение модульному решению.

Операторы каждой работающей АЭС постоянно ведут учет затрат на поддержание эксплуатационной готовности оборудования, анализируют воздействие различных факторов на его надежность, изучают предложения поставщиков и последствия замены тех или иных компонентов. Но так или иначе наступает переломный момент, когда замена оборудования оказывается целесообразной с точки зрения затрат и/или надежности. И тогда оператору принципиально важно определить, наступит ли он до окончания срока эксплуатации АЭС.

В настоящее время расчетный срок службы атомных электростанций составляет 60–80 лет, поэтому очень вероятно, что для дизельных генераторных установок этот переломный момент настанет именно в этот период. Снижение надежности в совокупности с повышением затрат на поддержание эксплуатационной готовности оборудования вынуждает операторов искать варианты решения этой проблемы.

Проактивное планирование – это верный способ опередить кривую надежности не только для эксплуатируемых АЭС, но и для проектируемых станций. Разрабатывая здания, позволяющие легко производить замену оборудования, или специально оставляя место для возведения тех или иных систем, которые дополняют существующую инфраструктуру, операторы могут избавить себя от многих затрат в будущем.

О КОМПАНИИ CATERPILLAR

Вот уже 90 лет компания Caterpillar Inc. создает возможности для устойчивого развития и постоянных положительных изменений на всех континентах. Заказчики обращаются в компанию Caterpillar за помощью в развитии инфраструктуры, возведении систем энергообеспечения и разработке природных ресурсов. В 2014 году доходы от продаж компании Caterpillar составили 55,2 миллиарда долларов, что подтверждает ее позиции как мирового производителя строительного и горного оборудования, дизельных и газовых двигателей, промышленных газотурбинных установок и дизель-электрических локомотивов. Компания работает в трех производственных сегментах – в горнодобывающей промышленности, строительном секторе и сфере электроэнергетических систем, а также предоставляет финансовые и сопроводительные услуги в сегменте финансовой продукции.

Для получения дополнительной информации, пожалуйста, посетите caterpillar.com. Чтобы ознакомиться с информацией о наших страницах в социальных сетях, пожалуйста, посетите caterpillar.com/social-media.

Центр решений, связанных с дизельными генераторными установками: cat.com/powergeneration

Онлайн-сообщество: caterpillar.lithium.com/t5/Electric-Power-Generation/ct-p/EPG

Facebook: facebook.com/Caterpillar.Electric.Power

YouTube: youtube.com/CatPowerGeneration

BUILT FOR IT™.

LRXE1193-00 сентябрь 2015 г.

© 2015 Caterpillar. Все права сохранены. CAT, CATERPILLAR, BUILT FOR IT, соответствующие логотипы, желтый цвет «Caterpillar Yellow», фирменная маркировка «Power Edge», а также идентификационные данные корпорации и ее продукции, используемые в настоящем документе, являются товарными знаками компании Caterpillar и не могут использоваться без разрешения.