

УДК 004.09

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КАЧЕСТВА МОЩНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Крылов Т.Д., Цецуро Н.А., студенты гр. ПИБ-201, IV курс

Научный руководитель: Раевская Е.А., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В современном мире энергетические системы играют ключевую роль в обеспечении жизненно важных потребностей общества, будь то предприятия, домашние потребители или крупные промышленные комплексы. Согласно новой версии Правил оптового рынка электроэнергии (мощности) (далее ОРЭМ) [1] с сентября 2006 года, предусмотрена возможность торговли специальным ресурсом - генерирующей мощностью. Это означает, что участники рынка могут приобретать право требовать готовность генераторов к производству электроэнергии определенного качества в необходимом объеме для обеспечения непрерывного и надежного электроснабжения.

Соответственно цель торговли мощностью заключается в обеспечении надежной и безопасной поставки электроэнергии, значит оптовые покупатели должны гарантировать покрытие как переменных затрат производителей на фактическое производство и поставку электроэнергии, так и постоянных затрат на готовность к производству и поставке с максимальными показателями. Несоблюдение готовности может привести к риску недостатка энергии, вплоть до отключения потребителей и сбоев в работе оборудования.

Торговля мощностью помогает генерирующему компаниям покрывать расходы на оборудование. Это важная часть их экономической операции, так как цена электроэнергии не всегда покрывает все расходы. Без этого механизма снижение производства может привести к недостатку финансирования и выводу оборудования из эксплуатации, угрожая надежности энергоснабжения. Кроме того, зависимость компенсации от объема производства может создавать нестабильные финансовые условия для компаний при изменении потребления энергии или структуры рынка.

Таким образом, стабильная работа генерирующего оборудования является неотъемлемой частью обеспечения постоянного и надежного энергоснабжения. Однако, для поддержания высокого уровня производительности и эффективности этого оборудования, необходимы средства контроля и анализа его работы.

Контроль и анализ показателей готовности оборудования важны для оценки его состояния и аварийности, а также для расчета неоплаты мощности.

Это ежедневная и ручная работа, которая может замедлить сбор и анализ данных.

Для всестороннего анализа ретроспективы, часто требующегося помимо ежедневных отчетов, как правило, используется MS Excel. Хотя Excel удобен для сведения результатов и формирования отчетов, он не подходит для хранения исходных данных и ежедневного контроля показателей готовности.

Для повышения оперативности и обоснованности принятия решений при оценке и анализе показателей готовности генерирующего оборудования было принято решение разработать программный комплекс, который позволял бы:

- структурировать все имеющиеся объекты генерирующего оборудования ООО «Сибирская генерирующая компания» в виде иерархического дерева, которое позволяет производить анализ показателей готовности в различной степени агрегации, а также имеет гибкую структуру для минимизации трудозатрат на редактирование объектов генерации;
- ускорить и упростить работу дежурных, автоматизировать часть функций, осуществляемых в настоящее время в ручном режиме, таких как: регистрация диспетчерских заявок о состоянии генерирующего оборудования, получаемых с электростанций; регистрация инцидентов на основе диспетчерских заявок;
- автоматизировать учет инцидентов о состоянии генерирующего оборудования и их последующую сверку с данными, публикуемыми АО «Системным оператором Единой энергетической системы» (далее СО) в личном кабинете участника ОРЭМ;
- создать единую базу данных для хранения условно-постоянных и почасовых значений показателей готовности генерирующего оборудования, необходимых для контроля качества мощности;
- реализовать возможность автоматизированного сбора предварительных фактических итогов работы на ОРЭМ за отчётный месяц в части выполнения показателей готовности;
- повысить скорость работы с данными, их сохранность, целостность и надёжность системы в целом.

В качестве платформы для разработки комплекса была выбрана .Net 8(C#), модель разработки – ASP.NET Core MVC, база данных - PostgreSQL технология для доступа к БД – Entity Framework Core. Клиентская часть реализована с использованием языка гипертекстовой разметки (HTML), каскадных таблиц стилей (CSS) и JQuery – набора функций JavaScript, фокусирующихся на взаимодействии JavaScript и HTML. Для работы с Excel файлами используется библиотека «EPPlus» версии 4.

В рамках разрабатываемого программного комплекса реализуются следующие бизнес-процессы:

1. Добавление и редактирование объектов генерации (электростанций, групп точек поставки генерации, единиц генерирующего оборудования и т.д.).

2. Добавление и редактирование условно-постоянных и помесячных данных для расчёта показателей готовности.

3. Работа с почасовыми показателями готовности по группам точек поставки генерации и фиксация инцидентов.

4. Подведение месячных итогов – анализ качества мощности по итогам месяца на основании оперативных данных и фактических данных СО.

5. Формирование отчётности.

6. Добавление в систему пользователей и редактирование прав доступа.

Программный комплекс предполагает наличие следующего *разграничения прав доступа пользователей*.

- *администратор данных*: производит настройку прав доступа пользователей к системе, вносит изменения в дерево оборудования, настраивает расписание работы загрузчика;

- *аналитик*: заполняет условно-постоянные параметры генерирующего оборудования и базовые месячные параметры, необходимые для расчёта показателей готовности, осуществляет подведение месячных итогов;

- *дежурный*: осуществляет ежедневный контроль почасовых показателей готовности по ГТПГ, вносит предварительные данные по показателям готовности ГТПГ, формирует карточки инцидентов, осуществляет разнесение снижения мощности по инцидентам.

При добавлении нового сотрудника указывается его ФИО, логин, а также роли, под которыми сотрудник может осуществлять работу с системой (администратор данных, аналитик, дежурный).

Результатом бизнес-процесса является таблица прав доступа пользователей к информационной системе, на основании которой осуществляется доступ к необходимому для каждой роли функционалу.

Интерфейс пользователя содержит 4 основных модуля для работы с данными и представлен на рисунке 1.

СИБИРСКАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ Таблица по станциям СГК Добавление и редактирование объектов генерации Добавление новых объектов Настройка прав доступа Здравствуйте,

| |
|----------------------------------|
| ОДУ |
| РДУ |
| Регион |
| Город |
| Участник Рынка |
| Станция |
| Код ГТП |
| Номер ТП |
| Код ЕГО |
| Маркировка Турбины |
| Схема соединения котлов и турбин |
| Топливо |

Вывести таблицу Очистить выбор Сохранить в Excel

Рисунок 1 – Интерфейс пользователя

1. Структура объектов генерирующего оборудования.

Добавление объектов генерации осуществляется пользователем с ролью администратора данных после разворачивания информационной системы, а также при появлении новых объектов генерации в процессе работы. Бизнес-процесс реализуется через модуль добавления и редактирования, который включает в себя графический интерфейс (рис. 2) и программную часть взаимодействия с БД (рис. 3).

| Действия | ODU | RDU | Регион | Город | Участник рынка | Станция | Код ГТП | № ТГ | Код ЕГО | Маркировка турбин | Схема соединения котлов и турбин | Год ввода в эксплуатацию | Фактическая мощность (Русс. МВт) | Макс. nom. МВт | Мин. nom. МВт | № КА |
|--|------------|-----------------|-------------------------------|-------|---|--------------------|----------|------|---------|-------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|---------------|------|
| <button>Редактирование</button> <button>Добавить</button> <button>Удалить</button> | ODU Сибири | Кемеровское РДУ | Кемеровская область - Кузбасс | Мыски | Кузбасское АО энергетики и электрификации | Томь-Усинская ГРЭС | GKUZEN21 | 4 | 4 | KT-120-8, 8-2M | Блочная | 2011 | 124 | 120 | 75,6 | - |
| <button>Редактирование</button> <button>Добавить</button> <button>Удалить</button> | ODU Сибири | Кемеровское РДУ | Кемеровская область - Кузбасс | Мыски | Кузбасское АО энергетики и электрификации | Томь-Усинская ГРЭС | GKUZEN22 | 5 | 5 | KT-120-8, 8-2M | Блочная | 2011 | 121,4 | 121,4 | 76,2 | - |
| <button>Редактирование</button> <button>Добавить</button> <button>Удалить</button> | ODU Сибири | Кемеровское РДУ | Кемеровская область - Кузбасс | Мыски | Кузбасское АО энергетики и электрификации | Томь-Усинская ГРЭС | GKUZEN06 | 6 | 6 | K-215/130 | Блочная | 2004 | 200 | 200 | 140 | - |
| <button>Редактирование</button> <button>Добавить</button> | ODU Сибири | Кемеровское РДУ | Кемеровская область - Кузбасс | Мыски | Кузбасское АО энергетики и электрификации | Томь-Усинская ГРЭС | GKUZEN05 | 7 | 7 | K-215/130 | Блочная | 2004 | 200 | 200 | 140 | - |

Рисунок 3 — Модуль добавления и редактирования объектов генерации

Добавление

ODU
ODU Сибири

RDU
Кемеровское РДУ

Регион
Кемеровская область - Кузбасс

Город
Мыски

Участник рынка
Кузбасское АО энергетики и электрификации

Станция
Томь-Усинская ГРЭС

Код ГТП
GKUZEN05

№ ТГ
1

Рисунок 2 — Страница добавления данных объекта

Добавление объектов осуществляется в следующем порядке: электростанция – ГТПГ – РГЕ – ЕГО – НБЛЧ – Котёл – группа ЕГО для ВСВГО – ГТПП – настройка Агрегации электростанций. Для каждого типа объекта заполняется определённый список полей.

Редактирование объектов генерации осуществляется в случае добавления новых или исключения существующих объектов, а также при изменении состава агрегирующих объектов, таких как ГТПГ, РГЕ, группа ЕГО для

ВСВГО (например, переход ЕГО из одной ГТПГ в другую) или при изменении настроек агрегации электростанций (например, переход электростанции от одного дежурного к другому).

Также, возможна комбинация добавления и редактирования объектов. Например, при выделении ЕГО в новую ГТПГ, сначала создаётся новая ГТПГ, после чего ЕГО переносится из существующей ГТПГ в новую.

Результат – гибкое дерево оборудования, упрощающее анализ готовности на разных уровнях и минимизирующее время на редактирование объектов генерации.

2. Модуль добавления и редактирование условно-постоянных и помесячных данных для расчёта показателей готовности.

Бизнес-процесс занесения условно-постоянных характеристик генерирующего оборудования осуществляется через модуль внесения и редактирования условно-постоянных характеристик. Модуль содержит два раздела:

- Внесение и корректировка условно-постоянных характеристик ЕГО – заполняется на основании актов об общесистемных параметрах и характеристиках генерирующего оборудования и реестра фактических параметров СО.
- Внесение и корректировка помесячных данных по ГТПГ для расчёта показателей готовности – заполняется на основании реестра предельных объёмов СО, информации о тарифах на мощность, предварительной информации о неготовности участия в регулировании. Данные вносятся сотрудником в роли *аналитик*.

Внесение и корректировка условно-постоянных характеристик ЕГО осуществляется после завершения бизнес-процесса «Добавление и редактирование объектов генерации». По каждой ЕГО заполняются основные технические параметры и характеристики на основании Актов, реестров СО с указанием времени начала действия указанных параметров.

Почасовые показатели ГТПГ включают в себя:

- Послойное отображение почасовых значений показателей готовности по каждой ГТПГ на выбранную дату.
- Отображение действующих на выбранную дату помесячных расчётных значений.
- Запуск принудительной загрузки отчётов СО за выбранную дату.
- Ручная корректировка показателей готовности с указанием слоя редактирования данных.
- Отображение инцидентов, действующих на выбранную дату,
- Отнесение снижения мощности по показателям готовности на инциденты, действующие на выбранную дату.
- Сохранение внесённых данных.

Помесячные показатели ГТПГ:

- Послойное отображение среднесуточных значений показателей готовности по каждой ГТПГ за выбранный месяц.
- Отображение действующих на выбранный месяц расчётных значений.

- Отображение инцидентов, действующих в течение всего выбранного месяца (ОПРЧ, реактивная мощность, ограничения сверх заявленных в КОМ, СОТИАСОО).
- Отнесение снижения мощности по показателям готовности на инциденты, действующие в течение всего выбранного месяца.
- Сохранение внесённых данных.
- Принудительный запуск загрузки итоговых месячных отчётов СО.
- Сравнение итоговых показателей готовности с предварительными данными.

Результатом бизнес-процесса является информация по ЕГО и ГТПГ, необходимая для расчёта показателей готовности за отчётный период.

3. Работа с почасовыми показателями готовности по ГТПГ и фиксация инцидентов.

Настоящий бизнес-процесс является ключевым и выполняется ежедневно *дежурными сотрудниками* в модуле работы с почасовыми значениями ГТПГ [2].

На основании информации, полученной из диспетчерских заявок, поступаемых со станций, дежурные вручную заполняют почасовое снижение мощности по ГТПГ на максимально возможный срок для расчёта ожидаемого прироста неоплаты в предстоящий период.

За прошедший период данные по показателям готовности ГТПГ актуализируются из предварительных или итоговых отчётов СО, которые могут загружаться в автоматическом режиме загрузчиком, и принудительно Дежурным. В случае расхождения предварительных данных, внесённых Дежурными вручную, с данными СО, соответствующие значения выделяются цветовой индикацией. В случае сомнения в корректности проставления показателей готовности, Дежурный сообщает об этом ответственному сотруднику соответствующего РДУ.

После заполнения показателей готовности по ГТПГ, всё снижение мощности должно быть разнесено по оборудованию, принадлежащему соответствующей ГТПГ. Для этого создаётся карточка инцидента, в которой, указывается информация об объекте генерации, на котором произошёл инцидент (электростанция, ГТПГ, ЕГО), категория и вид ремонта, ремонтное снижение, время начала и окончания инцидента.

После заполнения карточки, инцидент появляется в интерфейсе почасовых показателей по ГТПГ на всём периоде действия инцидента. Дежурный относит почасовое снижение мощности по видам делт на инциденты, происходившие в отчётных сутках. В случае некорректного разнесения (снижение мощности ГТПГ по определённой делте в определённый час не равно суммарному снижению мощности по этой делте в этот час, отнесённому на все инциденты в отчётных сутках) снижение мощности ГТПГ по соответствующей делте помечается цветовой индикацией.

При почасовом разнесении инцидентов дежурные, при необходимости, устанавливают признак неучастие в расчёте КПЭ электростанции – если инцидент произошёл не по вине электростанции и/или признак неучастия в расчёте КПЭ Дежурного, в случае, если снижение мощности не должно снижать показатели эффективности Дежурного. После проставления указанных признаков, они должны быть проверены и акцептованы сотрудником с правами Аналитика.

Результатом процесса является отчет о готовности на конец месяца, включающий данные об оплате и поставке энергии на станциях. Отчет предоставляет информацию для анализа текущих показателей и принятия решений.

Модуль обеспечивает создание, редактирование и удаление карточек инцидентов, а также вывод детализированной информации об инциденте.

Алгоритм фиксации инцидента выглядит следующим образом.

1. При создании карточки инцидента в соответствующей таблице БД создаётся запись с ключевыми параметрами инцидента:

- электростанция – заполняется автоматически, на основании выбранной электростанции в дереве оборудования модуля почасовых данных ГТПГ;
- ГТПГ – заполняется автоматически, на основании выбранной ГТПГ в дереве оборудования модуля почасовых данных ГТПГ;
- оборудование – непосредственно оборудование, на котором произошел инцидент (блок, турбина, общестанционное снижение мощности);
- категория диспетчерской заявки;
- вид ремонта;
- начало и окончание инцидента;
- причина инцидента.

2. При выводе детальной информации, помимо ключевых параметров также отображаются все почасовые периоды инцидента с неизменными значениями снижения мощности, вида дельты и неоплаты. Для каждого периода выводится:

- снижение мощности;
- вид дельты или показателя готовности;
- дата и время начала и окончания периода;
- продолжительность периода в часах;
- почасовая неоплата;
- суммарная неоплата за период.

3. При выводе детальной информации отображается суммарная неоплата от инцидента.

4. Модуль подведения месячных итогов.

Цель модуля – подведение фактических итогов работы на ОРЭМ за месяц по показателям готовности. Аналитик перезагружает отчеты, проверяет разнесение снижения мощности и заполнение карточек инцидентов. Проверяет соответствие показателей готовности и равенство недопоставки и неоплаты мощности в ежедневных и месячных отчетах. Вносит корректировки при несоответствии.

Интерфейс пользователя позволяет формировать следующие виды отчётов:

- ежесуточный отчёт по ГТПГ;
- отчёт по перечню инцидентов за отчётный месяц;
- отчёт о запасе часов фиксации Δ2.1_120 по ГТПГ;
- отчёт о запасе годового объёма плановых ремонтов по ГТПГ;
- еженедельный отчёт по ГТПГ;
- подведение месячных итогов.

Результат – отчетный анализ качества мощности за месяц с данными о снижении и неоплате мощности на ГТПГ и электростанциях.

5. Справочная информация.

Модуль содержит следующие справочники:

- Справочник по дельтам;
- Справочник коэффициентов дифференциации;
- Справочник коэффициентов аварийности;
- Справочник коэффициентов сезонности.

Программная реализация перечисленных модулей позволит сделать процесс контроля и анализа учета показателей готовности генерирующего оборудования более качественным и оперативным, а соответственно улучшить финансовый результат участника оптового рынка путем снижения сумм недопоставок и неоплаты мощности.

Список литературы:

1. Об электроэнергетике [Текст]: федеральный закон от 26.03.2003 №35-ФЗ; в ред. от 14.02.2024.
2. Регламент «Определения объемов фактически поставленной на оптовый рынок мощности» от 26.11.2010 с изменениями от 24.01.2024 года / Приложение №13 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. – М., 2010. – 88 с.