

Л.Б. Жорняк, Т.А. Ерж, В.И. Осинская, С.О. Баранник

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Досліджені питання підвищення якості напруги в мережах споживачів електроенергії. Виконано дослідження впливу головного обладнання електричних станцій та підстанцій на якість електроенергії, що постачається, а також показників якості цієї електроенергії на кінцевого споживача за допомогою експертної системи в пакеті програм Matlab (Fuzzy Logic Toolbox).

Исследованы вопросы повышения качества напряжения в сетях потребителей электроэнергии. Выполнено исследование влияния главного оборудования электрических станций и подстанций на качество поставляемой электроэнергии, а также показателей качества этой электроэнергии на конечного потребителя с помощью экспертной системы в пакете программ Matlab (Fuzzy Logic Toolbox).

ВВЕДЕНИЕ

В системах электроснабжения огромную роль играют электрические подстанции, т.е. электроустановки, предназначенные для преобразования и распределения электрической энергии, которые в Украине, как и в других западных странах, для производства и распределения электрической энергии используют трехфазный переменный ток частотой 50 Гц. Как известно, качество электроэнергии при производстве и транспортировке от места ее производства к потребителям частично расходуется, частично теряется, и при этом возникает проблема должного обеспечения качества энергии у потребителя. При работе потребителей электроэнергии должно обеспечиваться ее требуемое качество, показателями которого являются отклонение напряжения, колебания напряжения, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжения, отклонение частоты, провал напряжения, импульс напряжения, а также временное перенапряжение. Снижение же качества электроэнергии может привести к таким последствиям: увеличение потерь активной мощности и электроэнергии, сокращение срока службы электрооборудования и преждевременный выход его из строя, нарушение нормального хода технологического процесса производства потребителей, что приводит к снижению качества производимой продукции и к увеличению энергозатрат на производство и др.

С другой стороны, темпы технического перевооружения в нашей стране с 90-х годов прошлого столетия упали примерно в два раза, в результате чего сейчас износ сетей составляет около 48 %, в том числе подстанционного оборудования – 70 %, линий электропередачи (ЛЭП) – 40 %. Причем заметна тенденция: чем ниже напряжение сетей, тем в большей степени они изношены. Эта проблема особенно остра для распределительных сетей. По данным министерства энергетики Украины в настоящее время износ распределительного комплекса достигает примерно 66 % [1, 4, 5]. Поскольку существующие электрические сети обеспечивают комплексное централизованное электроснабжение потребителей всех ведомств, расположенных в зоне их действия, то стабильный рост электропотребления и ужесточения режимов использования электроэнергии приводит к изменению расчетных

нагрузок в различных элементах распределительных электрических сетей и трансформаторных подстанций. Следствием этого являются неизбежные перегрузки и остро встает вопрос о необходимости модернизации существующих электрических сетей. Старееющее оборудование существующих подстанций является причиной значительных потерь при передаче электроэнергии (рис. 1). В принципе, если говорить о высоковольтных ЛЭП, то здесь наши показатели соответствуют показателям работы магистральных электрических сетей в странах Западной Европы и США: в 2005 году потери составили 2,9%.

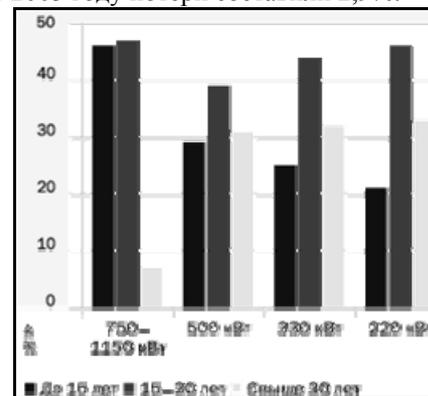


Рис. 1. Возрастная структура ЛЭП различных классов напряжения

Авторами [1], в которой представлена ретроспективная оценка развития мировой энергетики в XX веке и развитие электро- и теплоэнергетики в XXI веке, отмечается, что состояние украинских сетей из года в год ухудшается, а это приводит к аварийным ситуациям на уровне отдельных областей, значительного роста технологических затрат при транспортировке электроэнергии. Отсутствие достаточного финансирования ремонтных работ, меры по модернизации и реконструкции электрических сетей и подстанций может привести к системной аварии в областных энергетических системах. Гораздо хуже дело обстоит с потерями в распределительных сетях, доставляющих электроэнергию конечному потребителю. По оценке аналитиков ИК "Финам", "...наиболее значительные потери электроэнергии при передаче (в

удельных долей) возникают при трансформации ее в низкое напряжение и передаче по низковольтным распределительным сетям. Таким образом, чем больше конечных пользователей с низкими нагрузками, тем более разветвленной является сеть, тем более высоки издержки на поддержание ее в рабочем состоянии и тем выше потери электроэнергии при трансформации напряжения". Нормой потерь в "розничных" сетях в разных странах считается 6-10 % от передаваемого объема. В Украине эта цифра, по оценкам ИК "Финан", составляет 20 % и выше [4-6].

Анализ влияния работы оборудования подстанций (ПС) на качество поставляемой потребителям электроэнергии показал, что основными причинами аварийных ситуаций являются устаревшее оборудование, ненадежная работа самого оборудования из-за

технических отказов и некорректной работы обслуживающего персонала.

Сравнение различных параметров оборудования отображает в каждом конкретном случае эффективность работы подстанции в целом и каждого конкретного аппарата в отдельности. В табл. 1 приведены свойства электрической энергии, показатели, их характеризующие, и наиболее вероятные причины, а точнее, виновники ухудшения качества электроэнергии (КЭ) [3]. Значительная энергоёмкость производства с особой жестокостью диктует необходимость оптимизации режимов электропотребления. В условиях дефицита энергетических ресурсов, динамики роста стоимости электроэнергии, актуальна проблема энергосберегающих технологий транспортировки, потребления электроэнергии.

Таблица 1

Показатели КЭ и наиболее вероятные причины ухудшения их качества

Свойства электрической энергии	Показатель КЭ	Наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ
Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения	Энергоснабжающая организация
Колебания напряжения	Размах изменения напряжения Доза фликера	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения коэффициент n -ой гар-	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты	Энергоснабжающая организация
Провал напряжения	Длительность провала напряжения	Энергоснабжающая организация
Импульс напряжения	Импульсное напряжение	Энергоснабжающая организация
Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения	Энергоснабжающая организация

На наш взгляд, одним из методов уменьшения и предупреждения аварийных ситуаций на работающих станциях и подстанциях самых разных мощностей является построение экспертных систем для анализа их работы. Такие системы, построенные на основе нечеткой логики, являются расчетным инструментом и на сегодняшний день наиболее актуальны в решении многих классов важных задач, в которых анализируемые данные, цели и ограничения являются слишком сложными или плохо определенными для того, чтобы допустить точный математический анализ и описание. Один из прикладных пакетов системы MATLAB пакет нечеткой логики FUZZY LOGIC TOOLBOX [2], относящийся к теории размытых или нечетких множеств, позволяет конструировать так называемые нечеткие экспертные и/или управляющие системы. Основные возможности пакета: построение систем нечеткого вывода (экспертных систем, регуляторов, аппроксиматоров зависимостей); построение адаптивных нечетких систем (гибридных нейронных сетей); интерактивное динамическое моделирование в Simulink. При разработке моделей исследования пока-

зателей качества поставляемой электроэнергии авторы исходили из широкого спектра применения этого пакета: от управления процессом отправления и остановки поездов метро, управления грузовыми лифтами и доменной печью до моделирования работы стиральных машин и пылесосов.

При этом нечеткие системы позволяют повысить качество продукции при уменьшении ресурсо- и энергозатрат и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию мешающих факторов по сравнению с традиционными системами автоматического управления.

Поэтому для моделирования и исследования процессов влияния главного оборудования ПС на конечное качество электроэнергии (модель № 1) и параметров качества электроэнергии на потребителей (модель № 2) был использован именно пакет FUZZY LOGIC TOOLBOX [2]. К тому же очень важно, что математический пакет Matlab позволяет делать экспертную систему очень гибкой в зависимости от вида оборудования и показателей качества, а точнее математических функций, которые их описывают.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЛАВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (В СИСТЕМЕ MATLAB)

Построение экспертной системы начинается с анализа поставленной задачи, в нашем случае рассмотрено исследование влияния главного оборудования ОРУ-150 кВ (ПС 150/35/6 кВ "Богдановская" г. Орджоникидзе Днепропетровской области с мощностью трансформатора 63000 кВА) на качество электроэнергии.

Модель представляет собой совокупность входных и выходных блоков с параметрами, связанными между собой определенным набором правил, которые определяют зависимости между входными и выходными переменными (рис. 2) с двумя типами алгоритмов вывода результатов – Mamdani и Sugeno, которые предлагает Пакет Fuzzy Logic Toolbox. Для первой модели использовался алгоритм Sugeno [2].

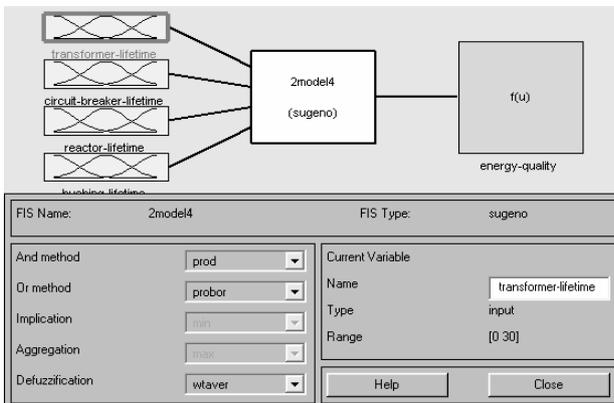


Рис. 2. Модель анализа влияния оборудования подстанции на КЭ

Входными переменными для модели выбирают сроки службы основного оборудования ПС – трансформаторов, выключателей, реакторов и вводов, указанные в двух категориях: короткий и долгий сроки службы. Выходная переменная в данной модели – это качество электроэнергии, указанное в трех категориях – недопустимая, средняя и допустимая.

Следующим важным шагом в создании модели является выбор типа функций принадлежности. Поскольку оценка надежности электротехнических систем ведется в таких показателях, как вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и тому подобное, в данной модели была выбрана z -функция, так как ее вид максимально похож на функцию распределения Вейбула, которая, в свою очередь, отражает зависимость времени t от функции надежности $P(t)$ (рис. 3). А в данной модели как раз и была исследована зависимость влияния срока службы оборудования (в годах) на качество электроэнергии (в относительных единицах).

Важным этапом при создании модели является определение и написание правил, связывающих входные и выходные параметры. Правила базируются на огромном опыте проектирования и статистических данных эксплуатации различного главного оборудования станций и подстанций из различных источников. На этом построение экспертной системы закончено. Это так называемый этап обучения модели, на

основе которого система в последствии будет делать определенные прогнозы и выдавать конечный результат. На этом построение экспертной системы закончено. Результатом предлагаемой модели являются окно просмотра правил (рис. 4) и графический вид зависимости выходной переменной от входных (поверхность), представленный на рис. 5.

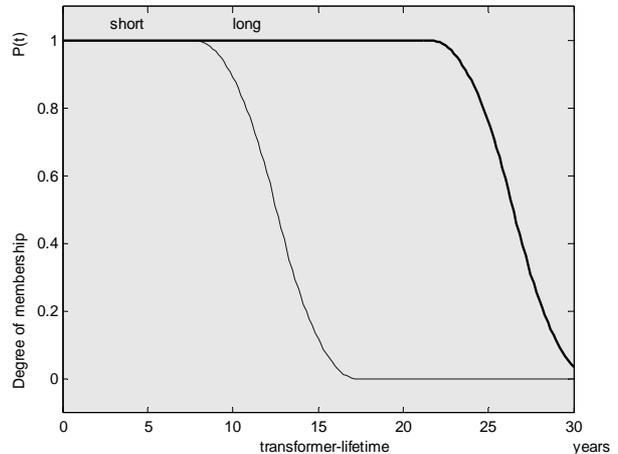


Рис.3. График определения срока службы трансформатора по z -функции принадлежности

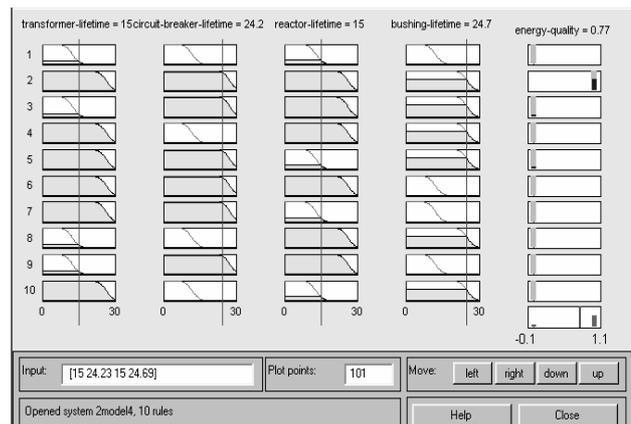


Рис. 4. Окно просмотра правил, прописанных для модели анализа влияния оборудования подстанции на КЭ

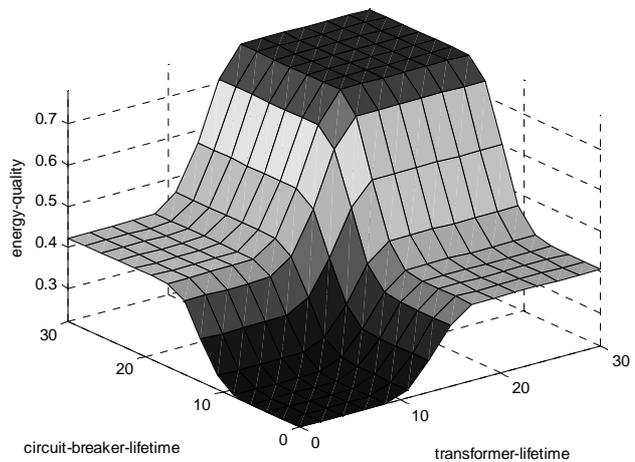


Рис.5. Зависимость ухудшения КЭ (выходная переменная) от сроков службы оборудования подстанций (входные переменные). Исследованы влияния трансформатора и выключателя подстанции 150/35/6 кВ "Богдановская" г. Орджоникидзе Днепропетровской обл.

Проверяя систему в действии, т.е. меняя в окне правил срок службы различного оборудования каждого отдельно или всех вместе, можно увидеть, что, действительно, с увеличением срока службы оборудования уменьшается и показатели качества электроэнергии. Подтверждением отмеченной зависимости выходной переменной от входных может служить вид поверхности отклика (рис. 5).

Таким образом, спроектированная модель может быть многократно как самостоятельный источник анализа качества оборудования или включена в комплекс с другими алгоритмами.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Параметры показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и их влияние на потребителей сведены в модели № 2, в которой в качестве алгоритма вывода использован алгоритм Mamdani [2]. Представленная модель представляет собой совокупность четырех входных и четырех выходных блоков с параметрами, связанными между собой набором правил (рис. 6). Входными переменными являются такие параметры качества электроэнергии как: несимметрия, колебания, несинусоидальность и отклонение напряжения, указанные в двух категориях – нормально допустимые и предельные значения. Выходными переменными и их категориями являются: срок службы (сниженный и нормальный), суммарные потери (допустимые и повышенные), короткие замыкания (допустимые и учащенные) и эффективность работы (пониженная и нормальная).

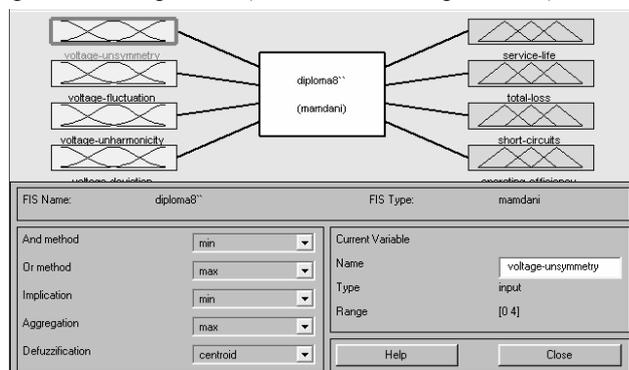


Рис.6. Модель анализа влияния ПКЭ на потребителей

Типом функций принадлежности в данной модели были приняты функции Гаусса, так как они максимально точно, на наш взгляд, передадут зависимости выходных параметров от входных (рис. 7).

Следующим этапом аналогично первой части модели является прописывание правил, связывающих входные и выходные параметры (рис. 8). Это этап обучения созданной модели, на основе которого система сможет выдавать конечный результат. На этом построение экспертной системы в целом закончен. Результатом разработанной модели являются окно просмотра правил (рис. 9) и графический вид зависимости выходной переменной от входных (поверхность), представленный на рис. 10. Проверяя систему в действии, меняя в окне правил значения ПКЭ каждого в отдельности и всех вместе, увидим, как, действительно, каждый ПКЭ влияет на конкретный параметр потребите-

лей и на всю систему в целом. Подтверждением отмеченной зависимости выходной переменной от входных может служить вид поверхности отклика (рис. 10).

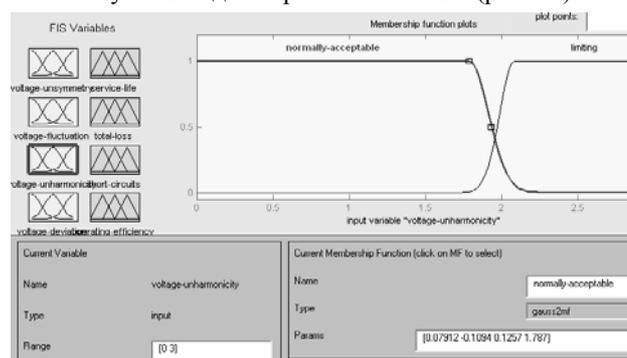


Рис. 7. Входная переменная модели анализа влияния ПКЭ на потребителей

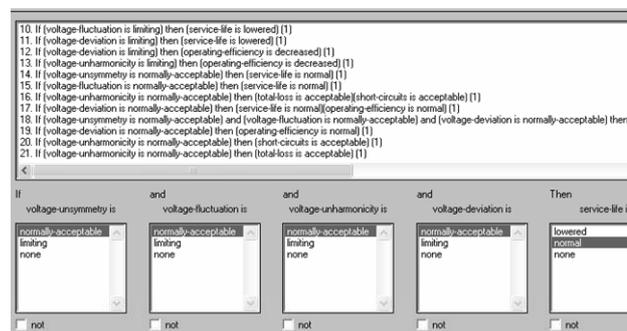


Рис. 8. Правила проектируемой модели анализа влияния ПКЭ на потребителей

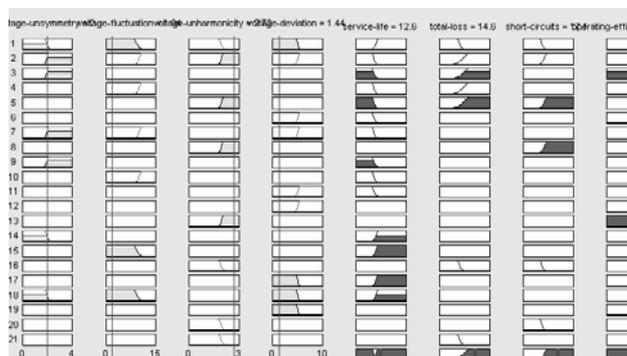


Рис. 9. Окно просмотра правил, прописанных для модели анализа влияния оборудования подстанции на КЭ

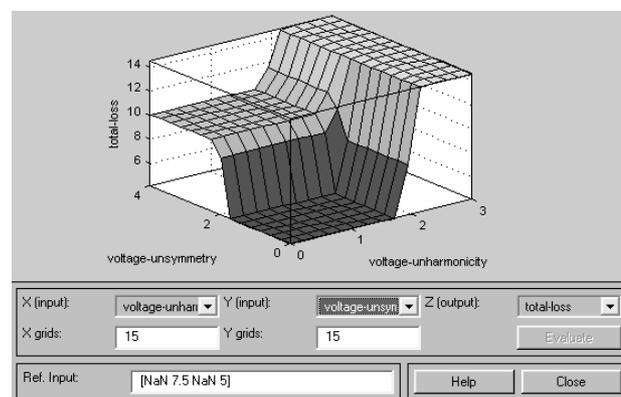


Рис. 10. Зависимость суммарных потерь электроэнергии (выходная переменная) от ПКЭ несинусоидальности и несимметрии (входные переменные)

Таким образом, предлагаемая экспертная система позволяет оценить степень влияния одного из показателей качества электроэнергии отдельно, а также всего комплекса показателей в целом на оборудование-потребитель электроэнергии. Имея результаты расчетов при различных вариантах исходных данных, можно сделать вывод о том, каким образом тот или иной ПКЭ, в конечном итоге, оказывает влияние на эффективность работы оборудования в целом.

Первая модель позволяет оценить влияние каждого конкретного аппарата на качество поставляемой электроэнергии в целом, а вторая – влияние каждого конкретного показателя качества на параметры самого оборудования. В целом можно представить систему из трех блоков. Первый состоит из оборудования распределительного устройства, на которое поступает электроэнергия от генерирующего устройства. Это оборудование определенным образом влияет на показатели качества электроэнергии, которые являются исходными при расчетах во втором блоке. Затем эта трансформированная электроэнергия передается потребителям – третий блок, определенным образом уже влияя на оборудование-потребитель электроэнергии. Таким образом, этот комплекс моделей охватывает весь процесс передачи электроэнергии от генерирующего устройства к потребителю через распределительные устройства.

ВЫВОДЫ

Предложенный комплекс моделей позволяет анализировать влияние физического состояния главного оборудования подстанций, их режимов работы и неравномерности нагрузок в различных режимах работы, что позволяет прогнозировать и минимизировать последствия аварийных ситуаций на подстанциях, находящихся в эксплуатации. К тому же при плановой модернизации промышленных подстанций и определенной дороговизне главного оборудования такая комплексная модель позволит принять компромиссное решение о первоочередности замены устаревшего оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетика світу та України. Цифри та факти. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с.
2. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480с.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. <http://www.abb.ru> – Концерн АБВ.
5. <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2003-4>.
6. <http://www.zzva.com>.

Поступила 09.10.2009

*Жорняк Людмила Борисовна, к.т.н., доц.,
Осинская Валентина Ивановна,
Ерж Татьяна Анатольевна,
Баранник Станислав Олегович*
Запорожский национальный технический университет
Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64
тел.(061) 228-16-10, e-mail:zporoton@zntu.edu.ua

L.B. Zhorniak, V.I. Osinskaja, T.A. Ierzh, S.O. Barannik

Investigation of simulation methods for electrical energy quality improvement in power consumers supply systems.

Problems of electrical energy quality improvement in power consumers supply systems are studied. Action of the main equipment in power stations and substation on delivered power quality, as well as influence of the power quality ratings on end power consumers is analyzed with a MATLAB expert system (Fuzzy Logic Toolbox).

Key words – power quality rating, main equipment, power substation, expert system, service life, input parameter, output parameter.