

УДК: 621.316.72, 621.311

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.Л. Руцков

Воронежский государственный технический университет
Россия, 394063, Воронеж, Остужева, 1
E-mail: alex_8_90@mail.ru

Е.В. Сидоренко

НП Корпорация АК ЭСКМ
Россия, 396073, Нововоронеж, Первомайская 2.
E-mail: Sidorenko.eskm@mail.ru

А.В. Бурковский

Воронежский государственный технический университет
Россия, 394066, Воронеж, Московский проспект, 179
E-mail: fesu@vorstu.ru

Ключевые слова: повышение энергоэффективности, оптимизация систем энергоснабжения, имитационное моделирование, распределенные объекты, нечеткие нейронные сети, адаптивные системы управления.

Аннотация: В данном докладе рассматриваются вопросы оптимизации объектов трансформации электроэнергии посредством использования нечетких нейронных сетей, а также перспективы перехода к реализации активных систем управления в системах электроснабжения на основе изложенных методов регулирования.

Ключевыми объектами сегмента транспорта перетоков мощности в электроэнергетических системах (ЭЭС) являются подстанции (ПС) 110-220 кВ переменного тока. От оптимальности функционирования этих элементов зависит энергоэффективность всего комплекса перераспределения и потребления энергии, что обусловлено характером их работы (промежуточное звено между системообразующими и распределительными ПС). Поэтому, как показано в ряде источников [1-3], данные объекты являются первостепенными местами для реализации концепции SMART GRID (FACTS – применительно к системам переменного тока).

Основным показателем в нормальном режиме, по которому целесообразно оценивать энергоэффективность объектов транспорта перетоков мощности является величина потерь активной мощности:

$$(1) \quad \Delta P_{\Sigma} \approx \Delta P_{\text{нагр.}} + \Delta P_{\text{усл.пост.}} + \Delta P_{\text{кор.}}$$

где ΔP_{Σ} – суммарные потери активной мощности; $\Delta P_{\text{нагр.}}$ – нагрузочные потери активной мощности; $\Delta P_{\text{усл.пост.}}$ – условно-постоянные потери активной мощности (за исключением потерь на корону); $\Delta P_{\text{кор.}}$ – потери активной мощности на корону [4].

В свою очередь:

$$(2) \quad \Delta P_{\text{нагр.}\%} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right)^2} - 1 = \frac{S^2}{U^2} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right)^2} - 1 \right] R_{\Sigma},$$

$$(3) \quad \Delta P_{\text{усл.пост.}\%} = \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right)^2 - 1 = \Delta P_{xx} \cdot \sum_{i=1}^m T_{pi} \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^2,$$

$$(4) \quad \Delta P_{\text{корр.}\%} = 6,88 \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right)^2 - 5,88 \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right) - 1 = \Delta p_{\text{кор}} \cdot L \cdot k_{U_{\text{кор}}},$$

где $\Delta U_{\%}$ – изменение величины питающего напряжения в процентном выражении; S – величина полной мощности, протекающей через элементы транспорта; U – текущее значение напряжения питания; R_{Σ} – эквивалентное активное сопротивление элементов транспорта перетоков мощности; ΔP_{xx} – мощность холостого хода трансформаторов; T_{pi} – число часов работы трансформатора в i -м режиме; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение работы трансформатора; $\Delta p_{\text{кор}}$ – средние удельные потери на корону; L – протяженность линии; $k_{U_{\text{кор}}}$ – коэффициент потерь на корону, равный:

$$(5) \quad k_{U_{\text{кор}}} = 6,88 \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^2 - 5,88 \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right).$$

С учетом структуры технических потерь доля, приходящаяся на нагрузочные потери в региональных ЭЭС значительно больше доли условно-постоянных потерь, поэтому в целях уменьшения величины ΔP_{Σ} стремятся поддерживать напряжение на элементах транспорта перетоков мощности на предельно допустимом уровне [4]. Однако, при этом не учитываются реальные статические характеристики нагрузки (СХН) узлов энергопотребления. Оптимизация ЭЭС с учетом СХН значительно усложняется, и в общем случае, решается посредством методов на основе алгоритмов Лагранжа или Ньютона-Рафсона.

С учетом вышеизложенного, модель оптимизации по критерию минимума потерь мощности в распределительных элементах ЭЭС в этом случае предлагается реализовать в виде следующей целевой функции:

$$(6) \quad F_j = \sum_{i=1}^k W_i(P_0) = \\ = \sum_{i=1}^k \left[\frac{(\sqrt{P_i(U)^2 + Q_i(U)^2}) \cdot R_{\Sigma i}}{U_i^2} \cdot \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta U_{\%i}}{100}\right)^2} - 1 \right) + \Delta P_{xxi} \cdot T_{pi} \cdot \left(\frac{U_i}{U_{\text{ном}i}}\right)^2 + \Delta p_{\text{кор}i} \cdot L_i \cdot k_{U_{\text{кор}i}} \right] \rightarrow$$

min,

где $W(P_0)$ – величина потерь активной мощности в элементах ЭЭС.

Рассмотрим, в качестве типового технологического объекта, функционирование ПС 220 кВ «Южная» в нормальном режиме, находящуюся в зоне ответственности Воронежского РДУ.

Ее основными исполнительными элементами, обеспечивающими передачу перетоков мощности являются 3 автотрансформатора: АТ-1-200, АТ-2-135, АТ-3-135.

Основными техническими средствами регулирования режимов данной подстанции являются:

- устройство РПН АТ-1;
- устройства ВДТ АТ-2-135, АТ-3-135;
- батареи статических конденсаторов БСК-110-1, БСК-110-2.

Из анализа данных по режимным дням рассматриваемого объекта за период с 2012 по 2016 года следует, что среднее значение $\cos \varphi$ в часы минимума составляет 0,438-0,81 Эти данные, в соответствии с нормативными критериями (Приказом Минпромэнерго от 23 июня 2015 г. № 380), свидетельствуют о недостаточной степени комплексной энергоэффективности (как по стороне 220, так и по стороне 110 кВ) данной ПС.

Как следует из оценки полученных данных, основным вопросом, требующим решения применительно к нормальному режиму функционирования данного класса объектов, является регулирование уровня напряжения автотрансформаторов.

В качестве альтернативной СУ была разработана модель на базе нечеткого нейронного регулятора (ННР) [2,3], управляющего автотрансформаторным оборудованием.

Результат оценки интегрального показателя технологического процесса преобразования и потребления энергоресурсов на примере АТ-1 ПС 220 кВ «Южная» приведен на рис.1 совместно для случаев существующего варианта регулирования данного оборудования (учитываемых значений СХН нагрузки) и применения нечеткого регулятора. Аналогичная ситуация наблюдается также на АТ-2,3.

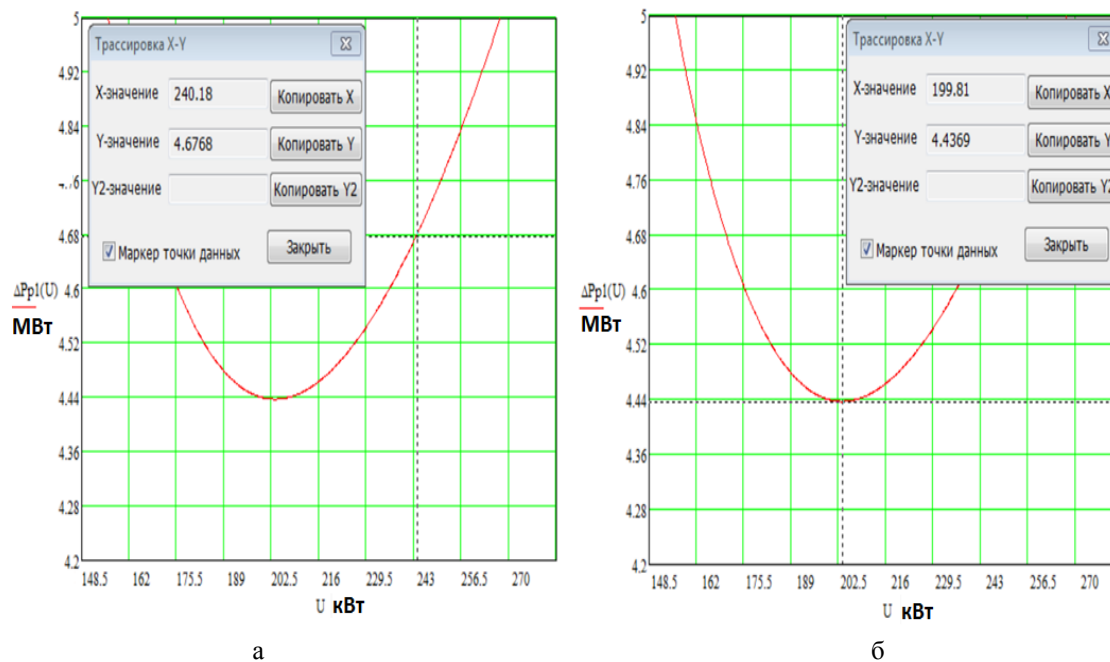


Рис. 1. Регулирование по показателю минимума потерь активной мощности по группе АТ-1 ПС 220 кВ «Южная»: а – существующий вариант; б – с применением ННР.

Анализ рис. 1, и данных, полученных для АТ-2,3, позволяет сделать следующие выводы:

- используемый алгоритм оптимизации оборудования регулирования локального технологического объекта АСДУЭ (ПС 220 кВ «Южная») слабо учитывает реальные СХН нагрузки, что является причиной неоптимального значения величины потерь активной мощности;

- применение нечеткого регулятора в СУ автотрансформатора и вольтодобавочного устройства позволяет снизить уровень напряжения (посредством более точного учета СХН), а, следовательно, приблизить величину потерь активной мощности в данном узле энергопотребления к оптимальному значению;

- величина снижения потерь мощности при использовании нечеткого регулятора для оборудования ПС 220 кВ «Южная» (АТ-1,2,3) составляет 0,439 МВт (4,38%) – относительно существующего варианта (10,0063 МВт); при этом значения напряжения питания остается в нормативных границах, предусмотренных ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия...» [5].

Отметим, что в действующих ЭЭС на настоящий момент уделяется недостаточное внимание анализу и последующему использованию полученных результатов в части неопределенных и слабоформализуемых факторов: циклических колебаний потребитель-

ской нагрузки; изменения климатических и экономических факторов; состояния элементов распределенных объектов ЭЭС. При этом, основной упор делается на решение вопросов локальной оптимизации функционирования отдельных элементов систем энергораспределения при низком учете взаимодействия смежных структур передачи и потребления, что является причиной чрезмерной энергоемкости отечественного энергетического комплекса.

Решение данной задачи, в первую очередь, заключается в планомерном внедрении концепции адаптивных СУ энергораспределения применительно к распределительным объектам региональной системы на базе концепции Smart Grid. Эффективность применения нечетких нейронных регуляторов, подтвержденная этапами научно-исследовательских изысканий [3, 5], позволяет рекомендовать их применение в рамках НИОКР с параллельным внедрением в рамках отмеченного инновационного преобразования отрасли.

Предлагаемый метод оптимизации позволит существенно снизить потери активной мощности при реализации процесса передачи энергоресурсов, что, в свою очередь, позволит планомерно и дифференцировано реализовать программу развития ЭЭС, в частности, инициативу ПАО «Россети» «Цифровизация 2030».

Список литературы

1. Гамм А.З. Герасимов Л.Н., Голуб И.И. и др. Оценивание состояния в электроэнергетике. М.: Наука, 1983.
2. Крысанов В.Н., Руцков А.Л., Мязин Д.С. Оптимизация параметров цикла диффузии свеклосахарного производства с применением нейронечетких принципов // Электротехнические комплексы и системы управления. 2015. № 2. С. 65-70.
3. Крысанов В.Н., Гагаринов Н.В., Руцков А.Л. Повышение эффективности управления параметрами подстанции 220 кВ // Энергобезопасность и энергосбережение. 2015. № 1 (61). С. 48-54.
4. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А., Паринов И.А., Туркина О.В. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. М., 2006. 168 с.
5. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.