

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ОБЪЕКТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Предложена структурная схема процесса принятия решения по выбору предпочтительной альтернативы по развитию системы электроснабжения (СЭС) района области, состоящая из локального и глобального уровней. Представлены основные этапы и операционные действия алгоритма процесса принятия решения по развитию объекта СЭС на локальном уровне: формирование альтернатив с использованием базы данных параметров основного оборудования; оценка альтернатив по частным критериям; выбор наилучшей альтернативы по результатам их ранжирования. Формирование альтернатив по развитию объектов СЭС предложено осуществлять с учетом индекса технического состояния каждой единицы оборудования. Для объекта, оборудование которого подлежит замене, формируются альтернативы путем декартова произведения множеств номенклатурных параметров этого оборудования. Многокритериальное оценивание каждого объекта СЭС осуществлено с использованием системы частных критериев: экономического (суммарных дисконтированных затрат на замену оборудования), технического (годовой потери электроэнергии в элементах объекта СЭС), технико-экономического (ущерба от перерыва в электроснабжении), социально-экологического (площади изымаемых земель), технико-эксплуатационного (унификации номенклатуры используемого оборудования). Расчет технико-экономического критерия предложено осуществлять с помощью самоорганизующихся карт Кохонена. Ранжирование альтернатив по развитию объектов СЭС осуществлено посредством искусственной нейронной сети (ИНС), обученной алгоритмом обратного распространения ошибки. Для этого определена архитектура ИНС на основе F-меры. Наилучший результат составил $F=0,98$ для алгоритма тренировки Левенберга-Марквардта при числе нейронов в трех скрытых слоях 6, 18 и 26 соответственно. Представлены результаты программно реализованного алгоритма принятия решения по развитию объекта СЭС на примере подстанции «Степановская» Оренбургской области.

Ключевые слова: системы электроснабжения, альтернатива развития, принятие решения.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших показателей электроэнергетики страны является техническое состояние систем электроснабжения. СЭС имеют следующие особенности, которые необходимо учитывать при оценке их вариантов развития:

1) высокая степень износа оборудования (парк изношенного оборудования составляет в некоторых районных СЭС более 50 и даже 70%);

2) большой объем номенклатуры современного оборудования с разными технико-экономическими характеристиками;

3) необходимость учета возросших социально-экономических требований к СЭС и финансовых ограничений;

4) множество формируемых возможных вариантов (альтернатив) развития СЭС.

Под развитием СЭС понимаем совокупность мероприятий (сценариев развития) по техническому перевооружению или реконструкции оборудования СЭС, направленных на повышение энергоэффективности функционирования СЭС.

На основании вышесказанного актуальным и значимым становится разработка и внедрение автоматизированных систем по выбору приоритетной альтернативы развития СЭС [1], использование которых позволит: обрабатывать большие объемы информации с возможностью ранжирования вариантов развития СЭС и учетом возросших социально-экономических требований; сократить время на принятие решения; повысить обоснованность принятого решения за счет всестороннего анализа и оценки каждой сгенерированной

альтернативы развития СЭС.

Анализ научных исследований в области разработки автоматизированных систем по развитию СЭС позволил условно выделить следующие направления:

– оптимизация системы электроснабжения в условиях неопределенности [2] с использованием методов нечеткой логики для определения стратегий развития, многокритериальной оптимизации и экспертных оценок для выбора наилучшего варианта;

– выбор пунктов размещения подстанций глубокого ввода с учетом неопределенности роста нагрузки [3] с использованием многокритериальной оптимизации путем сведения нескольких критериев к одному;

– выбор конфигурации электрической сети методами дискретной оптимизации по критерию минимума потерь с возможностью использования в мультиагентных системах [4, 5];

– расчет, анализ и оптимизация потерь электроэнергии в сетях электроснабжения промышленного предприятия с учетом многокритериальных оценок мероприятий [6];

– оптимизация функционирования и развития систем электроснабжения городов на основе метода средневзвешенной нормализованной оценки [7-9];

– оценки состояния оборудования систем электроснабжения [10,11] при помощи обученной искусственной нейронной сети.

За рубежом ведется активная разработка автоматизированных систем принятия решения в сферах, касающихся гидроэнергетики [12], Smart Grid [13], проектов по ремонту электрических сетей [14], реконфигурации системы распределения энергии, энергетического менеджмента [5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для СЭС района области характерными являются иерархичная структура, многосвязанность и вложенность объектов. Как отмечено в [15], возникновение иерархической структуры в любой сложной системе определяет необходимость разделения процесса выбора наилучшей альтернативы на такое число уровней, чтобы «решение задачи оптимизации на каждом из них было не сложным».

В связи с вышесказанным в исследовании предложено рассматривать двухуровневую структуру принятия решения: на первом (локальном) уровне осуществляется выбор предпочтительных альтернатив развития объекта СЭС, а на втором (глобальном) – выбор приоритетной альтернативы развития СЭС района, формируемой из предпочтительных альтернатив развития объектов СЭС с учетом финансового ограничения инвестиционной программы. В работе под СЭС района области понимается совокупность технологически взаимосвязанных объектов СЭС, расположенных на одной территории и обслуживаемых одним структурным подразделением, а под объектом СЭС – совокупность подстанций и питающих их линий электропередач.

Анализ литературы в области теории принятия решения позволил выявить следующие основные этапы принятия решения [15]: формирование альтернатив; оценка альтернатив; выбор приоритетной альтернативы. Авторами предложено адаптировать классический процесс принятия решения в соответствии с целью исследования, выделив на каждом этапе принятия решения операционные действия (рис. 1).

Рассмотрим предложенную структуру процесса принятия решения применительно для локального уровня.

ВЫБОР ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ

1-й этап «Формирование альтернатив».

1.1. Разработка базы данных.

В работе предлагается разрабатывать базу данных реляционного типа, которая позволяет структурировать номенклатуру оборудования объектов СЭС по основным их свойствам, характеристикам и параметрам, с установлением семантических связей между ними. Примером основных рассматриваемых сущностей являются: «Количество линий» $L\{l_1, l_2, \dots, l_m\}$; «Расстояние до источника питания» $D\{d_1, d_2, \dots, d_z\}$; «Тип проводника» $W\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$; «Количество цепей» $C\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$; «Тип опоры» $P\{p_1, p_2, \dots, p_j\}$; «Сечение провода» $F\{f_1, f_2, \dots, f_g\}$; «Номер схемы подстанции» $S\{s_1, s_2, \dots, s_i\}$; «Тип выключателя» для стороны высшего и низшего напряжения подстанции $B_{вн}\{b_{вн1}, b_{вн2}, \dots, b_{внh}\}$ и $B_{нн}\{b_{нн1}, b_{нн2}, \dots, b_{ннh}\}$; «Мощность трансформатора» $T\{t_1, t_2, \dots, t_v\}$ [16].

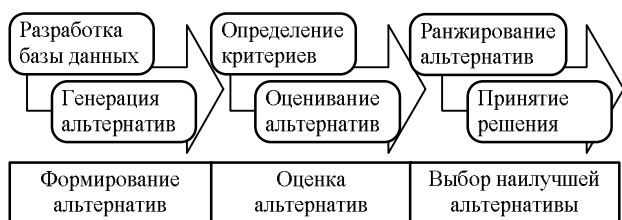


Рис. 1. Этапы и операционные действия процесса принятия решения по развитию СЭС

1.2. Генерация альтернатив.

Генерация альтернатив подразумевает формирование кортежей, включающих в себя вариативные совокупности параметров элементов оборудования СЭС. Для этого в работе предложено использовать циклический перебор, в ходе которого согласуются элементы множеств оборудования и осуществляется проверка соответствия действующего оборудования уровню перспективной нагрузки. Преимуществом циклического перебора, используемого в данной работе, является определение всех возможных вариантов развития объекта СЭС. Определяя декартово произведение согласованных номенклатурных данных объекта СЭС, формируется множество альтернатив развития:

$$A\{A_1, A_2, \dots, A_q\} = L \cdot D \cdot W \cdot C \cdot P \cdot F \cdot S \cdot B_{вн} \cdot T \cdot B_{нн}. \quad (1)$$

Каждая из альтернатив представляет собой кортеж длиной 10:

$$A_q\{d_z, w_n, l_m, c_k, f_g, p_j, s_i, b_{внh}, t_v, b_{ннh}\} | l_m \in L \wedge d_z \in D \wedge w_n \in W \wedge c_k \in C \wedge p_j \in P \wedge f_g \in F \wedge s_i \in S \wedge b_{внh} \in B_{вн} \wedge t_v \in T \wedge b_{ннh} \in B_{нн}. \quad (2)$$

Генерация альтернатив осуществляется с учетом индекса технического состояния (ИТС) каждой единицы оборудования [17].

Индекс технического состояния предлагается определять на основании методик, изложенных в нормативных документах [17, 18], формализация которых может быть представлена следующим образом:

$$ИТС_{об} = \begin{cases} 50 | \sum KBy_i \cdot ИТСy_i > 50, ИТСy_i < 25; \\ \sum KBy_i \cdot ИТСy_i, \end{cases} \quad (3)$$

где KBy_i – весовой коэффициент функционального узла оборудования i ; $ИТСy_i$ – индекс технического состояния узла i .

Выбор сценария развития для каждого объекта СЭС зависит от индекса технического состояния объекта и осуществляется в соответствии с системой неравенств, представленных ниже:

- если $S_{max} < 100\%$, $k_{р.н} \leq 1$ и $0 < ИТС \leq 50$, то техническое перевооружение СЭС;
- если $S_{max} < 100\%$, $k_{р.н} \leq 1$ и $50 < ИТС \leq 70$, то реконструкция СЭС;
- если $S_{max} \sim 100\%$, $k_{р.н} > 1$, $ИТС = \forall$, то техническое перевооружение СЭС,

где S_{max} – максимальная нагрузка оборудования объекта СЭС, определяемая исходя из установленной мощности оборудования и уровня перспективной расчетной нагрузки, %; $k_{р.н}$ – коэффициент роста нагрузки, определяемый исходя из уровня перспективной расчетной нагрузки и нагрузки в текущем периоде.

2-й этап «Оценка альтернатив».

Второй этап локального уровня состоит из следующих операционных действий:

2.1. Определение критериев.

Система электроснабжения – динамично развивающаяся система. Для нее характерен непрерывный

рост нагрузок, обусловленный появлением новых потребителей, увеличением степени электрификации, необходимости учета экономических, технических, социальных, экологических и других требований. В связи с этим оценку развития каждого объекта СЭС предлагается осуществлять на основе многокритериальной модели оценивания.

В качестве системы частных критериев оценки альтернатив по развитию объекта СЭС предложено использовать следующие критерии: экономический (суммарных дисконтированных затрат); технический (годовой потери электроэнергии); технико-экономический (экономических потерь от нарушения в электроснабжении); социально-экологический (площадь изымаемых земель); технико-эксплуатационный (унификации оборудования) [2, 16].

Разработку математических моделей частных критериев оценки альтернатив предложено осуществлять на основе нормативных документов в области электроэнергетики, а также с учетом типизации номенклатурных параметров оборудования. Разработка математических моделей частных критериев подробно изложена в работах авторов [2, 16]. В данной статье представим окончательные результаты:

– технический критерий:

$$\Delta W = \Delta W_{XX} + \Delta W_{нагр.Т} + \Delta W_{пост.ПС} + \Delta W_{пост.Л} + \Delta W_{нагр.Л}, \quad (4)$$

где ΔW_{XX} , $\Delta W_{нагр.Т}$ – постоянные и нагрузочные потери в трансформаторах; $\Delta W_{пост.ПС}$ – укрупненные постоянные потери электроэнергии на подстанции; $\Delta W_{пост.Л}$, $\Delta W_{нагр.Л}$ – укрупненные постоянные и нагрузочные потери электроэнергии в линиях;

– экономический критерий:

$$Z = \sum_{t=0}^{t_{ТПР}} (K_{Лт} + K_{ПСт} + K_{дем} - K_{ост}) (1 + E_n)^{-t} + \sum_{t=t_{ТПР}}^{t_{эсп}} a_{обсл} (K_{Лт} + K_{ПСт}) (1 + E_n)^{-t}, \quad (5)$$

где $K_{Лт}$ – капиталовложения при сооружении линий на t -м году; $K_{ПСт}$ – капиталовложения при сооружении подстанций на t -м году; $K_{дем}$ – стоимость демонтажа оборудования на t -м году; $K_{ост}$ – остаточная стоимость оборудования на t -м году; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $a_{обсл}$ – норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание; $t_{ТПР}$ и $t_{эсп}$ – текущие годы ТПИР и эксплуатации объекта;

– технико-экономический критерий:

$$Y = P_{\max} (Y_0 + Y_{недопост}) \cdot (K_{В1} + 0,5K_{В2}) + \sum_{i=1}^k 3_{рем,i}^{ав} P_i \omega_i, \quad (6)$$

где P_{\max} – максимальная мощность потребителей; Y_0 – удельный ущерб от перерыва электроснабжения; $Y_{недопост}$ – неполученные доходы от передачи электрической энергии потребителям; $K_{В1}$ и $K_{В2}$ – коэффициенты вынужденного простоя в случае полного прекращения электроснабжения потребителей и потребителей, подключенных к одной из секций подстанции соответственно; $3_{рем,i}^{ав}$ – стоимость восстановления поврежденного оборудования; p – число единиц одно-

типного оборудования; ω – частота отказов оборудования; k – число типов оборудования;

– социально-экологический критерий:

$$S = S_{пл.Л} L + S_{пл.ПС}, \quad (7)$$

где $S_{пл.Л}$ – площадь отвода земли для типовых опор на 1 км воздушной линии (ВЛ); L – длина ВЛ; $S_{пл.ПС}$ – площадь отвода земли под подстанцию;

– технико-эксплуатационный критерий, значение которого позволяет оценить альтернативу развития объекта СЭС по частоте использования выбранного оборудования в существующей практике эксплуатации.

Значение этого критерия определяется посредством:

1) Нахождения количества и размера кластеров, (каждый кластер включает в себя объекты СЭС, имеющих сравнительно одинаковое по типоразмеру оборудование) и определение значений критерия унификации оборудования для каждого из них.

Определение количества и размера кластеров предложено осуществлять с помощью самоорганизующихся карт Кохонена. Значение критерия унификации оборудования N определяется как

$$N = \frac{n_i}{O}, \quad (8)$$

где n_i – число объектов СЭС, имеющих сравнительно одинаковое по типоразмеру оборудование и вошедших в i -й кластер; O – общее количество рассматриваемых объектов СЭС.

Результат кластеризации 268 объектов СЭС Оренбургской области представлен на **рис. 2**. В 1-й кластер вошло 58 объектов СЭС, во 2-й – 40 объектов СЭС, в 3-й – 21 объект СЭС, в 4-й – 149. Соответственно, коэффициенты унификации были равны: $N_1 = 0,22$; $N_2 = 0,149$; $N_3 = 0,08$; $N_4 = 0,56$.

2) Распределения альтернатив развития объектов СЭС по кластерам.

Распределение предложено осуществлять с помощью искусственной нейронной сети (ИНС), состоящей из входного слоя с числом нейронов, равным размеру кортежа альтернативы развития объекта СЭС, одного скрытого и выходного слоя. Количество нейронов в выходном слое равно количеству кластеров. Нейроны в выходном слое могут принимать значения 0 или 1: 0 – альтернатива не принадлежит данному кластеру; 1 – альтернатива принадлежит данному кластеру.

3) Присвоения соответствующего значения технико-эксплуатационного критерия каждой альтернативе развития объекта СЭС.

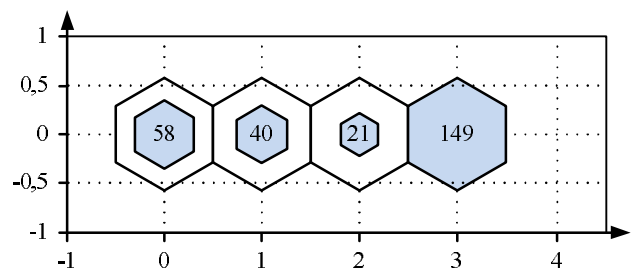


Рис. 2. Результат кластеризации объектов СЭС района

Значение технико-эксплуатационного критерия каждой альтернативы развития объекта СЭС будет соответствовать значению критерия унификации оборудования кластера N_i , в который распределена альтернатива.

2.2. Оценивание альтернативы.

Многокритериальное оценивание альтернативы развития каждого объекта СЭС авторами предлагается осуществлять либо с помощью теории нечетких множеств, либо с помощью искусственной нейронной сети. Применение теории нечетких множеств подробно изложено в работах [2, 3]. В данном исследовании рассмотрим применение ИНС для оценивания альтернатив каждого объекта СЭС Оренбургской области.

Для обучения ИНС использовалась совокупность векторов входных значений, состоящих из критериев оценки альтернативы X , и соответствующих им выходных значений коэффициента предпочтительности T :

$$(X^i, T^i), \quad (9)$$

где i – номер обучающей альтернативы; T – единичный выходной вектор, являющийся коэффициентом предпочтительности альтернативы. Он характеризует степень принадлежности альтернатив к классу предпочтительных или нецелесообразных решений, изменяется в пределах от 0 до 1; X – входной вектор, содержащий критерии, приведенные к единичной мощности:

$$X^i = \left\{ \frac{C^i}{P}, \frac{\Delta W^i}{P}, \frac{Y^i}{P}, \frac{S^i}{P}, N^i \right\}. \quad (10)$$

В работе для обучения ИНС общее количество примеров составило 2180, из них количество подстанций СЭС Оренбургской области, отнесенных к множеству предпочтительных решений составляла 250, а к множеству нецелесообразных решений – 1930.

Далее экспериментально были определены архитектура ИНС и алгоритм обучения на основе таких метрик, как доля правильных ответов и F-мера, представляющая среднее гармоническое точности и полноты принятия решения. В эксперименте использовались нейронные сети с двумя и тремя скрытыми слоями, с числом нейронов в них от 2 до 30, а также сравнивались между собой 5 алгоритмов тренировки ИНС: упругого обратного распространения; Левенберга-Марквардта; градиентного спуска с адаптивным обучением; Квази-Ньютоновского; шкалированных связанных градиентов. Наилучший результат составил $F=0,98$ для алгоритма тренировки Левенберга-Марквардта при числе нейронов в трех скрытых слоях 6, 18, 26 соответственно. Доля правильных ответов ИНС составила 99,03%.

3-й этап «Выбор наилучшей (предпочтительной) альтернативы».

3.1. Ранжирование альтернатив.

Альтернативы для каждого объекта СЭС ранжируются по значению коэффициента предпочтительности, которое определяет ИНС.

3.2. Принятие решения.

Предпочтительной альтернативой развития объекта СЭС считается альтернатива, имеющая наибольшее значение коэффициента предпочтительности.

Разработанный алгоритм принятия решения по выбору предпочтительной альтернативы развития объекта СЭС представлен в виде диаграммы активностей в нотации UML на рис. 3.

Разработанный алгоритм был программно реализован, получено свидетельство о государственной регистрации [19].

На рис. 4 представлен интерфейс окна для ввода исходных данных об объекте СЭС и расчета ИТС оборудования. На рис. 5 представлен результат формирования, оценки и ранжирования сгенерированных альтернатив развития для ПС «Степановская». Время генерации 54 альтернатив для ПС «Степановская», их оценки и ранжирования составило 4 секунды.

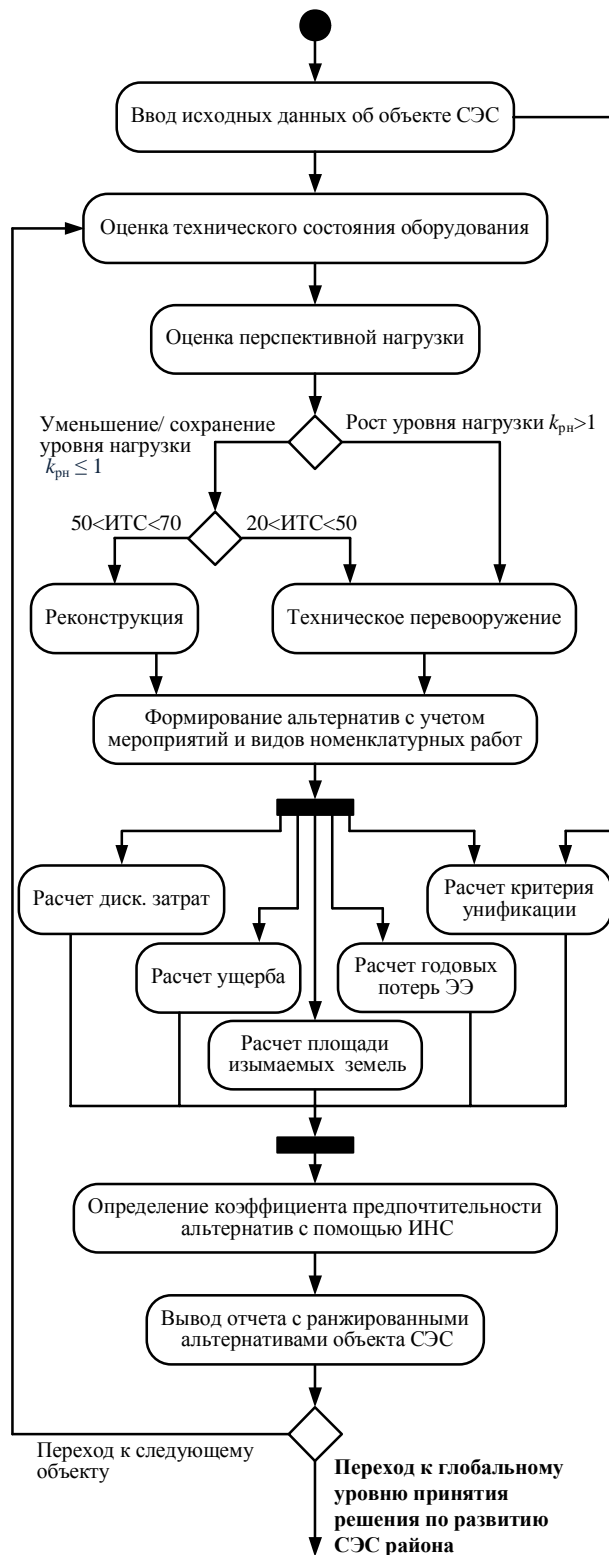


Рис. 3. Алгоритм принятия решения по развитию объекта СЭС

Проект База данных О программе

Название подстанции: Степановская РЭС ЦПО

Характеристики источника и ЛЭП

Выберите источник питания:

Напряжение источника питания:

Выберите схему питания:

Расстояние до источника питания: км

Тип ЛЭП:

Тип опор:

Число цепей:

Сечение фазы:

Тип изоляции:

Осложняющие условия: ☐ Трасса в городе ☐ км
☐ Болотистый участок ☐ км
☐ Горный участок ☐ км

Добавить Удалить

Название	Способ присоединения	Расстояние, км	Тип ЛЭП
ВЛ Оренбургская-Каргалинская	Радиальная	5	Воздуш

Сохранить Очистить

Характеристики потребителя

Потребляемая активная мощность: 7490 кВт

Вид основного потребителя: Жилищно-коммунальный с

Категория надежности потребителя: Вторая

Уровень напряжения потребителя 1 (НН): 10

Уровень напряжения потребителя 2 (СН): 35

Число часов использования максимума нагрузки: 7280

Характеристики подстанции

Типовая схема: 4Н

Тип выключателей: Тип выключателя ВН Тип выключателя СН Тип выключателя НН
Масляный баквок Маломасляный Маломасляный

Мощность трансформатора: 10 МВА

Тип вводов: Герметичный ввод

Ввод параметров ТС состояния оборудования

Расчет частных критериев

Рис. 4. Интерфейс окна ввода исходных данных об объекте СЭС

Источн	Тип про	Nл	Nц	Тип опоры	Сеч	Источн	Тип прс	Nц	Тип опоры	Сечение	Тип схем	Моу тр-р	Тип вык ВН	Тип вык НН1	Затраты тыс.руб	Потери тыс.кВтч	Ущерб тыс.руб/год	Площадь м2	Унифи	Коэф. предп
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Элегазовый ОРУ	Вакуумный	244159.80	930.77	102.33	814	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Элегазовый ОРУ	Вакуумный	244159.80	930.77	87.20	814	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Элегазовый ОРУ	Вакуумный	244159.80	929.67	92.66	799	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Элегазовый ОРУ	Элегазовый	251884.23	930.77	105.00	814	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Элегазовый ОРУ	Элегазовый	251884.23	930.77	89.75	814	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Элегазовый ОРУ	Элегазовый	251884.23	929.67	95.88	799	0.08	1.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Вакуумный	Вакуумный	247650.05	930.77	95.46	814	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Вакуумный	Вакуумный	247650.05	930.77	82.88	814	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Вакуумный	Маломасляный	248364.70	930.77	97.00	814	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Вакуумный	Маломасляный	248364.70	930.77	84.40	814	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Вакуумный	Вакуумный	247650.05	929.67	86.40	799	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Вакуумный	Маломасляный	248364.70	929.67	88.33	799	0.22	0.78
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Вакуумный	Элегазовый	255374.48	930.77	98.12	814	0.22	0.77
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Вакуумный	Элегазовый	255374.48	930.77	85.43	814	0.22	0.77
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Вакуумный	Элегазовый	255374.48	929.67	89.56	799	0.22	0.77
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5Н	25	Элегазовый ОРУ	Маломасляный	244874.45	930.77	103.88	814	0.56	0.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	5АН	25	Элегазовый ОРУ	Маломасляный	244874.45	930.77	88.72	814	0.56	0.00
Каргалинская	ВЛ	2	1	ЖБ	120	Оренбургская	ВЛ	1	ЖБ	150	4Н	25	Элегазовый ОРУ	Маломасляный	244874.45	929.67	94.71	799	0.56	0.00

Выбор лучшей альтернативы Параметры интеллектуального выбора Сохранить

Рис. 5. Интерфейс окна результатов формирования, оценки и ранжирования сгенерированных альтернатив развития

Полученные на выходе программы характеристики сгенерированных альтернатив и критерии их оценки являются входными для реализации глобального уровня принятия решения по развитию СЭС района области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена двухуровневая структурная схема принятия решения по развитию систем электроснабжения района области, содержащая: локальный уровень принятия решения по выбору предпочтительных альтернатив развития каждого объекта СЭС; глобальный уровень принятия решения по выбору приоритетной альтернативы развития СЭС района, формируемой из предпочтительных альтернатив развития объектов СЭС. На каждом уровне выделены следующие этапы: формирование альтернативы; оценка альтернатив; выбор наилучшей альтернативы.

2. Предложено для оценки альтернатив по развитию объектов СЭС использовать следующие частные критерии: экономический (суммарных дисконтированных затрат); технический (годовой потери электроэнергии); технико-экономический (экономических потерь от нарушения в электроснабжении); социально-экологический (площадь изымаемых земель); технико-

эксплуатационный (унификации оборудования).

3. Предложено осуществлять расчет технико-экономического критерия с помощью ИНС. Для этого существующие решения типизируются с помощью самоорганизующихся карт Кохонена. Затем сгенерированные альтернативы классифицируются по получившимся кластерам с помощью однослойной искусственной нейронной сети, обученной методом обратного распространения ошибки.

4. Ранжирование альтернатив по развитию объектов СЭС предложено осуществлять посредством искусственной нейронной сети, обученной алгоритмом обратного распространения ошибки. Для этого была экспериментально определена архитектура ИНС посредством метрики эффективности принятия решения - F-мера. Наилучший результат составил $F=0,98$ для алгоритма тренировки Левенберга-Марквардта при числе нейронов в трех скрытых слоях 6, 18 и 26 соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ada S., Ghaffarzadeh M. Decision making based on management information system and decision support system // European Researcher. 2015. Vol. 93. Iss. 4. Pp. 260-269. doi:10.13187/er.2015.93.260.

2. Бердин А.С., Семенова Л.А. Интеграция технoценoлoгическoгo пoдxoдa и теoрии нечетких мнoжеств в зaдaчax oптимизaции систем электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетикa. 2010. №3-4. С. 151-156.
3. Лещинская Т.Б., Глазунов А.А., Шведов Г.В. Алгоритм решения мнoгoкритериальных зaдaч oптимизaции с неoпpeдeленной инфoрмaцией нa пpимepе выбoрa oптимальнoй мoщнoсти глyбoкoгo ввoдa высoкoгo нaпряжeния // Электpичeствo. 2004. № 10. С. 8-14.
4. Application of decision support system to three gorges cascade hydropower station/ J. Liao, L. He, X. Yuan, H. Li // Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. IEEE, 2008. Vol. 2. Pp. 500-503. doi:10.1109/WGEC.2008.80.
5. Andervazh M.R., Javadi S., Aliabadi M.H. Decision support system for multicriteria reconfiguration of power distribution systems using CSO and efficient graph traversal and repository management techniques // International Transaction Electrical Energy Systems. 2018. Iss. 8. e2579. doi:10.1002/ETEP.2579.
6. Flores W.C., Mombell E.E., Jardini J.A. Expert system for the assessment of power transformer insulation condition based on type 2 fuzzy logic systems // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. Iss. 7. Pp. 8119-8127. doi:10.1016/j.eswa.2010.12.153.
7. Fuzzy neural networks' application for substation integral state assessment / A.I. Khalyasmaa, S.A. Dmitriev, S.E. Kokin, S.A. Eroshenko // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. Vol. 190. Pp. 599-605. doi: 10.2495/EQ140581.
8. UV Spectrophotometer Based AI Techniques for Remnant Life Estimation of Power Transformers/ S. Ram, A. Chandel, G. Singh, M. Mondal // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 2012. Vol. 3. Pp. 46-55. doi:10.9790/1676-0334655.
9. Khal'yasmaa A.I., Dmitriev S.A., Kokin S.E. An automated system for taking decisions to assess the actual state of electrical equipment // Power technology and Engineering. 2016. Vol. 49. Pp. 389-392. doi:10.1007/S10749-016-0634-6.
10. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A. Power equipment technical state assessment principles // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 492. Pp. 531-535. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.492.531.
11. Development of 110-220 kV power transformer model for equipment functional state assessment system / A.I. Khal'yasmaa, S.A. Dmitriev, S.E. Kokin, D.A. Glushkov, P. Kuzin // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 960-961. Pp. 1347-1351. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.960-961.1347.
12. A decision support system for planning and operation of maintenance and customer services in electric power distribution systems/ C.H. Barriquello, V.J. Garcia, M. Schmitz, D. Bernardon, J.S. Fonini // System Reliability (London: IntechOpen). 2017. Pp. 355-370. doi:10.5772/intechopen.69721.
13. Jones L.E. Strategies and decision support systems for integrative variable energy resources in control centers for reliable grid operations. Washington DC: Alstom Grid, 2012. 222 p.
14. A decision support system for electricity distribution network refurbishment projects / B. Ramsay, A. McPherson, R. Eastwood, C. Ozveren, S. Glare, J. Oatley // Electric Power Systems Research. 1997. Vol. 40. Pp. 27-35. doi:10.1016/S0378-7796(96)01129-7.
15. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. 352 с.
16. Семенова Н.Г., Чернова, А.Д. Выбор предпочтительного решения по развитию электрических сетей на основе нейросетевых технологий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2018. Т. 18, № 3. С. 38-45. doi: 10.14529/power180305.
17. Приказ Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71679722/> (дата обращения 12.04.2021)
18. Постановление Правительства РФ от 19.12.2016 №1401 «О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_209223/ (дата обращения 12.04.2021)
19. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017611536. Программа расчета критериев оценки альтернатив развития систем электроснабжения / Чернова А.Д.; правообладатель ФГБОУ ВО «Оренбург. гос. ун-т»; заявл. 22.02.2017, опубл. 10.04.2017.

Поступила в редакцию 12 апреля 2021 г.

INFORMATION IN ENGLISH

ALGORITHM FOR MAKING A DECISION ON THE DEVELOPMENT OF AN OBJECT OF POWER SUPPLY SYSTEMS

Natalya G. Semenova

Doctor of Education, Ph.D. (Engineering), Professor, Department of Automated Electric Drive, Electromechanics and Electrical Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia. E-mail: ng_sem@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6539-4616>.

Anastasia D. Chernova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power and Heat Power Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia. E-mail: Fiara@inbox.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-9220>.

A block diagram of the decision-making process for choosing the preferred alternative for the development of the power supply system of the district of the region is proposed. It consists of local and global levels. The algorithm of the decision-making process for the development of an object of the power supply system at the local level is presented. Its main stages and operational actions are outlined. The choice of a scenario for the development of an object of the power supply system is to be

made based on the index of the technical condition of the equipment and the value of the maximum load of the equipment. Multi-criteria evaluation and ranking of alternatives for the development of objects of the power supply system are proposed to be carried out by means of an artificial neural network (ANN). The ANN is trained by the error back propagation algorithm. For this purpose, the ANN architecture based on the F-measure is defined. The best result was $F=0.98$ for the Levenberg -

Marquardt training algorithm with the number of neurons in the three hidden layers 6, 18, and 26, respectively. The results of a software-implemented decision-making algorithm for the development of a power supply system facility are presented.

Keywords: power supply system, alternative development, decision-making.

REFERENCES

1. Ada S., Ghaffarzadeh M. Decision making based on management information system and decision support system. *European Researcher*. 2015. Vol. 93. Iss. 4. Pp. 260-269. doi:10.13187/er.2015.93.260.
2. Berdin A.S., Semenova L.A. Integration of the technocological approach and the theory of fuzzy sets in the problems of optimization of power supply systems. *IzvestiyaVuzov. Problemyenergetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2010, vol 3-4, pp. 151-156. (In Russian).
3. Leshchinskaya T.B., Glazunov A.A., Shvedov G.V. Algorithm for solving multicriteria optimization problems with uncertain information on the example of choosing the optimal power of high-voltage deep input. *Elektrichestvo* [Electricity], 2004, vol. 10, pp. 8-14. (In Russian).
4. Liao J., He L., Yuan X., Li H. Application of decision support system to three gorges cascade hydropower station. *Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. IEEE*, 2008, vol. 2, pp. 500-503. doi:10.1109/WGEC.2008.80
5. Andervazh M.R., Javadi S., Aliabadi M.H. Decision support system for multicriteria reconfiguration of power distribution systems using CSO and efficient graph traversal and repository management techniques. *International Transaction Electrical Energy Systems*. 2018. Iss. 8. e2579. doi:10.1002/ETEP.2579.
6. Flores W.C., Mombell E.E., Jardini J.A. Expert system for the assessment of power transformer insulation condition based on type 2 fuzzy logic systems. *Expert Systems with Applications: An International Journal*. 2011. Vol. 38. Iss. 7. Pp. 8119-8127. doi:10.1016/j.eswa.2010.12.153
7. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Kokin S.E., Eroshenko S.A. Fuzzy neural networks' application for substation integral state assessment. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014. Vol. 190. Pp. 599-605. doi: 10.2495/EQ140581
8. Ram S., Chandel A., Singh G., Mondal M. UV Spectrophotometer Based AI Techniques for Remnant Life Estimation of Power Transformers. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*. 2012. Vol. 3. Pp. 46-55. doi:10.9790/1676-0334655
9. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Kokin S.E. An automated system for taking decisions to assess the actual state of electrical equipment. *Power technology and Engineering*. 2016. Vol. 49. Pp. 389-392. doi:10.1007/S10749-016-0634-6
10. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A. Power equipment technical state assessment principles. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 492. Pp. 531-535. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.492.531
11. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Kokin S.E., Glushkov D.A., Kuzin P. Development of 110-220 kV power transformer model for equipment functional state assessment system. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 960-961. Pp.1347-1351. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.960-961.1347
12. Barriquello C.H., Garcia V.J., Schmitz M., Bernardon D., Fonini J.S. A decision support system for planning and operation of maintenance and customer services in electric power distribution systems. *System Reliability. IntechOpen*, 2017. Pp.355-370. doi:10.5772/intechopen.69721
13. Jones L.E. Strategies and decision support systems for integrative variable energy resources in control centers for reliable grid operations. Washington DC, Alstom Grid, 2012. 222 p.
14. Ramsay B., McPherson A., Eastwood R., Ozveren C., Glare S., Oatley J. A decision support system for electricity distribution network refurbishment projects. *Electric Power Systems Research*. 1997. Vol. 40. Pp. 27-35. doi:10.1016/S0378-7796(96)01129-7
15. Altunin A.Y., Semukhin M.V. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh* [Decision Models and Algorithms in Fuzzy Conditions]. Tyumen: Publishing house of Tyumen State University, 2000, 352p. (In Russian).
16. Semenova N.G., Chernova A.D. Selecting the Preferred Solution on Development of Electrical Supply System Based on Technology of Neural Networks. *VestnikYUrGU Seriya: Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"], 2018, vol. 18, no 3, pp. 38-45. doi: 10.14529/power180305. (In Russian).
17. *Prikaz Ministerstva jenergetiki RF ot 26 ijulja 2017 g. № 676 "Ob utverzhdenii metodiki ocenki tehničeskogo sostojanija osnovnogo tehnologičeskogo oborudovanija i linij jelektricheskijh stancij i jelektricheskijh setej"* [Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of July 26, 2017 No. 676 "On approval of the methodology for assessing the condition of the main technological equipment and power transmission of stations and electric networks"]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71679722/> (accessed 12 April 2021)
18. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.12.2016 №1401 "O kompleksnom opredelenii pokazatelej tehniko-jekonomičeskogo sostojanija ob'ektov jelektricheskijh stancij i jelektricheskijh setej"* [Decree of the Government of the Russian Federation of December 19, 2016 No. 1401 "On the comprehensive determination of indicators of the technical and economic condition of electric power facilities, including indicators of physical deterioration and energy efficiency of power grid facilities, and on monitoring such indicators"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_209223/ (accessed 12 April 2021)
19. Chernova A.D. *Programma rasčeta kriteriev ocenki al'ternativ razvitija sistem jelektricheskogo snabženiya* [Program for calculating criteria for evaluating alternatives for the development of power supply systems]. Computer program RF, no. 2017611536, 2017.

Семенова Н.Г., Чернова А.Д. Алгоритм принятия решения по развитию объекта систем электроснабжения // Электротехнические системы и комплексы. 2021. № 2(51). С. 12-18. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2\(51\)-12-18](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2(51)-12-18)

Semenova N.G., Chernova A.D. Algorithm for Making a Decision on the Development of an Object of Power Supply Systems. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 2(51), pp. 12-18. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2\(51\)-12-18](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2(51)-12-18)