

## ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*В статье проведен анализ действующей методики технико-экономического обоснования проектных решений по перспективному развитию электроэнергетических систем. Показаны потенциальные угрозы, направленные на снижение качества принимаемых проектных решений, среди которых – недостаточная объективность экономических критериев эффективности технических решений, искусственное ограничение пространства поиска на предварительном этапе отбора возможных решений. В статье представлены математические модели и метод формирования и технико-экономического обоснования принятия проектных решений по перспективному развитию электроэнергетических систем на основе математического аппарата генетических алгоритмов. Показано, что предлагаемый подход обеспечивает устойчивую сходимость процесса поиска за приемлемое количество шагов без искусственного ограничения пространства поиска и использования дополнительной экспертной информации о целесообразности возможных проектных решений.*

**Ключевые слова.** Электроэнергетическая система, принятия проектных решений, технико-экономическое обоснование, оптимизация, интеллектуальный поиск, генетический алгоритм

### Введение

Эффективность функционирования систем производства, передачи и распределения электрической энергии во многом определяется конструкторскими решениями, которые были использованы в процессе формирования электрических сетей и систем. В общем случае, задача проектирования развития электроэнергетических систем и электрических сетей состоит в разработке и экономическом обосновании технических решений, обеспечивающих надёжное и качественное энергоснабжение потребителей электрической энергии с учётом всех технических, технологических, экологических, социальных и других ограничений.

При этом суть технико-экономического обоснования конструкторского решения состоит в решении оптимизационной задачи минимизации функции экономической эффективности, например, приведенных дисконтированных затрат, среди возможных альтернативных вариантов проектных решений [1-5]. Следует заметить, что экономические показатели эффективности проектных решений в энергетической области являются объективированными и не обеспечивают в полном объеме всестороннюю оценку альтернативных вариантов конструкторских решений. В первую очередь, это объясняется многофакторностью критериального пространства поиска. Здесь выбор наиболее эффективного варианта развития электроэнергетической системы часто связан с необходимостью учёта взаимоисключающих, а, иногда, и несовместимых факторов [6, 9]. В современных моделях технико-экономического обоснования проектных решений обычно используют косвенные показатели качества, надёжности и экологичности функционирования объектов электрических сетей. Это позволяет реализовать масштабирование различных функциональных показателей и построить функцию приведенных дисконтированных затрат, подлежащую минимизации с целью поиска наиболее эффективного решения [7-9].

Вместе с тем, в современных условиях реформирования рынка электрической энергии Украины, особенно с учётом монополизации энергетического производства, влияния финансово-экономических кризисов банковских систем и ряда других факторов такие показатели не обеспечивают объективную оценки предлагаемых технических решений. Указанные факторы свидетельствуют о существенном недостатке коммерческой свободы субъектов экономической деятельности, несостоятельности применения положений кредитного покрытия, неадекватной конкуренции, неэффективном формировании цен на электрическую энергию, незавершенности структуры контрактов, существенных препятствиях для частных инвесторов, перекрестных субсидиях в оптовых ценах на электроэнергию, практически полном отсутствии рынка вспомогательных услуг.

Помимо того, традиционные методы многомерной оптимизации, используемые в задачах технико-экономического обоснования, являются методами локального поиска, их эффективность существенно зависит от выбора начальной точки поиска, а сами методы накладывают дополнительные ограничения на

свойства целевой функции [13]. Особое внимание следует уделить ещё одному фактору, несущему потенциальную угрозу ухудшения качества проектных решений в энергетической сфере. Дело в том, что решение задачи минимизации функции экономической эффективности на предварительном этапе предполагает генерацию нескольких возможных альтернативных проектных решений. Здесь выбор наиболее эффективного варианта развития электроэнергетической системы зачастую может оказаться ограниченным недостаточным опытом проектировщика или «закостенелостью» его мышления, когда нетиповое решение, обеспечивающее минимум оценочной функции, не будет им обнаружено ещё на предварительном этапе и, следовательно, не будет включено в состав сопоставляемых решений.

Здесь, по мнению авторов, весьма эффективным может оказаться подход к формированию возможных проектных решений, основанный на математическом аппарате генетических алгоритмов.

#### **Основная идея метода**

Задачу принятия проектного решения по выбору оптимального пути развития электроэнергетической системы в общем случае можно представить как задачу поиска оптимального (или приемлемого) решения в многофакторном пространстве состояний. Здесь использование моделей интеллектуального поиска [10] ограничено следующими соображениями. Методы неинформативного (слепого) поиска гарантируют определение оптимального решения поставленной задачи только после полного перебора и сопоставления всех возможных проектных решений. Однако, вследствие высокой размерности многофакторного пространства поиска, использование таких методов часто связано с проблемой комбинаторного взрыва и в реальных условиях проектирования не может быть реализовано. Другая группа эвристических методов базируется на искусственном ограничении пространства поиска и последующем сопоставлении экономической эффективности ограниченного объёма альтернативных проектных решений. Как уже отмечалось выше, «слабым звеном» в использовании эвристических методов поиска является человеческий фактор, когда недостаток практического опыта лица, принимающего проектное решение, приводит к тому, что наиболее эффективное и перспективное решение может быть им отброшено ещё на предварительном этапе искусственного ограничения пространства поиска.

Генетические алгоритмы, предлагаемые авторами для решения проектных задач в многофакторном пространстве поиска [11-15], в значительной мере лишены указанных недостатков. Основная идея предлагаемого подхода состоит в представлении характеристик и свойств возможных проектных решений с помощью двоичного кода и формировании вектора, содержащего бинарные цепочки свойств варианта проектного решения. Очевидно, что такой вектор в определённой мере соответствует упрощённой математической модели генотипа биологического организма, содержащего полную информацию об этом организме. Указанное обстоятельство позволяет применить основные процедуры генетических алгоритмов для формирования и оценивания эффективности возможных проектных решений.

Здесь формируется оценочная функция, определяемая свойствами проектных решений, соответствующая оценке приспособляемости биологического организма к условиям окружающей среды. Формирование возможных проектных решений осуществляется циклически, на основании предыдущих поколений предлагаемых решений, с использованием генетических операций кроссинговера (скрещивания), инверсии и мутации, применяемых случайным образом по стохастическим законам. При этом приоритет при скрещивании имеют проектные решения, характеризующиеся наивысшими значениями оценочной функции эффективности, что гарантирует постепенное улучшение качества решения.

Очевидно, что использование генетических алгоритмов поиска наиболее эффективных и перспективных проектных решений развития электроэнергетических систем гарантирует обнаружение оптимального решения только после выполнения бесконечного количества циклов генетических операций. Однако, как известно, оптимизационные электроэнергетические задачи характеризуются устойчивостью экономических решений [16, 17], когда незначительное отклонение варьируемых параметров от оптимальных значений практически не влияет на значение оценочной функции экономической эффективности предлагаемых решений. Это обстоятельство позволяет использовать конечное число циклов выполнения генетического алгоритма для достижения приемлемого (то есть близкого к оптимальному) проектного решения.

Использование генетических алгоритмов поиска гарантирует рассмотрение разнообразных, часто не типовых решений проектных задач [11-15], что является основным преимуществом предлагаемого авторами подхода. Укажем также еще на некоторые дополнительные положительные свойства методов генетического поиска [13]:

- 1) простота и прозрачность реализации;
- 2) возможность распараллеливания процесса поиска;
- 3) простота кодирования и декодирования информации;
- 4) пониженная вероятность закливания процесса поиска в локальном оптимуме.

Вместе с тем, использование генетических алгоритмов поиска оптимального проектного решения связано со следующими недостатками методов, которые необходимо учитывать в процессе решения практических задач:

- 1) высокая итеративность алгоритмов;
- 2) существенная зависимость эффективности генетического поиска от его параметров;
- 3) высокая вероятность преждевременной сходимости циклического поиска.

#### **Разработка математических моделей метода**

Решение задач принятия проектных решений с использованием аппарата генетических алгоритмов состоит в последовательном выполнении следующих основных процедур [11-15].

1. Определение состава ограничений, определяющих прагматические аспекты функционирования проектируемой технической системы и формирование состава признаков, характеристик и свойств, позволяющих персонифицировать различия между порождаемыми проектными решениями.

2. Определение способа кодирования генетической информации, определяющей характеристики конкретного проектного решения. Здесь каждый атрибут объекта проектирования кодируют битовой бинарной цепочкой (вектором) – хромосомой:

$$h = \frac{x - \min}{(\max - \min)(2^n - 1)},$$

где  $x$  – числовое значение кодируемого параметра объекта проектирования, выраженное в формате с плавающей запятой;  $\min$ ,  $\max$  – минимальное и максимальное значения кодируемого параметра соответственно;  $n$  – длина хромосомы, то есть количество бит бинарной цепочки для хранения атрибутивного параметра.

Объединение всех хромосом, определяющих свойства проектного решения, образует геном, содержащий всю генетическую информацию в целом. Здесь для формирования бинарных цепочек обычно используют код Грея, обеспечивающий единичное расстояние Хэмминга между смежными значениями параметров проектных решений, что гарантирует отсутствие порождения «тупиков» в поисковом процессе [12].

3. Формирование целевой функции, определяющей целесообразность и эффективность порождаемых проектных решений

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m),$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – варьируемые параметры, определяющие конкретное проектное решение (фенотип).

В качестве целевой может быть использована функция приведенных дисконтированных затрат, определяющая экономическую эффективность проектного решения [9], функция суммарных потерь мощности или затрат условного топлива на электростанциях [2, 16] и т. п. Ранее мы отмечали, что принятые в проектной практике экономические критерии эффективности проектных решений являются объективизированными и не отражают в полной мере оценки целесообразности предлагаемого решения. Здесь, по мнению авторов, могут быть использованы иные критерии эффективности проектных решений, моделирующие, например, вербальные оценки качества порождаемых проектных решений и построенные с использованием аппарата нечётной логики [10, 14].

4. Определение состава начальной популяции проектных решений и заполнение случайным образом их генотипов.

5. Определение значений целевой функции эффективности проектных решений текущего поколения, а также среднего значения целевой функции для всей популяции. Здесь же решается вопрос о достижении сходимости генетического алгоритма. Последующие процедуры выполняют в случае отсутствия такой сходимости.

6. Селекция генетического материала, направленная на отбор проектных решений, характеризующихся наивысшими значениями целевой оценочной функции. В результате выполнения операции селекции формируют родительские пары проектных решений. При этом приоритет имеют проектные решения, характеризующиеся наивысшими значениями целевой функции.

7. Реализация операции кроссинговера, которая заключается в скрещивании информационных цепочек генетического материала всех родительских пар и формировании дочерних проектных решений, наследующих характеристики обоих «родителей». Здесь случайным образом определяется тип кроссинговера (одноточечный, двухточечный или многоточечный), определяются точки разрыва геномов и формируется дочерний генотип.

8. Реализация операции мутации, которая заключается в случайном изменении генотипа дочерних элементов, определённых на предыдущем этапе выполнения алгоритма. Здесь случайным образом определяется тип мутации (простая мутация или инверсия). В случае простой мутации случайно определяется ген, меняющий своё бинарное значение на противоположное. Инверсия, в свою очередь,

заключається в случайному визначенні двох точок розриву і «переворачивании» частини геному дочернього елемента між цими точками.

9. Визначення випадковим чином елемента популяції, яке замінить сформований дочірній генотип в наступному поколінні. Тут пріоритет до заміщення мають проектні рішення, характеризуються найменшими значеннями цільової оціночної функції.

Далі управління передають процедурі 5 для виконання наступного кроку генетичного алгоритму і формування нового покоління можливих проектних рішень.

Відзначимо, що розглянутий алгоритм не є єдиним можливим, часто використовують різні його модифікації, наприклад, на етапі виконання селекції, склад батьківських пар можна визначати шляхом відкидання найменш ефективних рішень або методом організації турнірів.

Важливою проблемою, пов'язаною з використанням генетичних алгоритмів в задачах оптимізації проектних рішень розвитку електроенергетических систем є налаштування алгоритму. Тут вибору підлягають такі характеристики алгоритму, як кількість елементів початкової популяції; тривалість життєвого циклу елементів; спосіб формування батьківських пар на кожному етапі роботи алгоритму; визначення ймовірнісних налаштувань операцій кроссингвера і мутацій і т. д.

Рішення задачі налаштування генетичного алгоритму є багаточинною і не має типового однозначного рішення. Так, наприклад, зменшене значення об'єму популяції характеризується недостатнім різноманітністю генотипів і може призвести до передчасної збіжності генетичного алгоритму до локального оптимуму, не відповідного точному рішення задачі. Навпаки, надмірно збільшене кількість елементів популяції часто призводить до неефективних «скрещиванню» перспективних рішень, що ускладнює і суттєво уповільнює збіжність алгоритму.

Подібна ситуація спостерігається і з налаштуванням характеристик мутацій. Основне призначення мутацій тут полягає в забезпеченні достатнього різноманітності генотипів, що дозволяє вивести процес пошуку з локальних оптимумів багаточинного простору. Тому недостатня інтенсивність мутацій не забезпечує необхідного різноманітності генотипів. Навпаки, надмірне захоплення мутаціями при виконанні генетичних алгоритмів може погіршити якісні характеристики породжуваних проектних рішень і суттєво затормозити процес еволюції.

За думкою авторів, для налаштування генетичних алгоритмів пошуку ефективного проектного рішення розвитку електроенергетических систем дуже корисним може виявитися апарат нечіткої логіки, забезпечуючий «тонку» налаштування алгоритму в багатовимірному просторі регулювання [10, 14].

#### Приклад реалізації генетичного алгоритму

Розглянемо застосування генетичного алгоритму на прикладі рішення транспортної задачі забезпечення живлення споживачів певного району. На рис. 1 представлено надлишній варіант електричної мережі, що забезпечує живлення споживачів в пунктах 1, 2 і 3 від електростанції, розташованої в пункті 0. На схемі вказано також навантаження споживачів в мегаваттах і відстані між підстанціями в кілометрах. Рішення задачі полягає в виборі мінімальної оптимальної конфігурації електричної мережі і визначенні перерізів проводів на ділянках схеми.

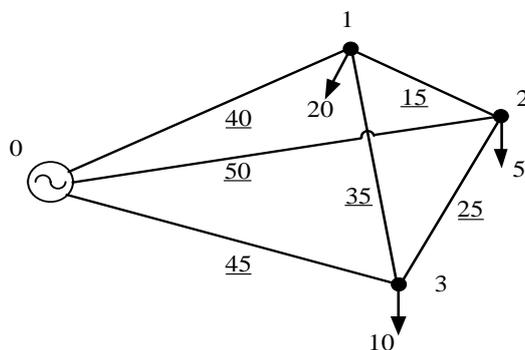


Рис. 1 Надлишній варіант електричної мережі, що підлягає оптимізації

Інформаційна генетична ланка проектуваної електричної мережі складається з шести ділянок – хромосом, кожна з яких несе інформацію про конструктивне виконання відповідної лінії електропередачі. Під конструктивним виконанням лінії будемо розуміти марку і переріз проводів на відповідній ділянці мережі. Як показано в табл. 1 така інформація може бути представлена одним з восьми можливих значень.

Кодировка информационного содержания хромосом

| № п/п | Марка провода | Индекс | Код Грея |
|-------|---------------|--------|----------|
| 1     | –             | 0      | 000      |
| 2     | АС 70/11      | 1      | 001      |
| 3     | АС 95/16      | 2      | 011      |
| 4     | АС 120/19     | 3      | 010      |
| 5     | АС 150/24     | 4      | 110      |
| 6     | АС 185/29     | 5      | 111      |
| 7     | АС 240/32     | 6      | 101      |
| 8     | 2×АС 240/32   | 7      | 100      |

Здесь коду «000» соответствует отсутствие линии электропередач на соответствующем участке между подстанциями. Как следует из табл. 1 для представления генетической информации каждой хромосомы необходимо 3 бита, а для всего генома – 18 бит, что определяет пространство поиска из  $2^{18}$  возможных решений.

Эффективность проектного решения будем оценивать по величине суммарных приведенных дисконтированных затрат на сооружение электрической сети и покрытие потерь мощности на передачу электрической энергии по линиям. Для упрощения задачи и повышения её наглядности, будем пренебрегать издержками на эксплуатацию линии, а также постоянной составляющей потерь. Таким образом, оценочная функция оптимальности предлагаемого решения имеет вид

$$F = \sum_{i=1}^6 Z_{0i} l_i = \sum_{i=1}^6 (K_{0i} E + I_i^2 r_{0i} \tau C) l_i,$$

где  $Z_{0i}$  – погонные значения приведенных дисконтированных затрат;  $K_{0i}$  – погонные значения капиталовложений в строительство линий электропередач;  $E$  – норма дисконта;  $I_i$  – рабочий ток в линии в режиме максимальных нагрузок;  $r_{0i}$  – погонные активные сопротивления линий электропередач;  $\tau$  – время максимальных потерь;  $C$  – тариф на покрытие потерь мощности в электрической сети;  $l_i$  – длина линии электропередач. Тут для каждого возможного конструктивного исполнения участков электрической сети приведенные дисконтированные затраты определяются полиномами:

$$\begin{aligned} Z_{70} &= (27,5 + 0,015 I_p^2) l; & Z_{95} &= (28,5 + 0,011 I_p^2) l; \\ Z_{120} &= (29,5 + 8,78 \cdot 10^{-3} I_p^2) l; & Z_{150} &= (31 + 7,34 \cdot 10^{-3} I_p^2) l; \\ Z_{185} &= (32,5 + 5,72 \cdot 10^{-3} I_p^2) l; & Z_{240} &= (35 + 4,25 \cdot 10^{-3} I_p^2) l; \\ Z_{2 \times 240} &= (50 + 2,12 \cdot 10^{-3} I_p^2) l, \end{aligned}$$

где индексы означают сечение проводов на участках электрической сети.

Для организации генетического поиска с помощью генератора случайных чисел сформируем начальную популяцию, например, из 10 случайных решений:

553614 113331 464064 125075 700375  
751327 424111 354451 656110 532560

Тут использована восьмеричная система для кодировки конструктивного исполнения участков электрической сети в соответствии с данными табл. 1.

Далее организуем циклическое выполнение генетических операций по приведенному выше алгоритму. Эволюционный процесс поиска оптимального решения транспортной задачи представлен на диаграмме рис 2, где показана динамика изменения трёх характеристик наилучшего (min), наихудшего (max) и средневзвешенного (mid).

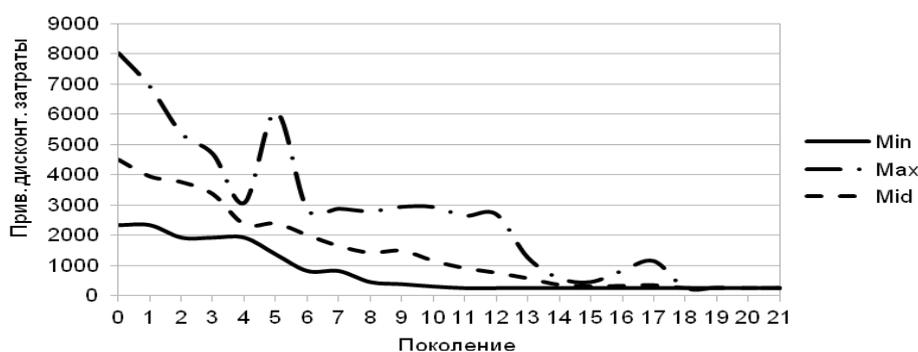


Рис. 2 Диаграмма динамики эволюционного процесса поиска

Как следует из рис. 2 после выполнения 20 итераций генетический алгоритм полностью сошелся к оптимальному решению транспортной задачи, схема электрической сети которого представлена на рис 3.

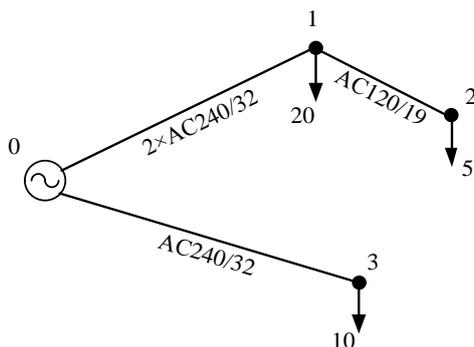


Рис. 3 Оптимальное решение транспортной задачи

Анализ полученного результата показывает, что оптимальное решение транспортной задачи было получено после просмотра менее 200 вариантов сооружения электрической сети, что составляет менее 0,1% пространства поиска. Отметим, что при этом не была задействована никакая дополнительная экспертная информация о целесообразности возможных проектных решений, что свидетельствует о перспективах эффективного использования генетических алгоритмов в практике принятия проектных решений по развитию электроэнергетических систем.

#### Выводы

1. Ситуация, сложившаяся на рынке электрической энергии Украины, характеризуется существенным недостатком коммерческой свободы; несостоятельностью применения положений о кредитном покрытии; неадекватной конкуренцией; неэффективным формированием оптовых цен на электрическую энергию; монополизацией рынка поставщиками электрической энергии; незавершенностью структуры контрактов; препятствиями для частных инвесторов; перекрестными субсидиями в оптовых ценах на электроэнергию; отсутствием рынка вспомогательных услуг.

2. Действующие методики технико-экономического обоснования вариантов развития основных сетей энергосистем Украины являются устаревшими и не соответствуют современным реалиям рыночных отношений.

3. Разработаны математическая модель и алгоритм принятия проектных решений по развитию электроэнергетической системы, базирующийся на аппарате генетических алгоритмов. Предложенный подход обеспечивает рассмотрение всевозможных, особенно нетиповых решений проектных задач, что гарантирует обнаружение наиболее эффективного проектного решения в многофакторном пространстве поиска.

4. Применение генетических алгоритмов оптимизации проектного решения характеризуются высокой эффективностью и лучшими свойствами по сравнению с методами слепого и эвристического поиска, обеспечивающими обнаружение оптимального решения во всем пространстве поиска за приемлемое число шагов.

5. Эффективное использование математического аппарата генетических алгоритмов в задачах принятия проектных решений развития электроэнергетических систем требует решения проблемы настройки параметров алгоритма – объема начальной популяции, продолжительность жизненного цикла порождаемых решений, способа формирования родительских пар, вероятностных характеристик генетических операций и т. п. Для решения такой задачи авторы предполагают использовать аппарат нечеткой логики, обеспечивающий выполнение «тонкой» настройки генетического алгоритма на основе вербальных оценок его функционирования.

#### Список литературы

1. Поспелов Г. Е. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб. пособие для вузов / Г. Е. Поспелов, В. Г. Федин. – Минск: «Вышэйшая школа», 1988. – 308 с. – ISBN 5-339-00015-X.

2. Электрические системы. Электрические сети: Учеб. для электроэнерг. спец. вузов / под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высшая школа, 1998. – 511 с. – ISBN 5-06-001031-7.

3. Балаков Ю. Н. Проектирование схем электроустановок: Учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 288 с. – ISBN 5-903072-17-8.

4. Правила улаштування електроустановок / Мінпаливенерго України – Х.: Видавництво «Форт», 2009, – 704 с

5. Проектування електричних мереж напругою 0,4 - 110 кВ. ГІД 34.20.178:2005: Рекомендації / І.Я. Карпець (виконавці). – Чинні від 01.06.2005 – К. : Об'єднання енергетичних підприємств Галузевої

резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики, 2005. – 43 с. : рис. – (Галузевий інформаційний документ / Міністерство палива та енергетики України).

6. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения: пер. с англ./ Р. Л. Кини, Х. Хайфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с

7. Непомнящий А. В. Учёт надёжности при проектировании энергосистем / А. В. Непомнящий. – М.: Энергия, 1978.

8. Чехов В. И. Экологические аспекты передачи электроэнергии / В. И. Чехов. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 44 с.

9. Сулейманов В. М. Вибір оптимальних схем побудови та режимів електроенергетичних систем на основі багатокритеріального аналізу / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе. – Звіт про НДР УкрНТП № 0209U010893. – Київ, 2009. – 128 с

10. Бондарев В. Н. Искусственный интеллект [Текст]: учеб. пособ. / В. Н. Бондарев, Ф. Г. Аде. - Севастополь : Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2002. - 616 с.: ил. - Библиогр.: с. 605-608 (95 назв.). - ISBN 966-7473-45-7.

11. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. – London: Bradford book edition, 1992 – 211 p. – ISBN 0262082136

12. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с. – ISBN 5-7768-0293-8.

13. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.

14. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: пер. с польского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. – ISBN 5-93517-103-1.

15. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: учебн. пособие / под ред. В. М. Курейчика. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004. – 400 с. – ISBN 5-7509-0067-3

16. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы) [Текст] / В. Г. Холмский. – М.: Высш. шк., 1975. – 280 с.

17. Сулейманов В. М. Електричні мережі та системи: підручн. / В. М. Сулейманов, Т. Л. Кацадзе. – Киев: НТУУ «КПІ», 2008. – 456 с. – ISBN 978-966-622-300-8

УДК 621.311

**Т. Л. Кацадзе**, канд. техн. наук, доцент; **В. М. Сулейманов**, канд. техн. наук, профессор;

**В. А. Баженов**, канд. техн. наук, доцент

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ  
РІШЕНЬ З РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

*У статті проведено аналіз чинної методики техніко-економічного обґрунтування проектних рішень з перспективного розвитку електроенергетичних систем. Показані потенційні загрози, спрямовані на зниження якості прийнятих проектних рішень, серед яких – недостатня об'єктивність економічних критеріїв ефективності технічних рішень, штучне обмеження простору пошуку на попередньому етапі відбору можливих рішень. У статті представлені математичні моделі та метод формування та техніко-економічного обґрунтування проектних рішень з перспективного розвитку електроенергетичних систем на основі математичного апарату генетичних алгоритмів. Показано, що запропонований підхід забезпечує стійку збіжність процесу пошуку за прийнятну кількість кроків без штучного обмеження простору пошуку і використання додаткової експертної інформації щодо доцільності можливих проектних рішень.*

**Ключові слова.** Електроенергетична система, прийняття проектних рішень, оптимізація, техніко-економічне обґрунтування, інтелектуальний пошук, генетичний алгоритм

**T. Katsadze, V. Suleymanov, V. Bazhenov**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

**THE GENETIC ALGORITHMS APPLICATION FOR DECISION MAKING PROJECT OF  
ELECTRIC POWER SYSTEMS DEVELOPMENT**

*The paper analyzes existing technique feasibility of design decisions on long-term development of electric power systems. Showing the potential threats to reduce the quality of the design decisions, among them – the lack of objective economic criteria of efficiency of technical solutions, the artificial restriction of the search space at the preliminary stage of the selection of possible solutions. To solve the problem of formation and selection of the optimal project plan of development of power system is proposed to use the mathematical*

apparatus of genetic algorithms. The main idea is to encode information about characteristics of possible design solutions in the form of binary vector – genome. Next, the application of genetic operations leads to the generation of new design solutions, the quality of which is estimated by target function. The objective function is designed to assess the quality of design solutions, such as by means of economic efficiency criteria. The basic genetic operations - crossover is performed with genotypes of parental pairs of the current set of design decisions. Priority in the formation of parental pairs are design solutions that are characterized by the highest quality assessments. To provide reliable variety of design decisions carried in the evolution of additional genetic operations – mutation and inversion. Performing these operations provide a way out of local optima, which may fall evoltsionny algorithm. The paper presents the mathematical model and method of formation and feasibility making design decisions concerning future development of electric power systems based on mathematical apparatus of genetic algorithms. The functioning of the developed mathematical tools demonstrated for solving the transportation problem nutrition consumers from nodal power plant. It is shown that the proposed approach provides a stable convergence of the search process in a reasonable amount of steps without artificial restrictions of the search space and without use of additional expert information on the feasibility of possible design solutions. The problem of setting a genetic algorithm, that is the choice of the initial population, life expectancy of possible solutions, the probability characteristics of the genetic operations, etc. is considered. To set up a genetic algorithm is proposed to use the mathematical apparatus of fuzzy logic, which provides a definition of the parameters of the algorithm on the basis of verbal estimates.

**Keywords.** Power system, making design decisions, optimization, feasibility study, intelligent search, genetic algorithm

1. Pospelov G. E. Power Systems and Networks. Designing / G. E. Pospelov, V. G. Fedin. – Minsk: «Vyshjeshaja shkola», 1988. – 308 pp. – ISBN 5-339-00015-X (Rus).
2. Power Systems. Electrical Networks / edited by V. A. Venikov, V. A. Stroeve. – Moscow: Vysshaja shkola, 1998. – 511 pp. – ISBN 5-06-001031-7 (Rus).
3. Balakov Ju. N. Electrical Circuit Design / u. N. Balakov, M. Sh. Misrihanov, A. V. Shuntov. – Moscow: Izdatel'skij dom MEI, 2006. – 288 pp. – ISBN 5-903072-17-8 (Rus).
4. Rules for Electrical Installation / Minpalyvenerho of Ukraine – Kharkiv: Vydavnytstvo «Fort», 2009, – 704 pp (Ukr).
5. Design of Power Grids of 0,4 - 110 kV Voltage. HID 34.20.178:2005: Guidelines / I. Ya. Karpets. – Kyiv : Obiednannia enerhetychnykh pidpriemstv Haluzevyi rezervno-investytsiinyi fond rozvytku enerhetyky, 2005. – 43 pp (Ukr).
6. Kini R. L. Decision-Making in Multi-Criteria: Preferences and Substitution / R. L. Kini, H. Hajfa. – Moscow: Radio i svjaz'. – 560 pp (Rus).
7. Nepomnjashhij A. V. Accounting for Reliability in the Power Systems Design / A. V. Nepomnjashhij. – Moscow : Jenerghija, 1978 (Rus).
8. Chehov V. I. Environmental Aspects of Electricity Transmission / V. I. Chehov. – Moscow : Izd-vo MEI, 1991. – 44 pp (Rus).
9. Suleymanov V. M. Choosing of Optimal Schemes and Regimes of Electric Power Systems Based on Multicriterion Analysis / V. M. Suleymanov, V. A. Bazhenov, T. L. Katsadze. – Report GDR UkrNTII № 0209U010893. – Kyiv, 2009. – 128 pp (Ukr).
10. Bondarev V. N. Artificial Intelligence / V. N. Bondarev, F. G. Ade. - Sevastopol' : Izd-vo Sev. NTU, 2002. – 616 pp. – ISBN 966-7473-45-7 (Rus).
11. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. – London: Bradford book edition, 1992 – 211 p. – ISBN 0262082136
12. Voronovskij G. K. Genetic Algorithms, Artificial Neural Networks and the Problem of Virtual Reality / G. K. Voronovskij, K. V. Mahotilo, S. N. Petrashev, S. A. Sergeev. – Har'kov: OSNOVA, 1997. – 112 pp. – ISBN 5-7768-0293-8 (Rus).
13. Subbotin S. O., Oliinyk A. O., Oliinyk O. O. Not iterative, evolutionary and multi-agent methods for synthesis of fuzzy logic and neural network models: Monograph / edited by S. O. Subbotin. — Zaporizhzhia: ZNTU, 2009. — 375 pp (Ukr).
14. Rutkovskaja D. Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems / D. Rutkovskaja, M. Pilin'skij, L. Rutkovskij. – Moscow : Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 pp. – ISBN 5-93517-103-1 (Rus).
15. Gladkov L. A., Kurejchik V. V., Kurejchik V. M. Genetic Algorithms / edited by V. M. Kurejchik. – Rostov-na-Donu: OOO «Rostizdat», 2004. – 400 pp. – ISBN 5-7509-0067-3 (Rus).
16. Holmskij V. G. Calculation and Optimization of Electrical Networks (Special Issues) / V. G. Holmskij. – Moscow : Vyssh. shk., 1975. – 280 pp (Rus).
17. Suleymanov V. M. Electrical networks and Systems / V. M. Suleymanov, T. L. Katsadze. – Kyiv: NTUU «KPI», 2008. – 456 pp. – ISBN 978-966-622-300-8 (Ukr).

Надійшла 25.04.2013

Received 25.04.2013