

Примена алгоритма Сивих Вукова на проблеме у електроенергетици

Дарко Шошић

Енергетика/Катедра за електроенергетске системе
Универзитет у Београду Електротехнички факултет
Београд, Србија
sosic@etf.rs

Др Иван Шкоклјев ред. проф.

Енергетика/Катедра за електроенергетске системе
Универзитет у Београду Електротехнички факултет
Београд, Србија
skokljev@etf.rs

Садржај—Метода сивих вукова представља нову метахеуристичку методу оптимизације. Потреба за испробавањем нових метода оптимизације лежи у чињеници да не постоји универзална метода која даје најбоље резултате за све проблеме. У дерегулисаној електроенергетској систему, од велике је важности налажење оптималних токова снага и вредности расположивог преносног капацитета, због одређивања цене електричне енергије као и решавања загушења у преносним мрежама електроенергетског система. Оба ова проблема се могу решавати применом оптимизационих метода. Стандардни IEEE 30 сабирничког преносног система је послужно за илустрацију поменутих проблема.

Кључне речи—Grey Wolf Optimization; OPF; ATC; nodalne cene; цена трансакције електричне енергије; преносни систем

I. Увод

Са настанком дерегулисаног електроенергетског система, произвођачи и потрошачи су почели да деле заједничку преносну мрежу за размену електричне енергије. У овом окружењу потрошачи теже да набаве што јефтинију електричну енергију, при чему није неопходно да се произвођачи налазе у истој или суседној области у којој се налазе потрошачи. На оваквим тржиштима је могуће снабдевање једне области из више различитих области. Ово за последицу може имати преоптерећење и загушење одређених коридора преносне мреже, што најчешће доводи до прекорачења термалних ограничења елемената, повреда ограничења стабилности као и прекорачење напонских ограничења, што проузрокује драстично смањење сигурности система. Сигурност и економичност су основни захтеви који се намећу операторима преносних система.

Оптимална расподела токова снага и увећање општег добра може се постићи отварањем тржишта електричне енергије и постојањем економичне размене електричне енергије са другим системима. Са друге стране, ако се само једно загушење не може успешно решити, целокупан систем се доводи у веома опасну ситуацију. Због овога је веома важно спроводити анализе сигурности повезаних електроенергетских система. Овакви проблеми се најуспешније решавају применом неке од оптимизационих метода.

Метахеуристичке оптимизационе методе се све више користе за решавање сложених оптимизационих проблема [1-5]. Велику популарност су стекле у последње две деценије. Ове методе су знатно боље од конвенционалних метода које су засноване на математичкој логици. Основни циљеви развоја метахеуристичких метода је брже решавање проблема, могућност решавања сложених проблема, и прављење робуснијих алгоритама. Своју популарност су стекле захваљујући једноставној примени, флексибилности, одсуству извода и успешном избегавању локалних оптимума.

У циљу избегавања извода и других сложених математичких операција које при томе ограничавају применљивост методе оптимизације, метахеуристичке методе су морале да развију добру претрагу простора решења. Претрага се може поделити у два дела: истраживање и експлоатацију. У фази истраживања се простор решења претражује што је шире могуће. Да би ова фаза могла да се спроведе алгоритми морају да имају стохастичке операторе за насумично и глобално претраживање простора решења. Са друге стране, у фази експлоатације претрага се одвија у околини најбољих решења која су добијена у фази истраживања. Налажење одговарајућег односа између ове две фазе представља тежак задатак због стохастичке природе самих метахеуристичких метода.

Метода оптимизације сивих вукова се заснива на друштвеној хијерархији и понашању чопора током лова. Сваки чопор се састоји од алфа, бета, делта и омега вукова. Вође чопора, алфа вукови, представљају најспособније вукове, ови вукови доносе све одлуке које се тичу чопора. Други ниво хијерархије чине бете, које су подређене алфама али им помажу у доношењу одлука или у другим активностима везаним за чопор. Ови вукови представљају најбољег кандидата за новог вођу у случају да алфа вуку остари или умре. Делта вукови не доносе одлуке али су задужени за лов, извиђање, заштиту чопора ... Најнижу лествицу у хијерархији сивих вукова чине омеге. Ови вукови не доносе никакве одлуке, увек су последњи у реду за храну и над њима се сви иживљавају, али управо то одржава чопор у целини као и ланац доминације. Главне фазе лова се могу поделити на праћење, опкољавање и напад на плен.

Рад је организован на следећи начин: у другом делу објашњен је и приказан алгоритам сивих вукова. Проблем

оптималне расподеле токова снага је дефинисан у трећем делу, док је у четвртном делу укратко изложен проблем одређивања расположивог преносног капацитета. Резултати примене предложеног алгоритма су приказани у петом делу. Док је у шестом делу дат закључак рада.

II. МЕТОДА СИВИХ ВУКОВА

У овом делу ће се дати математички модели друштвене хијерархије, праћења, опкољавања и напада плена. Након тога биће представљен сам оптимизациони алгоритам [6].

A. Друштвена хијерархија

Да би се успешно математички моделовала друштвена хијерархија вукова, а са циљом прављења оптимизационе методе, најбоље решење се проглашава за α вука, друго и треће најбоље решење за β и δ вука, док су сва остала решења ω вукови. Код ове оптимизационе методе лов (потрагу за оптималним решењем) предводе α , β и δ , док остали вукови (ω) прате ова три вука.

B. Опкољавање плена

Сиви вукови опкољавају плен током лова. Следећа једначина може да послужи као математички модел овог поступка:

$$D = |C \cdot X_p(t) - X(t)|, \quad (1)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - A \cdot D, \quad (2)$$

где t представља тренутну итерацију, A и C су коефицијент вектори, X_p је позиција плена, док X представља позицију вука. Вектори A и C се могу израчунати на следећи начин:

$$A = 2a \cdot r_1 - a, \quad (3)$$

$$C = 2 \cdot r_2, \quad (4)$$

при чему компоненте вектора a линеарно опадају од 2 до 0 током итерација, док су r_1 и r_2 произвољни вектори из опсега $[0, 1]$.

C. Лов

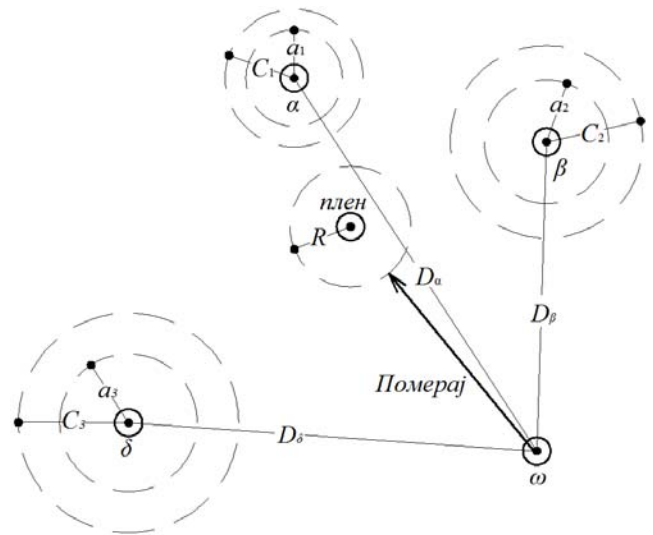
Сиви вукови имају способност проналажења локације плена. Лов најчешће предводе алфе. Такође у лову најчешће учествују и бете и делте. Међутим, у апстрактном простору претраге локација оптимума (плена) није позната. У циљу математичког моделовања лова, усвојено је да α , β и δ (три најбоља решења) имају најбоље информације о локацији плена. Следеће формуле дефинишу промену локације ω вукова.

$$D_\alpha = |C_1 X_\alpha - X|, \quad D_\beta = |C_2 X_\beta - X|, \quad D_\delta = |C_3 X_\delta - X|. \quad (5)$$

$$X_1 = X_\alpha - A_1 D_\alpha, \quad X_2 = X_\beta - A_2 D_\beta, \quad X_3 = X_\delta - A_3 D_\delta, \quad (6)$$

$$X(t+1) = (X_1 + X_2 + X_3)/3. \quad (7)$$

Сл. 1 показује како се појединачна решења унапређују на основу позиције α , β и δ решења у 2D простору претра-



Слика 1. Унапређивање решења.

ге. Може се приметити да ће се коначна локација налазити у произвољном простору унутар круга који дефинишу позиције α , β и δ вукова. Другим речима, α , β и δ вукови процењују позицију плена, док се други вукови произвољно приближавају тој позицији.

Као што је већ напоменуто, претрага сивих вукова се углавном заснива на основу позиције α , β и δ вукова. Они конвергирају када нападају плен и дивергирају једни од других када траже плен.

1) *Напад на плен (експлоатација)*: Сиви вукови нападају плен тек када он престане да се креће. У циљу математичког моделовања приближавања плену вредност вектора a се смањује. Треба приметити да се и опсег дефинисан вектором A такође смањује са смањивањем вектора a . Другим речима A је произвољна вредност на интервалу $[-2a, 2a]$, при чему a опада од 2 ка 0 током итерација. Када је произвољна вредност вектора A у опсегу $[-1, 1]$, следећа локација вука може бити било која локација између његове тренутне позиције и циља.

2) *Потрага за пленом (истраживање)*: У циљу математичког моделовања дивергенције, вектор A узима вредности веће од 1 или мање од -1 да би симулирао дивергенцију вука од плена. Овим се врши детаљна претрага и избегава заглављивање у локални оптимум.

Вектор C такође помаже у претраживању простора решења. Као што се из израза (4) може видети вектор C узима вредности у опсегу $[0, 2]$. Овај вектор даје произвољан тежински фактор плену у циљу наглашавања ($C > 1$) или умањивања ($C < 1$) ефекта плена на рачунање удаљености изразом (1). Треба напоменути да се вектор C не смањује линеарно током итерација. Ово је урађено да би се вршила претрага не само у почетној фази него и у каснијим фазама. Вектор C помаже у избегавању локалних оптимума поготово у каснијим итерацијама. У зависности од позиције вука, овај коефицијент може да удаљи плен и учини га недоступним или чак супротно да убрза приближавање вука плену.

D. Алгоритам

Процес претраге почиње генерисањем произвољних решења, стварањем чопора. Током итерација α , β и δ вукови процењују позицију плена. Свако потенцијално решење смањује своју удаљеност према плену. Параметар a се смањује од 2 до 0 како би форсирао претрагу и експлатацију. Потенцијална решења теже да дивергирају од плена када је $|A| > 1$, односно да се приближавају плену када је $|A| < 1$. Ова метода оптимизације се може описати следећим корацима.

- 1) Иницијализација почетне популације X_i ($i=1, \dots, n$).
- 2) Иницијализација вектора a , A и C .
- 3) Израчунавање фитнес вредности сваког вука.
- 4) X_α = најбољи вик.
- 5) X_β = други најбољи вук.
- 6) X_δ = трећи најбољи вук.
- 7) Унапредити позицију сваког вука помоћу израза (7).
- 8) Израчунати a , A и C .
- 9) Израчунавање фитнес вредности сваког вука.
- 10) Наћи нове X_α , X_β и X_δ .
- 11) $t = t + 1$.
- 12) Ако је $t <$ максималан број итерација, вратити се на корак 7, у супротном исписати X_α .

Ако се деси повреда ограничења приликом претраге простора решења такав вук се аутоматски одбацује и генерише се нови. Ако случајно неко од најбоља три решења прекрши неко ограничење аутоматски се замењују бољим вуком у наредној итерацији.

III. ОПТИМАЛНА РАСПОДЕЛА ТОКОВА СНАГА

Решење проблема оптималне расподеле токова снага за циљ има оптимизацију објективне функције помоћу оптималних подешавања контролних променљивих електроенергетског система уз задовољење ограничења типа једнакости и неједнакости. Математички, проблем оптималне расподеле снага се може приказати у следећој форми [7]:

$$\text{Min } J(x, u) \quad (8)$$

$$\text{У зависности од: } g(x, u) = 0, \quad (9)$$

$$h(x, u) \leq 0, \quad (10)$$

где је J објективна функција коју треба минимизовати, а x је вектор зависних (системских) променљивих који се састоји од:

- Производње активне снаге из референтног чвора P_{SL} .
- Амплитуда напон на сабирницама потрошачког типа V_L .
- Производња реактивне снаге генератора Q_G .
- Токови снага по водовима S_l .

Тако да се x може представити као:

$$x^T = [P_{SL}, V_{L1} \dots V_{LNL}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}, S_{l1} \dots S_{ln}], \quad (11)$$

где су NL , NG , nl број потрошачких сабирница, број генератора, и број преносних водова у посматраном електроенергетском систему, респективно.

„ u “ је вектор независних (контролних) променљивих који се састоји од:

- Производње активне снаге у чворовима PV типа P_G .
- Амплитуда напон на генераторским сабирницама V_G .
- Подешавање одцепа регулационог трансформатора T_r .
- Производња реактивне снаге из компензатора Q_C .

Тако да се u може представити као:

$$u^T = [P_{G2} \dots P_{GNG}, V_{G1} \dots V_{GNG}, T_{r1} \dots T_{rNT}, Q_{C1} \dots Q_{CNc}], \quad (12)$$

где су NT и N_C број регулационих трансформатора и број компензатора реактивне снаге, респективно.

„ g “ су ограничења типа једнакости, која најчешће представљају једначине токова снага:

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{k=1}^{NB} V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)], \quad (13)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{k=1}^{NB} V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)], \quad (14)$$

где је NB број чворова, P_G је производња активне снаге генератора, Q_G је производња реактивне снаге генератора, P_D је потрошња активне снаге, Q_D је потрошња реактивне снаге, G_{ik} и B_{ik} су кондуктанса и сусцептанса између чворова i и k , респективно.

„ h “ представља ограничења типа неједнакости која уважавају:

- Ограничења генератора: амплитуда напона, производња активне и реактивне снаге је ограничена доњом и горњом границом:

$$V_{Gi}^{\min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max}, \quad i = 1, \dots, NG \quad (15)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}, \quad i = 1, \dots, NG \quad (16)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max}, \quad i = 1, \dots, NG. \quad (17)$$

- Ограничења трансформатора: избор одцепа је ограничен доњим и горњим положајем:

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, NT. \quad (18)$$

- Ограничења компензатора реактивне снаге:

$$Q_{Ci}^{\min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{\max}, \quad i = 1, \dots, N_C. \quad (19)$$

- Сигурносна ограничења: уважавају ограничења по амплитуди напона на потрошачким сабирницама и термичка ограничења водова:

$$V_{Li}^{\min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{\max}, i = 1, \dots, NL \quad (20)$$

$$S_{li} \leq S_{li}^{\max}, i = 1, \dots, nl. \quad (21)$$

Једина предност класичних метода оптимизације које су користиле изводе у циљу претраге простора решења огледа се у познавању нодалних цена електричне енергије на крају прорачуна. Ни једна од метахеуристичких метода не рачуна нодалне цене електричне енергије. Међутим, нодалне цене је могуће израчунати само за оптимално решење чиме се избегава потреба примене класичних метода оптимизације. Нодалне цене се могу израчунати помоћу следећег израза [8]:

$$\left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^T [\lambda] = 0, \quad (22)$$

при чему је $[\partial g/\partial x]$ Јакобијан који се може преузети из последње итерације Newton-Raphson прорачуна токова снага за оптимално решење. Извод критеријумске функције се може израчунати помоћу следећег израза:

$$\left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] = \left[\frac{\partial J(V, \theta)}{\partial P_{Gsl}} \right] \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{sl}(V, \theta)}{\partial \theta} \\ \dots \\ \frac{\partial P_{sl}(V, \theta)}{\partial V} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

У изразу (23) први члана са десне стране знака једнакости представља извод функције трошкова референтног генератора по његовој снази производње, P_{sl} представља активну снагу ињектирања у референтном чвору.

IV. РАСПОЛОЖИВИ ПРЕНОСНИ КАПАЦИТЕТ

Расположиви преносни капацитет (АТС) представља способност повезаних електроенергетских система да поуздано преносе електричну енергију између области под унапред дефинисаним условима. Под термином област може да се подразумева цео електроенергетски систем, део система дефинисан границама тржишта, регулациона област, део региона или било који део од свега наведеног. Висина могућег преноса између две области јако зависи од распореда производње и потрошње као и самог стања у преносном систему током периода посматрања.

За израчунавање ове величине се може искористити модел оптималне расподеле токова снага. При чему снага трансакције између одабраних чворова представља једину независну променљиву (u). Ову снагу је потребно додати чвору из кога се продаје електричне енергија и одузети је чвору у коме се та иста енергија купује. Овакво стање у мрежи се испитује помоћу Newton-Raphson прорачуна токова снага. Детаљан опис алгоритма који се користи за израчунавање реалног преносног капацитета примене генетског алгоритма је дат у [9].

За разлику од проблема описаног у претходном поглављу код кога се траже минимални трошкови производње, у овом проблему је потребно наћи максималну снагу разме-

не а да су при томе задовољена сва релевантна ограничења (13)–(21).

Познавањем нодалних цена чворова могуће је одредити цену сваке појединачне трансакције помоћу следећег израза [10]:

$$C_{ij} = P_{trans\ ij} (\lambda_{pj} - \lambda_{pi}), \quad (24)$$

где је C_{ij} цена трансакције из чвора i у чвор j , $P_{trans\ ij}$ је снага која се преноси трансакцијом између чворова i и j , док су λ_{pi} и λ_{pj} цене активне снаге у чворовима i и j .

I. РЕЗУЛТАТИ

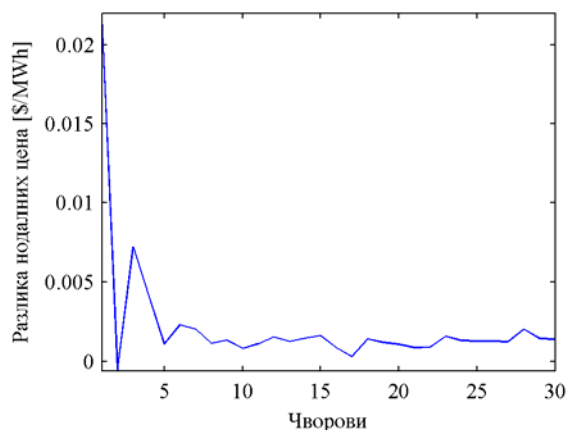
Примена алгоритма сивих вукова је илустрована помоћу стандардне IEEE 30 сабирничке мреже [11] за оба проблема, налажење оптималне расподеле токова снага и одређивање вредности АТС-а билатералних трансакција.

Оптимална расподела токова снага је вршена по критеријуму минимума трошкова производње. За контролне променљиве одабране су активне снаге производње генератора и амплитуде напона сабирница на које су прикључени генератори. За криву трошкова производње генератора усвојене су квадратне функције, коефицијенти ових функција се могу пронаћи у [7].

Увођењем нових контролних променљивих постигнуто је боље решење у односу на случај када су само активне снаге производње сачињавале контролне променљиве. За опсег промене напона усвојене су границе од $\pm 10\%$ у односу на номиналну вредност. Да би се упоредиле карактеристике нове метахеуристичке оптимизационе методе са класичним и модификованим генетским алгоритмом преузети су резултати из [7] и приказани у табели I. Као што се може приметити метод сивих вукова даје подједнако добра решења као и модификовани генетски алгоритам али је за његово извршавање потребно знатно мање времена. У последњој колони се виде резултати када су и амплитуде напона генераторских чворова уврштене у контролне променљиве. Може се приметити да је за израчунавање оваквог проблема потребно више времена применом методе сивих вукова, али је то време и даље мање од времена које је потребно генетском алгоритму да изврши прорачуна само са снагама производње генератора. Трошкови производње су најнижи када се уважи и могућност променљивог напона генераторских чворова, што је било и очекивано. На сл. 2 су приказане нодалне цене које су израчунате за оба прорачуна. Цене у појединим чворовима су незнатно више када је разматрана само оптимална расподела снага производње. Сл. 3 показује разлику нодалних цена која је одређена између решења оптималне расподеле токова снага без и са уважавањем промене амплитуде напона генераторских чворова.

Други проблем се огледа у налажењу вредности АТС-а за све могуће парове трансакција у посматраној преносној мрежи. Упоредивањем резултата добијених употребом методе сивих вукова и резултата добијених помоћу модификованог генетског алгоритма [9] установљено је да ова метода даје незадовољаивије резултате. Средња вредност грешке разматране методе за све могуће комбинације тран-

сакција износи -53,2%, док је максимална грешка износила чак -99,91%. Овим се само потврђује чињеница да не постоји универзална метахеуристичка оптимизацион техника коју је могуће успешно применити на све проблеме. Са друге стране са сл. 4 се може видети да метода сивих вукова ипак може да да мало боље вредности од модификованог генетског алгоритма али само у занемарљивом броју случајева. Да би се израчунала цена сваке трансакције искористиће се резултати добијени помоћу модификованог генетског алгоритма. На сл. 5 су приказане цене за сваки пар трансакција при чему је усвојено да се сваком трансакцијом преноси максимална могућа снага, тј. АТС. Може се приметити да је цена трансакције у неким случајевима негативна што практично значи да би трговац требало да буде плаћен за ту трансакцију пошто она узрокује растеређење преносне мреже.

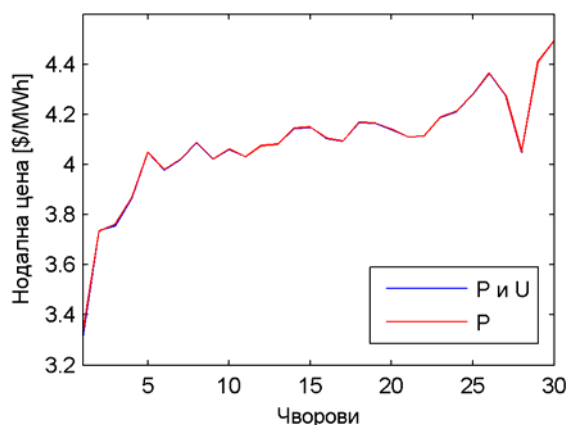


Слика 3. Разлика нодалних цена.

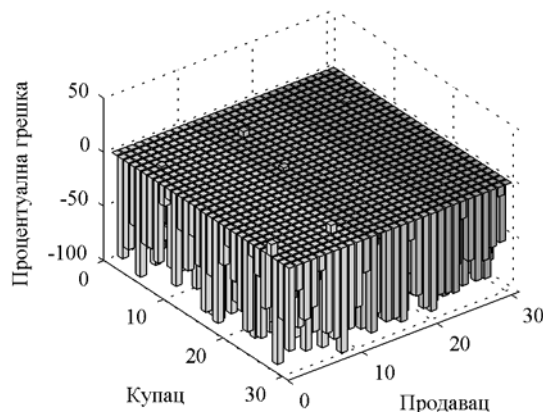
ТАБЕЛА I. УПОРЕЂИВАЊЕ КАРАКТЕРИСТИКА ОПТИМИЗАЦИОНИХ АЛГОРИТАМА

	<i>GA</i> ^a	<i>MGA</i> ^b	<i>GWO</i> ^c	<i>GWO</i> ^c
P_{G1} (MW)	175,94	177,37	177,30	174,40
P_{G2} (MW)	48,36	48,12	48,34	48,34
P_{G5} (MW)	23,75	21,67	21,55	21,99
P_{G8} (MW)	21,85	22,62	22,67	23,78
P_{G11} (MW)	12,22	12,49	12,42	12,64
P_{G13} (MW)	12,00	12,00	12,00	12,54
U_{G1} (p.j.)	/	/	/	1,0274
U_{G2} (p.j.)	/	/	/	1,0499
U_{G5} (p.j.)	/	/	/	1,0801
U_{G8} (p.j.)	/	/	/	1,0637
U_{G11} (p.j.)	/	/	/	1,0038
U_{G13} (p.j.)	/	/	/	0,9691
Трошкови (\$/h)	807,59	807,30	807,29	806,12
Време(s)	392,90	353,07	164,16	268,54

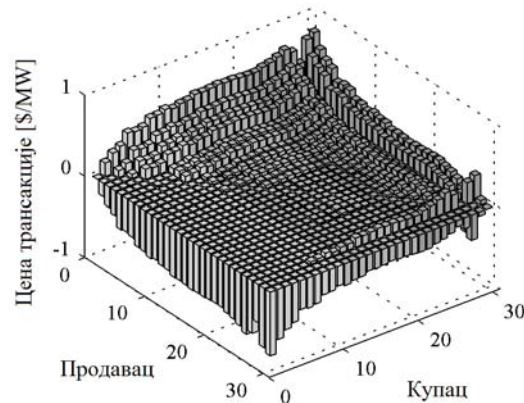
а. Класични генетски алгоритам
 б. Модификовани генетски алгоритам
 с. Метода сивих вукова



Слика 2. Нодалне цене.



Слика 4. Процентуална грешка приликом израчунавања вредности АТС.



Слика 5. Цене трансакција.

II. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљена употреба нове метахеуристичке оптимизационе методе за чији је развој искоришћена хијерархија која влада у чопору сивих вукова и њихово

понашање током лова. Нова метода је тестирана на два стандардна проблема која се срећу у дерегулисаној електроенергетској систему, оптимална расподела токова снага и одређивање вредности расположивог преносног капацитета. Приликом решавања првог проблема разматрана метода је показала супериорност у односу на генетски алгоритам у погледу тачности и брзине израчунавања. Са друге стране код решавања другог проблема применом методе сивих вукова добијали су се неприхватљиви резултати. Поред ова два проблема у раду је објашњен поступак израчунавања нодалних цена електричне енергије као и одређивање цене успостављања појединачних трансакција. Сви примери су рађени на стандардној тест IEEE 30 сабирничкој мрежи.

ZAHVALNICA

Аутори захваљују Министарству за науку и технолошки развој Републике Србије које је омогућило израду овог рада у оквиру Пројекта ИИИИ 42009 Интелигентне енергетске мреже.

LITERATURA

- [1] H.H. Dezaki, H.A. Abyaneh, A. Agheli and K. Mazlumi, "Optimized Switch Allocation to Improve the Restoration Energy in Distribution Systems," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 63, pp. 47-52, 2012.
- [2] A. Elmaouhab, M. Boudour and R. Gueddouche, "New Evolutionary Technique for Optimization Shunt Capacitors in Distribution Networks," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 62, pp. 163-167, 2011.
- [3] Y.R. Sood, "Evolutionary programming based optimal power flow and its validation for deregulated power system analysis," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 29, pp. 65-75, 2007.
- [4] S. Aboura, A. Omari and K. Z.Meguenni, "Optimizing Motion Planning for Hyper Dynamic Manipulator," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 63, pp. 21-27, 2012.

- [5] D. Šošić and I. Škokljević, "Optimal location and sizing of photovoltaic plant," presented at the 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2013.
- [6] S. Mirjalili, M.S. Mohammad and L. Andrew, "Grey Wolf Optimizer," *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [7] Darko Šošić i J. Stojković, "Određivanje optimalne raspodele tokova snaga pomoću modifikovanog genetskog algoritma," presented at the INFOTEH Jahorina 2014, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 2014.
- [8] H.W. Dommel and W.F. Tinney, "Optimal Power Flow Solutions," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-87, pp. 1866-1876, 1968.
- [9] D. Šošić and I. Škokljević, "Evolutionary Algorithm for Calculating Available Transfer Capability," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 64, pp. 291-297, 2013.
- [10] Y.R. Sood, N.P. Padhy and H.O. Gupta, "A New Hybrid Model for Wheeling Cost Analysis under Deregulated Environment," presented at the IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Dallas, Texas, USA, 7-12 September 2003.
- [11] https://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm.

ABSTRACT

Grey Wolf Optimizer represent a new metaheuristic optimization method. The need for experimenting with new methods of optimization lies in the fact that there is no universal method that gives the best results for all problems. In a deregulated power system, is of great importance finding an optimal power flow and the value of available transmission capacity, due to the pricing of electricity and resolving congestion in transmission power system. Both of these problems can be solved by using optimization methods. The standard IEEE 30 bus system is used for illustration of these problems.

APPLICATION OF GRAY WOLF OPTIMIZER TO PROBLEMS IN POWER SYSTEM

Darko Šošić
Ivan Škokljević