

**РАЗВОЈ СОФТВЕРСКОГ СИСТЕМА ЗА ON-LINE
ИНСТРУКТИВНО ДЕЛОВАЊЕ НА ПОБОЉШАЊЕ РАДА
ПАРНОГ БЛОКА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ**

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SYSTEM FOR ON-LINE
INSTRUCTIVE INTERVENTION FOR THE IMPROVEMENT
OF STEAM POWER PLANT OPERATION**

**проф. др Бранислав М. Савић, дипл. инж. *, ас. мр Радиша Јовановић, дипл. инж. *,
проф. др Зоран Рибар, дипл. инж. *, проф. др Владимир Стевановић, дипл. инж. *,
Милорад Добросављевић, дипл. инж.****

** Машински факултет Универзитета у Београду, Краљице Марије 16
** Термоелектрана »Костолац Б«, Николе Тесле бб, Дрмно*

Abstract: The development of this software system was realized through the project 213001 participated by the Ministry of Science of the Republic of Serbia under the National Program of Energy Efficiency. The software system is developed to provide information of instructive character, on the basis of existing operational state of the steam block, with the possibility of on-line interactive intervention in order to improve the process operation. It uses sampled data of the steam block operational state from the last observed period, obtained by our previously developed basic software system for the operation diagnosis of the steam power plant. The particular software subsystem, for the calculations of regime loads and performance parameters on the basis of existing operational state, enables to obtain the real information about the influence of process parameters on heat rate and load deviations necessary for the optimal instructive intervention. In this paper, presented are results of the simulation, obtained with the developed software system, which can be applied for the on-line instructive intervention. Also, some results obtained by the previously developed basic software system, for the operation diagnosis, are discussed in scope of the presented results.

Key words: Steam Turbine Unit, Operational regimes, Software, Process Analysis.

1. УВОД

Резултати приказани у овом раду су проистекли кроз развој адаптивног софтверског система за on-line дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране у оквиру пројекта 213001 финансираног од стране Министарства науке Републике Србије из Националног програма енергетске ефикасности. Задатак пројекта је увођење аутоматизоване анализе процеса у реалном времену ради добијања референтне базе различитих оперативних информација инструктивног карактера за потребе on-line интервентног деловања на побољшање одвијања процеса у циљу повећања ефикасности, поузданости и расположивости референтног парног блока термоелектране, као и добијања увида у текуће погонско стање појединих компоненти и целине парног турбопостројења. Рад референтног софтверског система се ослања на рад основног софтверског система за дијагностику рада, контролу економичности и

стања парног блока термоелектране који треба да га информише о погонским условима и текућем стању појединих компоненти постројења. Рад оба софтверска система треба да се одвија паралелно и независно, а комуникација да се реализује преко формираних база резултата. То је био само један од разлога што се претходна фаза односила на развој основног софтверског система за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране у циљу добијања релевантних информација за потребе развоја софтверског система за on-line примену. Међутим, основни софтверски систем има већу улогу и значај од наведене функције, јер даје ширу базу резултата у циљу детаљних анализа рада блока, односно омогућује детаљну интроспекцију рада блока у погонским условима, први пут могућу на овај начин код нас, са великом базом резултата везаних за погонске услове рада, стање и економичност парног блока. Овај софтверски систем, који има карактеристике експертског система, процесуира 120 аналогних мерних сигнала и продукује нових израчунатих 521 параметара.

2. РАЗВОЈ ОСНОВНОГ СОФТВЕРСКОГ СИСТЕМА ЗА ДИЈАГНОСТИКУ РАДА

Развој софтверског система је био праћен са различитим објективним и субјективним тешкоћама и одвијао се хронолошки фазно према стеченом искуству, али и према расположивим ресурсима корисника, што се може пратити из приказаних референци [1-7].

Комплексна структура парнотурбинске јединице са интерактивним утицајима њених компоненти и велики број укључених параметара процеса (преко стотину за потребе софтверског система) са њиховим флукутирајућим вредностима, у извесном степену непредвидивим, је учинила овај посао много тежим. Могућа нерасположивост или нетачност неких вредности параметара процеса у извесним периодима, која може да угрози поузданост и предиктивност софтвера, је очекивана појава. Суштина је и у чињеници да је морала да се развије комплетно различита програмска логика за израду софтвера у односу на класично програмирање, која ће омогућити његов поуздан рад и контролу процеса у непредвидивим погонским условима рада. Поред веома оштрих услова везаних за рад софтвера са процесуираним подацима који изискују комплетно различиту софтверску логику у односу на класичну, недостатак мањег броја, али важних, мерних података је додатно усложио развој софтверског система. Са друге стране реализација договора о прикључењу ових недостајућих мерења је захтевала додатну адаптацију софтверског система и увођење нових софтверских модула. Основни софтверски систем, надграђен са новим софтверским модулима, на бази прикључења недостајућих мерења, омогућује сада комплетнију контролу процеса у области турбине ниског притиска и система регенеративног загревања главног кондензата.

Поред тога, заинтересованост корисника за праћењем специфичне потрошње блока бруто, израчунавањем унете количине угља, је резултирала развојем још једног софтверског модула који је омогућио затварање биланса парног блока, на за сада једино могућ начин према расположивим ресурсима.

С обзиром да је у погонским условима рад блока у режимима са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска био присутан чешће, то су извршене додатне адаптације софтверског система којима би се обухватили и ови режими са промењеном погонском конфигурацијом рада парног блока, и са којима се очигледно мора рачунати у већем степену. Пројектним условима се обично предвиђа само режим максималне снаге са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска са номиналним протоком свеже паре, обично ограниченог временског трајања, због повећаних напрезања услед максималног протока кроз турбину. Међутим, у нашем

електроенергетском систему рад у режимима са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска је присутан на нижим оптерећењима, много чешће него што се мисли, због немогућности «регуларног» повећања снаге услед присутне погонске неспремности појединих уређаја постројења. Рад у режимима са искључењем регенеративних загрејача високог притиска, иначе може да буде веома интересантан као начин остваривања обртне резерве у електроенергетском систему у условима мања производње [8]. У случајевима преласка са регуларног режима на рад са искљученим загрејачима високог притиска било би пожељно кад би он могао да се реализује постепеним обилажењем-бајпасовањем загрејача високог притиска да би се избегла напрезања услед нагле промене параметара процеса.

Одређивање функционог погонског стања постројења, односно његових појединих компоненти, је било врло важно за развој у другој фази софтверског система за on-line интервентно деловање за побољшање рада према постојећем погонском стању. С обзиром да се промена стања постројења и његових компоненти не одвија брзо, сем у случају акцидентних услова, то је за параметре који контролишу погонско стање појединих компоненти постројења уведен и прорачун тзв. «дугих трендова».

Да би се добио увид у учестаност референтних нивоа оптерећења, параметара и перформанси за дужи временски период уведена је статистичка анализа резултата за период од месец и годину дана. Статистичка анализа је проширена и на «дуге» трендове, који се односе на параметре за контролу погонског стања компоненти, али и на посебне режиме без и са обилажењем регенеративних загрејача високог притиска којима се мења конфигурација постројења.

Основни софтверски систем обезбеђује следеће функције:

- Идентификацију стационарних режима и одређивање средњих вредности параметара процеса за идентификоване режиме
- Филтрирање, односно испитивање (вишекритеријумско) валидности процесуираних мерних вредности параметара процеса
- Прорачун недостајућих параметара и перформанси применом одговарајуће развијене методологије на бази расположивих обрађених мерних вредности
- Праћење у континуитету степена корисности, односно специфичне потрошње топлоте турбопостројења за идентификоване режиме
- Потпуну анализу утицаја појединих параметара и перформанси процеса, односно прорачун одступања њихових вредности за идентификоване режиме и утицаја на економичност
- Прорачун текућих трендова за различите параметре и перформансе процеса за референтне нивое оптерећења који дају увид у кретање појединих параметара процеса и перформанси у погонским условима рада за поједине нивое оптерећења
- Комплетну софтверску контролу процеса, која омогућује и добијање линије експанзије у турбини за изабрани идентификовани режим
- Праћење промене стања појединих компоненти постројења
- Статистичку обраду режима и основних перформанси постројења у дужем периоду

3. РАЗВОЈ СОФТВЕРА ЗА ON-LINE ИНТЕРВЕНТНО ДЕЛОВАЊЕ

Развој адаптивног софтверског система за on-line дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране је утемељен на развоју концепта интерактивне комуникације за добијање оперативних информација инструктивног карактера за потребе интервентног деловања у реалном времену са циљем побољшања

одвијања процеса у оквиру постојећег стања блока. С обзиром да се добијање оперативних информација заснива на постојећем стању блока, предвиђено је да овај софтверски систем користи резултате детаљне анализе рада и стања блока основног софтверског система за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока. Према томе основни софтверски систем, претходно описан, ће и даље паралелно обављати своју функцију продукујући одговарајуће резултате неопходне и за рад адаптивног софтверског система за on-line дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране. Добијање оперативних информација за оптимално деловање ће се заснивати на прорачуну режима и перформанси парног блока на бази постојећег реалног стања блока које је дакле променљиво.

Овако сложен задатак условио је развој сложеног софтверског система за on-line оперативно инструктивно деловање ради побољшања одвијања процеса који се састоји из одговарајућих софтверских подсистема, а ови из припадајућих модула. На почетку је предвиђено да посебни софтверски модул обезбеди скенирање потребних мерних података у последњем минути са формирањем њихове одговарајуће базе за потребе софтверског модула за on-line «идентификацију» плутајућег режима у реалном времену. Софтверска «идентификација» плутајућег режима се остварује кроз међусобно условљене три временске фазе (за 5, 9 и 13 континуалних једноминутних података) да би се са довољном поузданошћу идентификовао «стабилан» плутајући режим који може да обезбеди услове за могуће интервентно деловање за смањење одступања параметара којима се може управљати. Да би се овај циљ испунио за «идентификацију» плутајућег режима у трећој фази, потребно је да буду испуњени потребни услови не само за ову фазу, него и у претходне две фазе у погледу критеријума одвијања циклуса и дозвољеног одступања снаге. Уколико нису испуњени услови бар у једној од фаза, почетни тренутак за процес «идентификације» плутајућег режима се помера за један минут унапред, а поступак испитивања се понавља.

Развој софтверског алата за директан приступ подацима у реалном времену са сервера надзорног информационог система је био неопходан за потребе софтверског система са могућношћу on-line интервентног деловања.

По успешној «идентификацији» плутајућег режима располаже се са базом усредњених вредности процесираних мерних података за «идентификовани» плутајући режим. Ови подаци се даље процесирају у оквиру софтверског подсистема за њихово «филтрирање» и прорачун других неопходних параметара за контролу процеса, обезбеђујући нову базу информација која се користи и у следећој фази за прорачун режима и утицаја одступања параметара процеса на основу постојећег стања постројења.

Да би се одредио утицај одступања параметара на одступање специфичне потрошње топлоте или губитак снаге, врше се варијантни прорачуни режима парног блока за идентификоване параметре процеса за плутајући режим, али и за њихове номиналне вредности без одступања. Ови прорачуни се врше у оквиру посебног софтверског подсистема за прорачун режима и главних термодинамичких параметара парног блока базираног на његовом утврђеном постојећем погонском стању, односно његових компоненти, формираном на основу детаљне анализе рада блока у претходном периоду применом основног софтверског система за дијагностику рада блока.

Развој оваквог софтверског подсистема за прорачун режима представљао би сам по себи велики задатак, који би био тешко решив да не располажемо претходно развијеним одређеним софтверским алатом. То се односи на наш софтверски систем TURBOEX [9,10], који је развијен за прорачун режима парног блока «опште» конфигурације, не само за производњу електричне енергије, већ и за интегрисану комбиновану производњу електричне енергије и топлоте. Но, и поред ове велике

погодности којом располажемо, развој оваквог адаптираног софтверског подсистема за прорачун режима на бази постојећег функционог погонског стања парног блока из расположиве софтверске базе је захтевао нешто више времена од оног са којим смо располагали у оквиру овог пројекта, односно налази се у завршној фази, тако да предвиђени резултати који би се добили нису могли да буду приказани у овом раду.

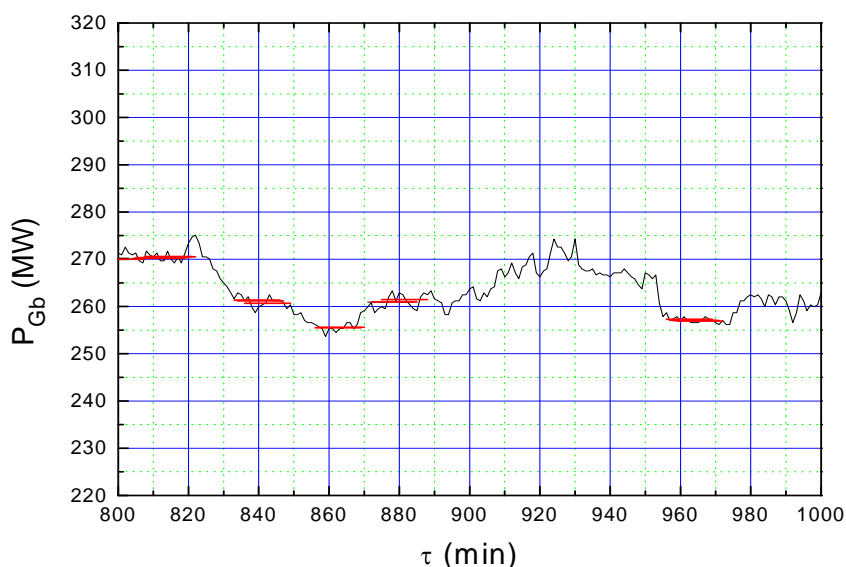
Ипак, да би се недостатак ових резултата за сада у извесном степену надоместио, и приказао могући рад софтверског система за on-line оперативно инструктивно деловање ради побољшања одвијања процеса, коришћене су функције одступања за пројектно стање постројења, детаљно изведене и приказане у нашем елаборату [11]. Напомињемо, да овако приказана одступања нису довољно тачна, јер не одговарају промењеном реалном стању постројења и променљивим међузависним условима рада постројења. Такође, треба да се напомене да код извођења одступања за пројектно стање међузависност њиховог утицаја није узимана у обзир. Сви ови недостаци ће бити ускоро превазиђени када буду остварени услови за примену адаптираног софтверског система за прорачун режима на бази постојећег функционог погонског стања парног блока.

4. ПРИКАЗ РЕУЛТАТА

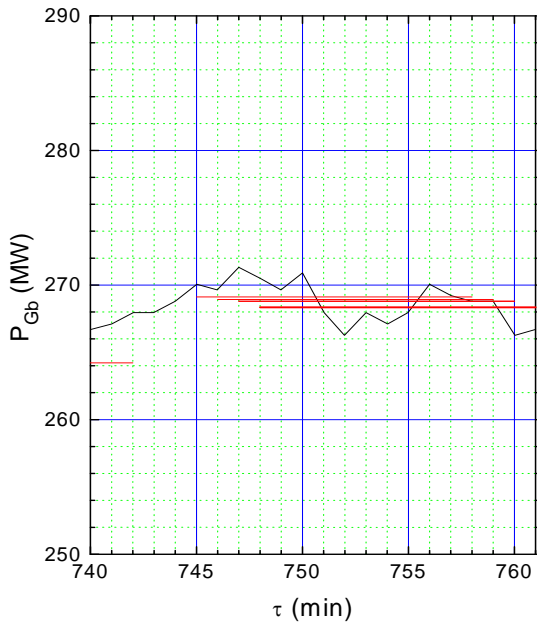
Тестирање рада софтверског система је извршено на постојећој бази података са симулацијом учитавања података у сваком минути као у реалном времену. На сл. 1 су приказани резултати софтверског подсистема за «идентификацију» плутајућег режима у континуалном временском интервалу од 200 минута.

Истовремено, на сл. 2 је приказана «идентификација» у симулираном реалном временском тренутку, 761 минути текућег дана, такође са приказом претходно «идентификованих» плутајућих режима.

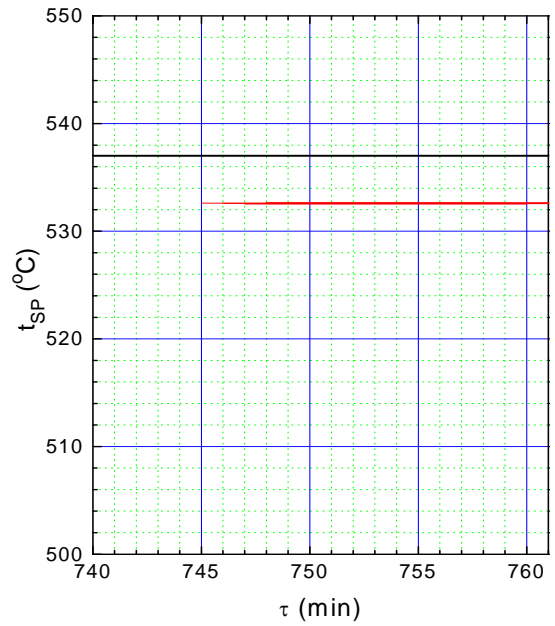
Наравно, највећи интерес је за праћењем одступања параметара на које се може утицати побољшањем процеса. То се пре свега односи на параметре везане за свежу и догрејану пару и за рад «хладног» краја. На сл. 3 су приказане средње вредности температура свеже паре за «идентификоване» плутајуће режиме у односу на номиналну вредност 537°C . Утицаји одступања температуре свеже паре за «идентификоване» плутајуће режиме на одступање снаге су приказани на сл. 4.



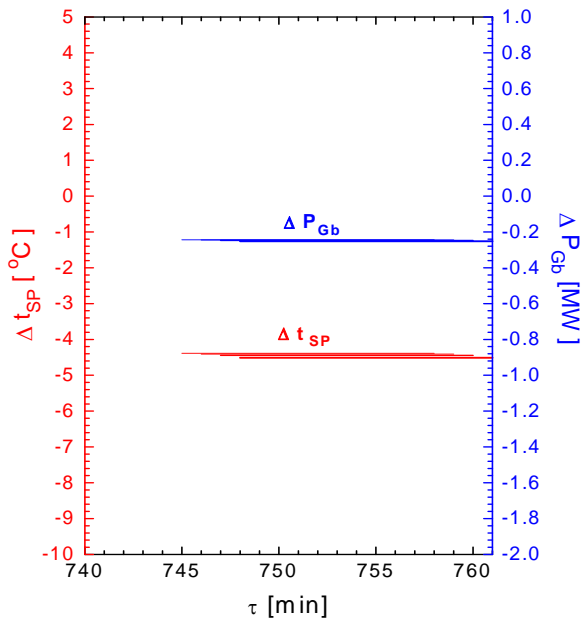
Сл. 1 «Идентификација» плутајућих режима у континуалном временском интервалу од 200 мин



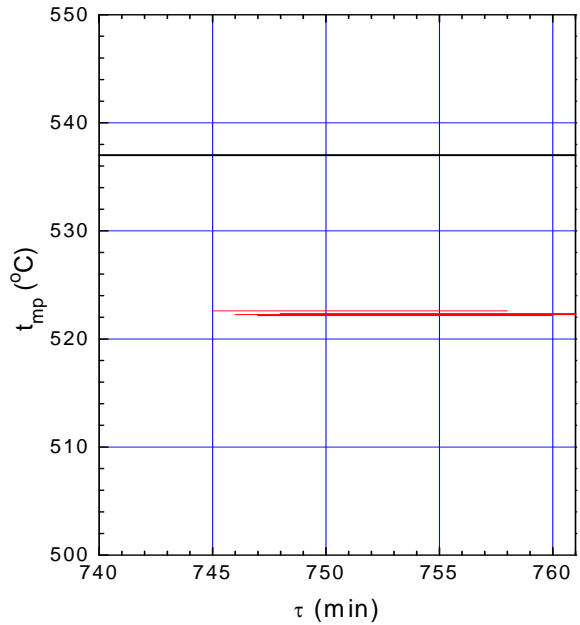
Сл. 2 On-line «Идентификација» плутајућег режима у 761 мин текућег дана, такође са приказом «идентификованих» у претходна 3 минута



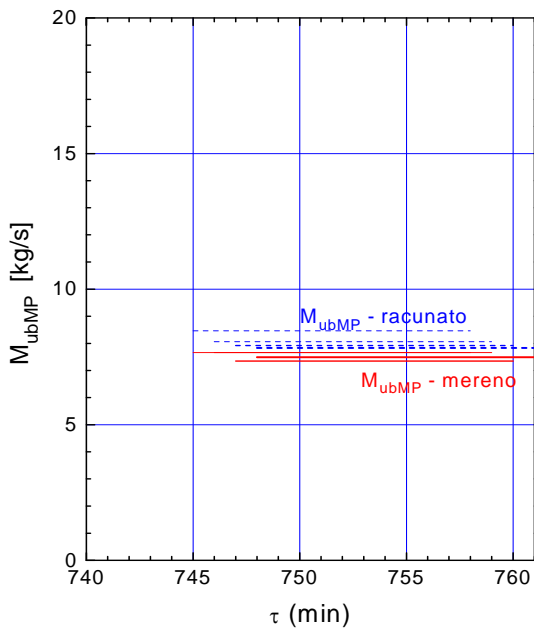
Сл. 3 Температура свеже паре за плутајуће режиме



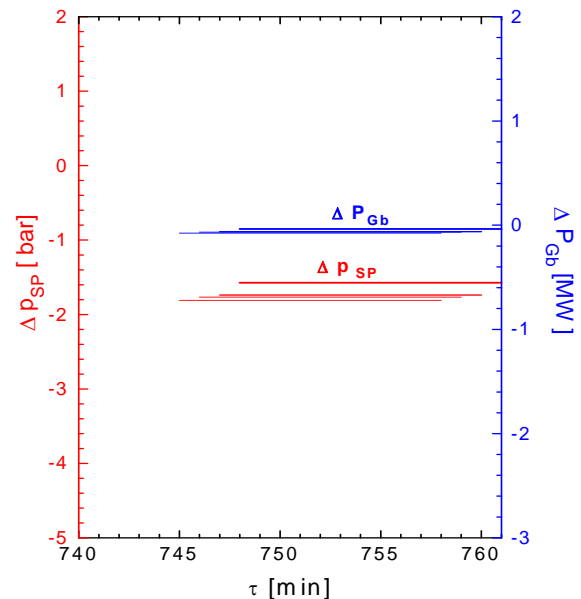
Сл. 4 Одступање снаге услед одступања температуре свеже паре



Сл. 5 Температура међупрегрејане паре за плутајуће режиме



Сл. 6 Измерено и израчунато убризгавање у хладњак међупрегрејане паре



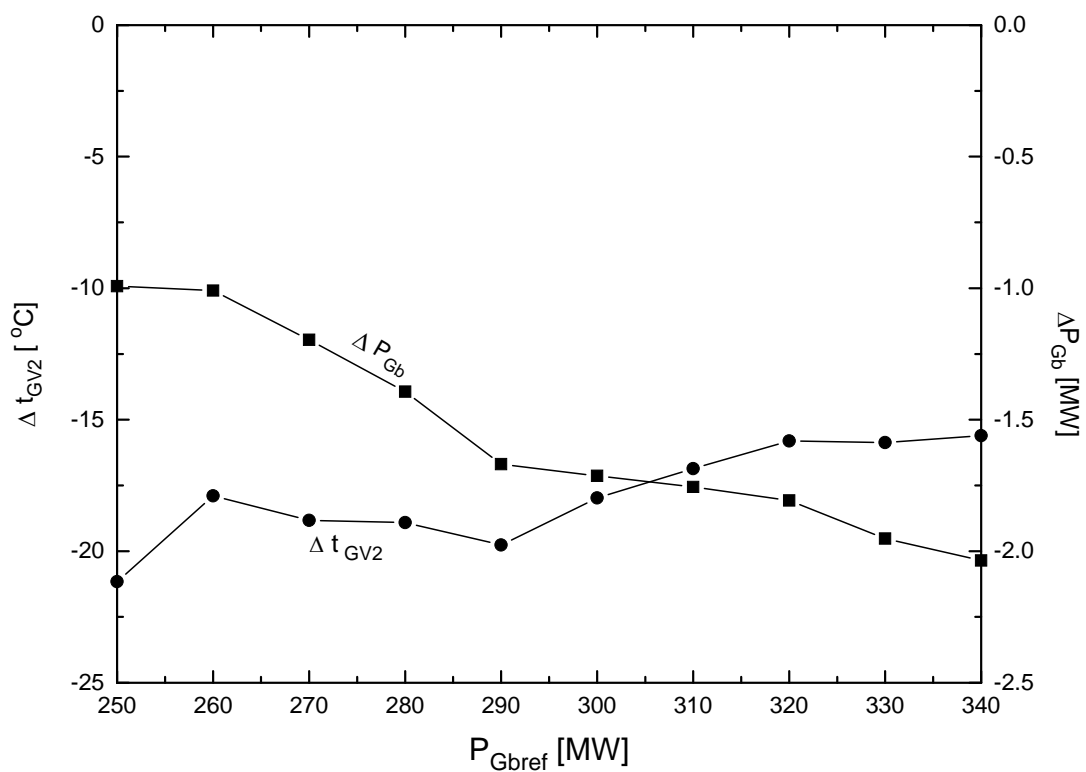
Сл. 7 Одступање снаге услед одступања притиска свеже паре

На сл. 5 је приказано одступање температуре догрејане или међупрегрејане паре. И поред подбацаивања температуре догрејане паре присутно је убризгавање у хладњак догрејане паре - сл. 6. На слици су дате упоредо измерене усредњене вредности и израчунате вредности на бази стања испред и иза хладњака и може се приметити да су разлике мале. У оквиру резултата за оперативно инструктивно деловање предвиђено је да се дефинише потребна вредност убризгавања да би се елиминисало одступање температуре догрејане паре. Исто важи и за температуру свеже паре.

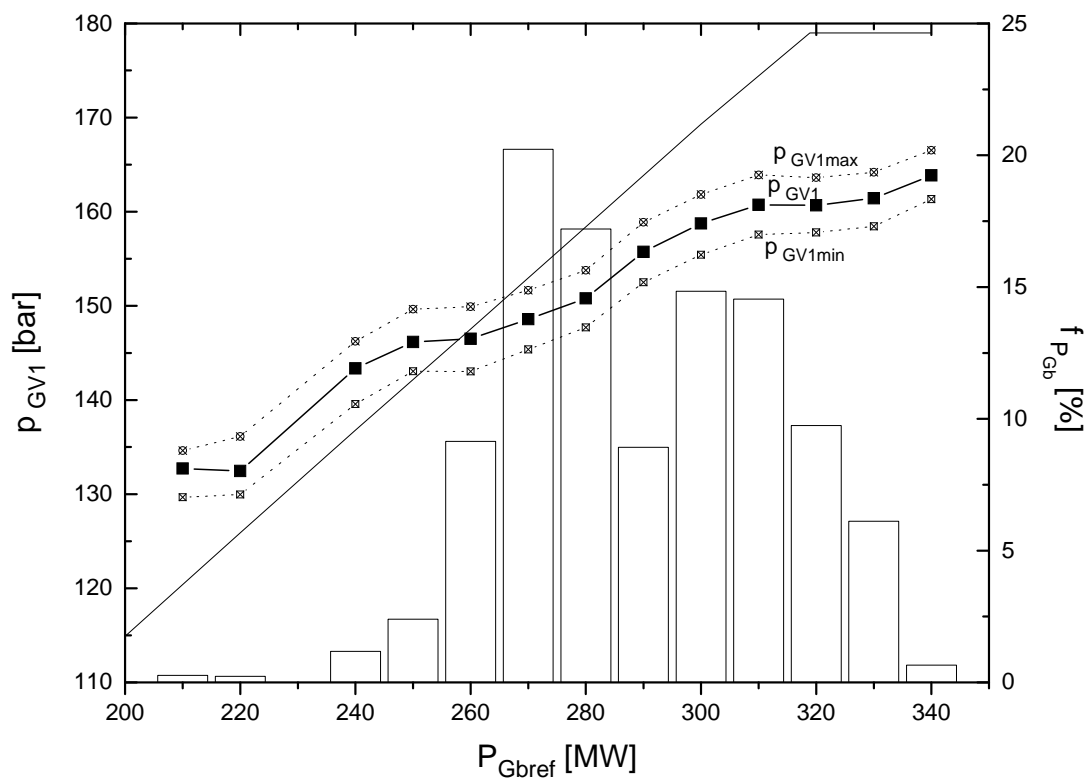
Претходна анализа за погонски период од годину дана, применом основног софтверског система за дијагностику рада блока, дала је сличне резултате за одступања температура свеже и догрејане паре [12]. На сл. 8 су приказани ови резултати одступања температуре догрејане паре, које је стално негативно, и његов одговарајући утицај на губитак снаге за референтни погонски период рада блока од годину дана. Но, и поред ниже температуре догрејане паре за све референтне нивое снаге присутно је стално убризгавање воде у хладњак за регулисање температуре догрејане паре.

С обзиром да се клизни притисак одређује за одговарајуће стање постројења, дефинисано и стањем турбине, односно одговарајућим њеним проточним константама, то би нормално требало очекивати одступање клизног притиска са променом стања постројења у односу на референтну пројектну карактеристику – сл. 9. Зато је предвиђено да се у развоју софтверског система за on-line оперативну примену потребан притисак свеже паре за одговарајући режим рачуна на основу постојећег утврђеног стања постројења, односно појединих његових компоненти. У односу на овако одређен притисак свеже паре рачунаће се одступања притиска и њихов утицај на економичност, што ће одговорати реалном стању постројења и његовим могућностима.

Одступање притиска свеже паре за «идентификовани» плутајући режим у погонским условима у односу на номиналну пројектну карактеристику клизног притиска је мало, па је и утицај овог одступања на економичност, односно губитак



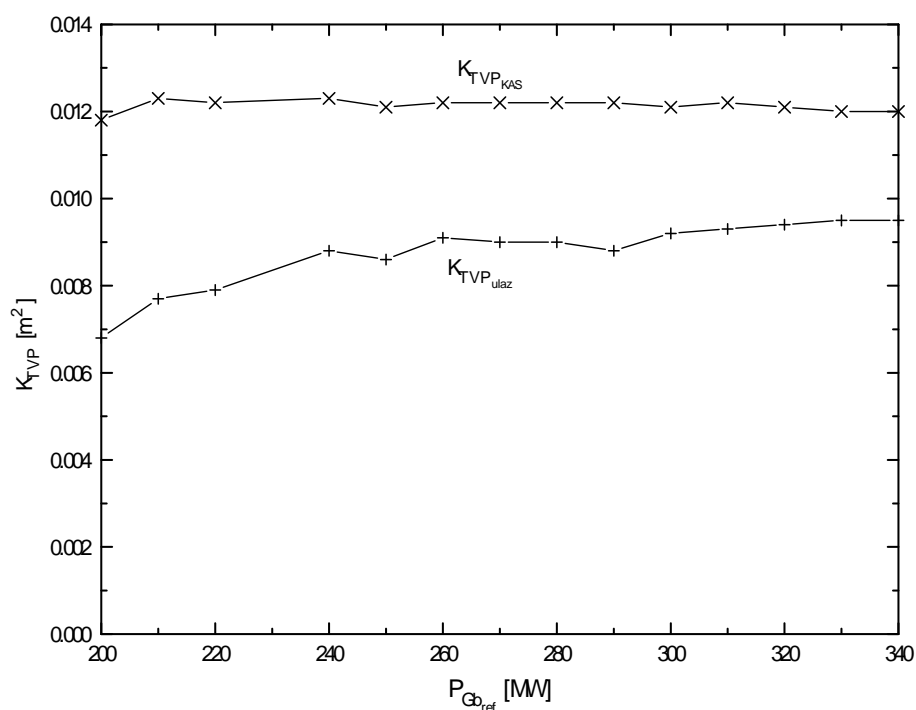
Сл. 8 Одступање температуре догрејане паре и његов утицај на губитак снаге



Сл. 9 Промена и одступање притиска свеже паре

снаге релативно мали – сл. 7. Иако према сл. 9 из анализе рада блока у дужем периоду постоји знатно одступање у погонском клизном притиску у односу на пројектну карактеристику, ово одступање је мало у области пресека ових карактеристика у коју пада и снага која одговара «идентификованом» плутајућем режиму.

Завршетак развоја софтверског подсистема за прорачун режима и његових перформанси на бази утврђеног постојећег погонског стања постројења ће омогућити добијање реалних вредности одступања специфичне потрошње топлоте и снаге. Предуслов за рад оваквог софтверског подсистема је дефинисање потребне базе параметара о погонском стању појединих компоненти постројења у претходном периоду рада блока, коју треба да обезбеди основни софтверски систем за дијагностику рада блока. Стање турбине карактерише проточна константа проточних делова турбине са непромењеним протоком. На сл. 10 су, као пример, приказани резултати прорачуна проточних константи за турбину високог притиска: нижих вредности за део улаз - излаз турбине и виших вредности за део комора првог акционог ступња – излаз турбине.



Сл. 10 Проточне константе за турбину високог притиска

5. ЗАКЉУЧАК

Адаптивни софтверски систем је предвиђен за могућност on-line оперативног деловања на побољшање одвијања процеса на основу добијених информација оперативно инструктивног карактера у реалном времену о утицају одступања појединих параметара процеса на одступање специфичне потрошње топлоте и снаге у односу на постојеће погонско стање постројења. Овим се омогућује повећање економичности рада блока према расположивом стању блока.

У раду су приказани резултати симулације рада овог софтверског система на бази постојећих база података о раду блока, а на начин како би се одвијао његов рад у реалном времену. Остварена успешна «идентификација» стабилног плутајућег режима обезбеђује услове за поуздану контролу процеса за могуће интервентно деловање на смањење одступања параметара којима се може управљати. С обзиром да се развој

софтверског подсистема за прорачун режима за добијање реалних одступања специфичне потрошње топлоте и снаге на бази постојећег функционог стања парног блока налази у завршној фази, ради илустрације рада предметног софтверског система коришћене су функције одступања за пројектно стање постројења. Напомињемо, да овако приказана одступања нису довољно тачна, јер не одговарају промењеном реалном стању постројења и његовим променљивим међузависним условима рада. Поред тога код извођења одступања за пројектно стање међузависност њиховог утицаја није узимана у обзир.

С обзиром да је за рад софтверског система за on-line оперативно деловање потребна база параметара о погонском стању постројења у претходном периоду рада блока, коју треба да обезбеди основни софтверски систем за дијагностику рада блока, посебно је описан развој основног софтверског система и његове карактеристике.

Треба да се истакне да дијагностика рада блока и могућност управљања процесом према постојећем погонском стању постројења имају највећи значај у експлоатацији термоенергетских постројења у циљу повећања њихове економичности, поузданости, расположивости и радног века. Њихова улога се и повећава са старашћу блокова и њиховим промењеним стањем и перформансама, а којима је због тога потребна већа пажња и брига.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Savić, B., Vasiljević, N., Damnjanović, S., Rosić, B., Automatic Economy Control of Thermal Power Plant by Using of Processing Measured Data, *XXVIII.KWT-Kolloquium*, Dresden, 1996, P 47a-b.
- [2] Savić, B., Stojaković, M., Vasiljević, N., Damnjanović, S., Rosić, B., Software Package for Economy Control and Diagnosis of Operating Conditions of Steam Turbine Plant, *Proceedings, Amer. Power Conf., 59th Ann. Meeting*, Chicago, 1997, Vol. 59-II, pp. 646-651.
- [3] Savić, B., Stevanović, V., Ribar, Z., Dobrosavljević, M., Nikolić, M.: Preliminary Analysis of Steam Turbine Unit Performnces of "Kostolac-B" Power Plant within Development of Software System for Diagnosis of their Operation, *Simpozium: Power Plants 2004*, 2.-5. nov. 2004, Vrnjačka Banja.
- [4] Savić, B., Stevanović, V., Ribar, Z., Jovanović, R., Dobrosavljević, M., Nikolić, M.: Some Results of Development and Preliminary Testing of Software System for Diagnosis of Operation, Economy and Operating State of Steam Power Plant, *12. Simposium of Thermal Engineers*, Soko banja, 18.-21.10.2005.
- [5] Savić, B., Jovanović, R., Ribar, Z., Stevanović, V., Dobrosavljević, M., Application of the software system for operation diagnosis of a steam power unit, *Simpozium: Power Plants 2006*, 19.-22. September. 2006, Vrnjačka Banja.
- [6] Savić, B., Jovanović, R., Ribar, Z., Stevanović, V., Dobrosavljević, M., First results from testing of a software system for diagnosis of the operation, economy and operational state of steam power plant, *38. KWT-Kolloquium*, Dresden, 24. und 25. October 2006, P6.
- [7] Савић, Б. и сар.: Софтверски систем за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране, пројекат ЕЕ107-150А финансиран од стране Министарства науке и заштите животне средине, Република Србије, Машински факултет Универзитета у Београду, 2003.-2006.
- [8] Savić, B., Perković, B., Živanović, T, M., Comparative Analysis of Operation in the Regimes with by-pass of High Pressure Heat Exchangers for Two of the Same Power but Different Configuration Steam Turbine Units, *Amer. Power Conf., 61st Ann. Meeting*, Chicago, April 6-8, 1999., Log. 40.

[9] Б. Савић, Прилог енергетској основи развоја и уклапања комбиноване производње топлотне и електричне енергије у електроенергетски систем, Докторска дисертација одбрањена 16.11.1989. на Машинском факултету у Београду (ментор проф. Драгутин Стојановић).

[10] B. Savić, Computer Program TURBOEX for the Computation of Performances of Fossil Fuel Cogeneration Plants with Extraction Steam Turbines, p.815-828 in Mathematical Modeling and Computer Simulation of Processes in Energy Systems, Hemisphere Publishing Corporation, New York, Washington, Philadelphia, London, 1990., p.922.

[11] Савић, Б. и сар.: Софтверски систем за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране, пројекат ЕЕ107-150А финансиран од стране Министарства науке и заштите животне средине, Република Србије, Елаборат: Приказ резултата за период 01.07.2003.-30.06.2004., Машински факултет Универзитета у Београду.

[12] Савић, Б. и сар.: Адаптивни софтверски систем за on-line дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране, пројекат ЕЕ213-001 финансиран од стране Министарства науке, Република Србије, Елаборат: Годишњи извештај за период 01.07.2006.-30.06.2007., Машински факултет Универзитета у Београду.