

## МЕТОДА ДИЈАГНОСТИКЕ СЛОЖЕНИХ ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА, ЊИХОВО ОДРЖАВАЊЕ И ПРОГНОЗА СТАЊА

Ненад Јањић<sup>1</sup>, Данило Микић<sup>2</sup>, Бранко Савић<sup>3</sup>, Васиљка Микић<sup>4</sup>

**Резиме:** За потребе истраживања поузданости машинских техничких система у раду је на примеру котрљајних лежајева дат математички модел заснован на компаративној анализи улазних података, основних фактора који утичу на дијагностику, развијену на основу дијагностичких критеријума. Предложени приступи се могу потпуно или делимично користити за припрему анализе података наведених система као и друге сложене машинске системе. Међутим, у већини случајева код таквих система анализе постоји као потреба за симултано праћење различитих критеријума.

**Кључне речи:** дијагностика, стање система, дијагностички критеријум, методе техничке дијагностике, прогноза стања.

## METHOD OF DIAGNOSTICS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS, THEIR MAINTENANCE AND PROGNOSIS REPAIR

**Abstract:** In order to investigate the reliability of mechanical engineering systems, a mathematical model based on a comparative analysis of input data is given in the example of rolling bearings, basic factors that affect diagnostics, developed on the basis of diagnostic criteria. The proposed approaches can be used, in whole or in part, to prepare the data analysis of said systems as well as other complex machine systems. However, in most cases such systems of analysis exist as the need to simultaneously monitor different criteria.

**Key words:** diagnostics, status, diagnostic criteria, technical diagnostics methods, forecast of the state.

### 1. УВОД

Главне тешкоће и проблеми праћења су неизбежан утицај људског фактора. Недостатак стандарда за коришћење дозвољених вредности дијагностичких критеријума и потреба за интегрисану употребу дијагностичких процедура отежавају саму дијагностику. Кључни фактори који одређују тачност анализе су искуство и стручно знање, у спровођењу дијагностике. Особина рада појединих група сложених система у већини случајева не дозвољава да се пренесе то искуство на друге предмете. Под овим условима посебно је важно стварање јединственог универзалног општег критеријума оцене вредновања који објективно одсликава тренутно стање анализираних система.

Коришћењем стандарда предложених у раду, формирани су главни дијагностички критеријуми за оцену стања котрљајних лежајева на основу параметара вибрација и температуре:

- општи ниво несинхроних компоненти котрљајних лежаја, израчунат из брзина вибрација и
- нормализован укупан ниво појаве температуре.

### 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

<sup>1</sup> Др, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, Школска 1, e-mail: [janjic@vtsns.edu.rs](mailto:janjic@vtsns.edu.rs)

<sup>2</sup> Др, Висока техничка школа струковних студија Звечан, Нушићева 6, e-mail: [mikićdaniilo@gmail.com](mailto:mikićdaniilo@gmail.com)

<sup>3</sup> Др, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, Школска 1, e-mail: [savic@vtsns.edu.rs](mailto:savic@vtsns.edu.rs)

<sup>4</sup> Мсц, Педагошки факултет Јагодина, Милана Мијалковића 14, e-mail: [vasiljka88@gmail.com](mailto:vasiljka88@gmail.com)

Одређивање стања и дијагностике отказа техничких система, применом техничке дијагностике, захтева квалитетан избор метода и техника техничке дијагностике, које треба да задовоље постављене захтеве у погледу објективности, једнозначности и поновљивости.

Већина метода контроле стања техничких система заснована је на системском праћењу појаве вибрација, буке и шума, контроли уља и мазива (подмазивања), праћењу појава и развоја корозије, праћењу топлотног стања (грејања појединих склопова) и др. Још у оквиру фазе пројектовања техничког система, пожељно је дефинисати методу одржавања праћену одговарајућим методама техничке дијагностике, односно дефинисати начин и средства контроле стања техничких система. На тај начин се директно утиче на повећање погодности контроле стања техничких система јер се конструкција прилагођава условима мерења и дијагностике отказа.

Метод техничке дијагностике сложених техничких система у радном режиму, поред осталог, обухватају следеће методе, [1, 2]:

а) вибродијагностичке методе, од којих се издвајају:

- анализа укупног нивоа вибрација, као промене механичког или процесног стања ротационе машине,

- анализа детекције отказа лежајева у раној фази настајања,

- анализа надзора и оцена стања котрљајних лежајева на машинским техничким системима,

- модална анализа, анализа за потребе дијагностике,

б) надзор и анализу технолошких (радних) параметара: броја обртаја, протока, притиска, температуре;

ц) анализу температуре, с циљем утврђивања температурних разлика код лежајних склопова, ради утврђивања прегревања и детекције проблема неуравнотежености система и сл.), као последица механичког (несаосност или закривљеност вратила);

- анализу контаминације уља, кроз унутрашњу контаминацију (као последица различитих врста хабања).

Формирање дијагностичког метода на сложеним машинским системима углавном прати њихов хијерархијски ниво организовања, уз обухватање успостављања законитости промене параметара стања система и процеса који се у њему дешавају. Систем техничке дијагностике представља у суштини пратећи систем у оквиру ових постројења, који обухвата избор дијагностичких параметара и утврђивање њихових веза са параметрима стања система, карактеристике њихове промене, нормативе, као и утврђивање могуће процене стања и давања дијагнозе за систем у сваком тренутку времена.

Контрола тренутног стања система или његових елемената (најчешће најкритичнијих по настанак отказа), дефинисање законитости појаве отказа у времену на основу базе података и предвиђање понашања система у будућности, директно су повезани са развојем средстава код којих се дијагностика примењује, као и развојем уређаја за дијагностиковање. Повишењем сложености техничких система, уз повећање зависности рада човека од поузданости рада тих система, уз све оштрије захтеве за квалитет реализованих процеса и заштиту на раду и заштиту животне средине, подразумевају примену теорије информација, постављање и проучавање метода отказа и примену рачунара при дијагностиковању и обради добијених података.

### 3. АНАЛИЗА РАЗЛИЧИТИХ МЕТОДА ДИЈАГНОСТИКЕ

Радови на популаризацији брзина параметара и њихово признавање као главни критеријум процене радне способности на машини је почело 60-тих година XX века. Тренутно је данас тако да је средње квадратно значење брзина вибрације стандардно 10 [Хз] до 1 [кХз], опсег фреквенције процењује стање вибрација ротирајућих машина за већину типова [3] и идентификацију неисправности ротационих машина (дебаланс, неправилно центрирање, итд.). Брзина и опсег су примењиви за процену котрљајних лежајева.

Анализа основних метода вибрационе дијагностике, спроведена на примеру котрљајних лежајева, је показала да данас не постоји један метод која би могао да се подједнако добро користи у оквиру брзе дијагностике и периодично праћење без обзира на врсту машине, услове рада, учесталости ротације.

Осим тога, многе методе имају ограничења. Дијагностику значајно компликују ниске фреквенције ротације, ударна оптерећења, извори случајних високих фреквенција вибрације. На тај начин, свака од претходно поменутих метода има значајна ограничења и може се користити само у малом броју случајева (у одређеној фази развоја одређеног дефекта или на конкретној техници). Дакле, за ефективну оцену тренутног стања сложених машинских система треба користити неколико различитих метода, на основу којих накнадно може да се израчуна дијагностички критеријум.

Други проблем који настаје у дијагностици, је потреба да се употребе додатни априорни подаци (фреквенција ротације, конструктивне карактеристике итд.). Уколико брзина обртања може приближно да се одреди, онда су геометријске димензије лежаја, по правилу непознате. Дакле, у изградњи дијагностичких критеријума користећи априори механизме, податке треба свести на минимум.

Било који параметри вибрација или врсте мерења, добијени на радним уређајима (агрегатима), садрже дијагностичке информације, описујући стање истовремено неколико компоненти машина. Ова процена у решавању проблема положаја стање појединих чворних тачака у параметрима вибрацијама за циљ да се побољша веродостојност дијагностике, или је неопходно искључити од разматрања компоненти друге природе. Таква решења отежавају дијагностику јер захтевају потребу за проценом могућег утицаја на основу посматраних података сила другачије природе од разних извора (вратило, радно коло, спојница итд.), на основу извршених процена и формирања дијагностичких критеријума [4].

Да би илустровали анализу, спроведену у раду, на основу теоријског знања и практичног искуства, која се стекла током извођења дијагностичког рада у различитим индустријским предузећима, спроведена је класификација разматраних више метода по критеријуму као што су спровођење хардвера, подобност за брзу анализу и периодично праћење, отпорност, потреба коришћења априори података, област примене итд. У табели 1 представљена је скала пет тачака (\*\*\*\*\* - максимална оцена, цртица-недостатак могућности), резултати класификације дати су као упоредна процена „опште доступни” метод дијагностике по наведеном критеријуму.

Сумирајући резултате анализе, можемо формулисати основне услове за дијагностику стања сложених система. Прво је потребно да се добије универзална процена на основу техничког стања комплексне употребе различитих параметара и

критеријума. Количина претходних података треба да се сведе на минимум, и утицај различитих фактора који нарушавају дијагностичке информације, по могућности елиминише.

С друге стране, оцена стања сложених система, истовремено на неколико дијагностичких критеријума веома је дуго трајан задатак. Много лакше и ефикасније је да се примењују математички модели дијагностике у једнодимензионалном простору функција [4, 5].

Табела 1. Скала критеријума

Метод дијагностике	Дијагностичке методе		
	<i>t</i>	Убр. <i>v</i>	Брз. <i>v</i>
Примена опреме	****	****	****
Потреба за обуком	**	***	****
Анализа по једном мерењу	****	****	****
Периодично праћење	*****	*****	*****
Идентификација дефекта	****	****	****
Оцена стања подмазивања	*** ( <i>m</i> )	**	***
Коришћење додатних података	****	****	****
Отпорност на сметње	****	***	****
Ограничења на употребу	-	об	об
Легенда	<i>t</i> -температура <i>m</i> -периодично праћење	Убр. <i>v</i> - убрзања вибрација об- ограничење брзине	Brz. <i>v</i> - брзина вибрација

На тај начин, када се у дијагностику искључује „људски фактор”, препоручљиво је да се користи један критеријум, формира „најбољи” начин *N*-димензионални, где је *N*-број употребљивих дијагностичких критеријума, односно служи за решавање задатака скаларизације. Осим тога, неопходно је на основу добијених података предложити адекватан модел, описујући развој дефекта, математички апарат, процену са датом тачношћу, тренутни статус који дијагностикује локацију.

Поред тога, како би се задовољили захтеви савремене производње за разне облике организовања одржавања и поправке, у предузећу у оквиру успостављеног система мора да се обави предвиђање, процени преостали живот и планира оптимална активност ремонта [6]. За ово у дијагностици морају бити решени проблеми алокације

(расподела) - тренда за податке шума односно буке, изградња различитих типова предвиђања, избором оптималне стратегије за одржавање.

На тај начин, основни задатак који се мора решити у апарату (хардверу) или програмски (софтверу) за ефикасну дијагностику сложених техничких система, може бити формулисан на следећи начин:

- претрага за већину информативних података,
- стварање алгоритама њиховог филтрирања,
- развој метода и алгоритама за дијагностику,
- опис модела деградације,
- развој алгоритма избором оптималног облика услуга и
- креирање и реализација процедура за предвиђање.

Спроведена анализа постојећих до данас апарата (хардвера) и софтвера за избор најпогоднијих алата за креирање аутоматских дијагностичких процедура сложених система, била је заснована на већ развијеним стандардним алатима.

#### 4. ФОРМИРАЊЕ ДИЈАГНОСТИЧКОГ КРИТЕРИЈУМА

Провера исправности, радне способности и функционалности техничког система, уз лоцирање места отказа на најнижем хијерархијском нивоу, елементи су на чијој се бази врши процена преосталог века коришћења или тренда појаве неисправности. Значајни економски ефекти и снижење експлоатационих трошкова кроз правовремено откривање могућих узрока отказа компоненти техничког система, могуће је остварити кроз примену метода и средстава техничке дијагностике. При томе, дијагностика и дефинисање узрока могу се остварити у току саме експлоатације система или у оквиру застоја и времена за ремонт постројења и опреме, па се разликују експлоатациона и ремонтна техничка дијагностика, као саставни елементи одржавања према стању. Значајна примена техничке дијагностике је и код прогнозирања краткорочне и дугорочне поузданости техничког система и њене оптимизације, најчешће по економском критеријуму[7].

Техничка дијагностика представља значајно средство за повишење поузданости, економичности и сигурности сложених техничких система. Основни задаци техничке дијагностике сложених техничких система као што су производни системи, енергетски системи, се формулишу као: прогнозирање и спречавање хаварија, смањење броја и дужине трајања испада кроз предвиђање, откривање и праћење развоја отказа, скраћивање обима планских и непланских ремонта на рачун усавршавања и примене метода техничке дијагностике, спречавање или отклањање, у процесу експлоатације техничких система, услова рада који су генератор оштећења и појаве отказа и рачунаром подржано праћење радних ресурса и ефективности производње машинских техничких система.

Методе мерења при утврђивању техничког система, које представљају скуп посебних поступака при којима се дефинишу односи неких измерених величина, могу бити апсолутне и релативне, методе мерења контактне и бесконтактне, методе мерења или диференцијалне и комплексне методе мерења. Основна карактеристика метода испитивања без разарања материјала је непосредно извођење на предметима контроле, без узимања узорка и њиховог разарања. С друге стране, испитивање материјала разарањем материјала је утврђивање својстава материјала, кроз коришћење проба узетих из конкретног дела. Савремене технике испитивања материјала са разарањем омогућују испитивања следећих својстава: својства чврстоће, стабилност на повишеној

температури, пластичност, отпорности на крти лом, отпорности према оксидацији површине, отпорности према интеркристалној и напонској корозији, заварљивости материјала, релаксације и др.

Основна сложеност овакве процене је неизбежни утицај људског фактора. Непостојање прописа о дозвољеним вредностима дијагностичких критеријума и неопходност за њихово коришћење отежавају формализовање дијагностичких поступака. Кључни фактори одређивања значајне анализе су искуство и стручно знање коришћења дијагностике. Особености рада одвојених група сложених система у већини случајева не дозвољавају преношење овог искуства на друге објекте. Под оваквим условима, посебно је важно формирање оцене јединственог универзалног критеријума, објективно одржавање тренутног стање анализираних система.

Ово поглавље у раду се бави теоријским аспектима дијагностике сложених техничких система, као и могућностима пружања дијагностике одступања. Представљен је теоријски и математички алат како би се обезбедила прикладност контроле сложених техничких система. У поглављу су представљена решења задатка и примена контроле поновљивости - систем тестирања. Наводе се принципи за један критеријум и више критеријумска оптимизација дијагностике сложених система са више кварова.

Методе представљене у овом поглављу имају висок степен универзалности и могу се користити у свим областима науке и технике, које захтевају поуздану дијагностику и ефикасности контролу техничких објеката, система или производа.

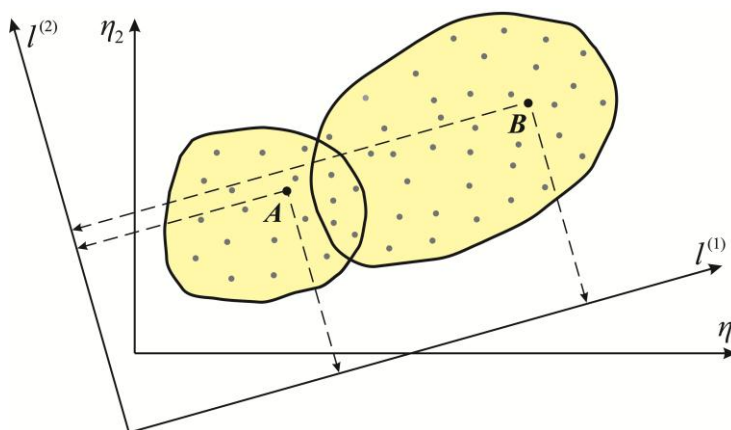
#### 4.1. Метод оптималне скаларизације

Један од најефикаснијих приступа у формирању општег критеријума, односно замена вектора дијагностичких карактеристика скаларне величине, је „оптимална” скаларизација [8, 9]. Претпоставимо да постоје две групе предмета, у овом случају лежаја: А-„после монтаже” (у добром стању) и Б- „пред хаварисано” (у веома лошем стању). Објекти сваке групе карактеришу узорци,  $X_1^A, \dots, X_{N_A}^A$  и  $X_1^B, \dots, X_{N_B}^B$  односно, где  $N_A$  - број објеката у групи А, а  $N_B$  - број објеката у групи Б. Сваки вектор у узорку,  $X_j^z$ ,  $z = A, B, j = 1, \dots, N_z$  представља  $n$  - димензионални  $X_j^z = (X_{j1}^z, \dots, X_{jn}^z)$ , при чему  $X_{ji}^z$  -  $i$ -ти дијагностички критеријум  $j$ -ти објекат. Идеја о формирању „најбоље” скаларизације заснива се на замени вектора  $X_j^z$  скаларом:

$$r_j^z = \sum_{i=1}^n l_i \cdot X_{ji}^z \quad (1)$$

Коефицијенти  $l_i$  у формули (1) су изабрани неким „оптималним начином” [8, 9].

Најјаснији поступак за утврђивање „најбоље” скаларизације може бити представљен, коришћењем геометријске интерпретације. Замена вектора дијагностичких критеријума  $X_j^z$  скаларом  $r_j^z$  из формуле (1) еквивалентна је сваком пројектовању  $X_j^z$  на неку праву линија са правцем вектора  $l = (l_1, \dots, l_n)$ . На слици 1 представљена су два скупа А и В у дводимензионалном простору. Очигледно, да пројекција на правац  $l^{(1)}$  омогућава више јасних разлика између А и В од пројекција на  $l^{(2)}$ .



Слика 1. Геометријска интерпретација скаларизације

Фишер Р. је предложио да се изабере правац  $l$  тако да је однос разлике квадрата, пројектован на  $l$  средњих вредности за збир варијације (дисперзије) пројектованих узорака максимална. Фишер је посредством вектора изразио став средњих вредности и матрице коваријанси.

Претпоставимо, да сваки вектор посматрања замењен је својом пројекцијом:

$$y_j^z = l_1 \cdot X_{j1}^z + \dots + l_n \cdot X_{jn}^z = l \cdot X_j^z \quad (2).$$

Средња вредност пројектованог узорака је:

$$\hat{y}^z = \sum_{j=1}^{N_z} \sum_{k=1}^n l_k \cdot X_{jk}^z / N_z = l \cdot \hat{\mu}_z \quad (3)$$

где је:  $\hat{\mu}_z$  - математичко очекивање.

Из Формуле (3) може да се израчуна математичко очекивање вектора за сваку групу (A и B).  $\hat{\mu}_A^{(i)} = \sum_{m=1}^{N_A} X_{mi}^A / N_A$  и  $\hat{\mu}_B^{(i)} = \sum_{m=1}^{N_B} X_{mi}^B / N_B$  - односно математичко очекивање вектора за групе A и B.

Пројекције дисперзије узорака изражена је у следећој форми:

$$D = l \cdot \left( \sum_{z=A,B} (N_z)^{-1} \sum_{j=1}^{N_z} (X_j^z - \hat{\mu}_z)(X_j^z - \hat{\mu}_z)^T \right) \cdot l^T = l \cdot (S_A + S_B) \cdot l^T \quad (4)$$

$$S_z = \|V_{ij}^z\|, u, j = 1, \dots, n, z = A, B$$

$$V_{ij}^z = N_z^{-1} \cdot \sum_{m=1}^{N_z} (X_{mi}^z - \hat{\mu}_z^{(i)}) \cdot (X_{mj}^z - \hat{\mu}_z^{(j)}) \quad (5).$$

На тај начин, оптимални вектор Фишера  $l$  приказује следећи израз:

$$D' = \frac{(l \cdot (\hat{\mu}_A - \hat{\mu}_B))^2}{l \cdot (S_A + S_B) \cdot l^T} \quad (6).$$

За посебну матрицу  $S_A$  и  $S_B$  вектора  $l_*$ , максимално  $D'$  се одређује као:

$$l_*^T = (S_A + S_B)^{-1} \cdot (\hat{\mu}_A - \hat{\mu}_B)^T \quad (7).$$

У циљу одређивања да ли постоји довољно јасна дефинисана подељена група  $A$  и  $B$ , може да се користи следећи полу-емпиријски критеријум [5,8]:

$$|\hat{y}^A - \hat{y}^B| > 2,5 \cdot (\hat{\sigma}_A + \hat{\sigma}_B) \quad (8).$$

где су:

$S_A$  и  $S_B$  - оцене коваријационих матрица за групе  $A$  и  $B$ ,

$\hat{y}^A$  - дијагностички критеријум за групу  $A$ ,

$\hat{y}^B$  - дијагностички критеријум за групу  $B$ ,

$\hat{\mu}_A$  - одговарајуће очекивање вектора за групу  $A$ ,

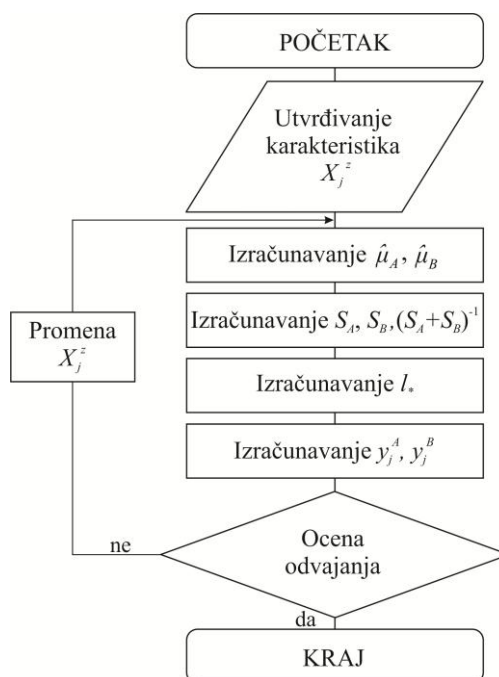
$\hat{\mu}_B$  - одговарајуће очекивање вектора за групу  $B$  и

$l_*^T$  - транспоновани вектор повећања.

## 5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

За формирање јединственог дијагностичког критеријума, на основу мноштво постојећих дијагностичких критеријума, у раду је предложен алгоритам приказан на слици 2.

На основу добијених мноштва дијагностичких карактеристика за две групе објекта ( $A$  - у добром стању и  $B$  - у лошем стању)  $X_1^A, \dots, X_{NA}^A$  и  $X_1^B, \dots, X_{NB}^B$  сукцесивно на основу формуле (3), израчунава се математичко очекивање  $\hat{\mu}_A$ ,  $\hat{\mu}_B$ , матрица коваријансе  $S_A$ ,  $S_B$  једначина (5), инверзна матрица збира  $(S_A + S_B)^{-1}$  и оптимални вектор Фишера  $l_*$  (формула 7). На основу наведених података, из формуле (2) израчунава се димензионални узорак јединственог дијагностичког критеријума  $y_j^A$ ,  $y_j^B$ . За процену „двојивости” групе  $A$  и  $B$  добијамо неједнакост (8). Ако је неједнакост исправна, онда знакови су такви да су групе  $A$  и  $B$  довољно раздвојене, ако не, неопходно је променити много дијагностичких карактеристика.



Слика 2. Алгоритам за генерисање јединственог дијагностичког критеријума

## 6. ZAKLJUČAK

За решење задатака на основу процене поузданости и предвиђања радне способности објеката, неопходно је имати математички модел, који се представља аналитичким изразом. Основни начин за добијање модела састоји се у спроведеним испитивањима, израчунавању статистичке процене и њихове апроксимације аналитичких функција.

У периоду нормалне експлоатације интензитет отказа опада и практично остаје константан, при чему су откази услед хабања случајних карактера и појављују се изненада, пре свега, из непоштовања услова експлоатације, случајних одступања оптерећења, неповољних спољних фактора итд. Наиме, овај период усаглашен је на основу времена експлоатације објеката.

Повећање интензитета отказа односи се на период старења објеката и проузрокован је повећањем броја отказа услед хабања, старења и других узрока, повезаних са дуготрајном експлоатацијом.

За потребе истраживања поузданости сложених система у раду представљени су математички модели засновани на анализи дијагностичких величина у склоповима ових система.

У изради модела у раду примењено је више заснованих метода. Коришћен је модел Роц крива, где су дефинисане величине грешака на лежајевима машинских система и утврђена скала разматраних стања дијагностикованих система. Такође, коришћен је модел бинарне логистичке регресије који указује на статистички метод који омогућава предвиђање и оцењивање могућности настанка вероватноће, када одређени дефекат наступи на котрљајном лежају.

На основу добијених резултата истраживања у лабораторијским условима (испитивање лежајева) и експлоатационим узорцима испитивања на, и примене одговарајућих математичких модела, дошло се до адекватних математичких модела

сложених машинских система, којима је представљено понашање лежаја са аспекта појаве неисправности.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Адамовић, Ж., Техничка дијагностика, Завод за удбенике и наставна средства, Београд, 1998.
- [2] Миличић, Д., Миловановић, З., Монографија Енергетске машине - Парне турбине, Машински факултет, Универзитет у Бањој Луци, Бања Лука, 2010.
- [3] Snyder, W. E., Industrial Robots: Computer Interfacing and Control, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 24-33, 1985.
- [4] Микић, Д., Десница Е., Ашоња, А., Стојановић, Б., Елифанић-Пајић, В. (2016). Analysis of the tribological process with rolling element bearings of reciprocating compressors, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.22, No.4-IV, pp. 5060-5070, (ISSN: 1310-4772).
- [5] Микић, Д. (2016). Моделирање машинских техничких система коришћењем матрица трансформације, Докторска дисертација, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин.
- [6] Јањић, Н., Микић, Д., Ашоња, А., Станковић, Н., Петровић, Д., (2018). Дијагностика стања машинских техничких система заснована на примени бинарне регресије, 4. Међународна конференција управљање знањем и информатика, Зборник радова, стр. 172-181, 12 - 13. Јануар 2018, Копоник.
- [7] Микић, Д., Десница, Е., Ашоња, А., Адамовић, Ж. (2012). Mechanical Modeling of Industrial Machines, II International Conference - Industrial Engineering and Environmental Protection 2012 (IIEEP 2012), pp.185-191, 31 October 2012, Zrenjanin, Serbia. (ISBN: 978-86-7672-184-9).
- [8] Десница, Е., Микић, Д., Палинкаш, И., (2017). Дијагностика стања котрљајних лежајева на машинско-техничким системима, 26. Међународни научнo-стручни скуп „Организација и технологија одржавања“ - ОТО 2017, Зборник радова, страна . 13-19, ИСБН:978-953-6032-92-1, 26. септембра 2017, Осijek.
- [9] Михалевић, В. С.: Методы последовательное оптимизации, Москва, 1991.