

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Поузданост у развоју машинских конструкција

Број индекса: 332/2014

Милена Г. Ивановић

Анализа стабла отказа система фрикционе спојнице

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добривоје Ћатић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да представи и опише функционисање система за пренос снаге тј. система фрикционе спојнице, објасни метод анализе стабла отказа, да примени ту методу на реалном машинском систему, да изведе закључке о поузданости тог система и да да предлоге како побољшати конструкцију како би се добио поузданији систем.

Препоручена литература:

- [1] Добривоје Ћатић, Поузданост у развоју машинских система, Крагујевац, 2010.
- [2] Добривоје Ћатић, Методе поузданости машинских система, Крагујевац, 2009
- [3] Вујошевић М., Анализа стабла неисправности, Техника 1983.

Крагујевац, 07. 7. 2016.

ментор:

Др Добривоје Ћатић, ред. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру рада, извршено је прикупљање, систематизација и анализа података везаних за анализу стабла отказа спојнице. Описана је идентификација циљева ФТА, дефинисање вршног догађаја, дефинисање догађаја за утврђени вршни догађај, дефинисање резолуције ФТА, конструисање стабла отказа, процена стабла отказа, тумачење и презентовање резултата. Пре самог представљања система, направљен је историјски пресек анализе стабла отказа.

Кључне речи: истраживање, анализа отказа, вршни догађај, поузданост.

ABSTRACT

In this work, there were collected, systematized and analyzed data related to the fault tree analysis couplings. The work described their identify the objective for the FTA, defined the top event of the FTA, defined ground rules for the FTA, construct the FTA, evaluate the FTA, interpreted and presented the results. Before the representasion of a system , an a historical section has been made about development of the fault tree analysis couplings.

Key words: research, failure analysis, top event, reliability.

САДРЖАЈ

<u>1. УВОД У АНАЛИЗУ СТАБЛА ОТКАЗА</u>	6
<u>2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ</u>	8
<u>2.1 Основни концепт FTA</u>	8
<u>2.2 Почети развоја FTA</u>	8
<u>2.3 Признавање значаја анализе стабла отказа</u>	9
<u>2.4 Инцидент на Аполу 1</u>	9
<u>2.5 Инцидент на острву Три Миље</u>	11
<u>2.6 Несрећа спејс шатла Челинџер (Challenger)</u>	12
<u>2.7 Преглед догађаја</u>	13
<u>3. ОСНОВНА УПУТСТВА ЗА АНАЛИЗУ СТАБЛА ОТКАЗА</u>	15
<u>3.1 Правила за формирање стабла</u>	16
<u>3.2 Стандардни симболи анализе стабла отказа</u>	19
<u>3.3 Границе анализе стабла отказа</u>	21
<u>3.4 Дефинисање вршног догађаја</u>	21
<u>3.5 Грешке и пропусти</u>	22
<u>3.6 Неуспешни механизам, неуспешни режим, и неуспешни ефекат</u>	23
<u>4. ФОРМИРАЊЕ СТРУКТУРНОГ МОДЕЛА ИЛИ БЛОК ДИЈАГРАМА ПОУЗДАНОСТИ</u>	26
<u>4.1 Редна конфигурација елемената</u>	26
<u>4.2 Паралелна конфигурација елемената</u>	27
<u>4.3 Комбинована конфигурација елемената</u>	29
<u>4.4 Квалитативна анализа стабла отказа</u>	30
<u>4.5 Квантитативна анализа стабла отказа</u>	32
<u>5. ФРИКЦИОНА СПОЈНИЦА И СТАБЛО ОТКАЗА</u>	34
<u>5.1 Значај, улога и механизам спојнице</u>	34

<u>5.2 Саставни делови спојнице</u>	36
<u>5.3 Процес рада спојнице</u>	40
<u>5.4 Периоди рада спојнице</u>	41
<u>5.5 Једнодискосне спојнице</u>	45
<u>5.6 Командни уређаји спојнице</u>	52
<u>6. СТАБЛО ОТКАЗА СПОЈНИЦЕ</u>	55
<u>6.1Квалитативна анализа стабла отказа</u>	57
<u>7. АНАЛИЗА НАЧИНА И ПОСЛЕДИЦА ОТКАЗА</u>	61
<u>8. ЗАКЉУЧАК</u>	63
<u>ЛИТЕРАТУРА</u>	65

1. УВОД У АНАЛИЗУ СТАБЛА ОТКАЗА

Анализа стабла отказа представља једну од основних метода анализе сигурности система. Заснива се на конструисању шеме стабла отказа. То је дедуктива метода, што значи, да се прво дефинише врши догађај система, а потом се анализира утицај понашања елемената система на појављивање вршног догађаја. Анализа се врши помоћу логичких релација између догађаја. Нежељени догађаји и откази елемената откривају се индуктивном анализом. Отказ система преставља заправо нежељено стање система, а појављује се као резултат неуспеха појединих елемената система.

Стабло отказа, и њему супротно стабло исправног рада представљају моделе који описују могуће отказе и догађаје који доводе до тих отказа. Стабло отказа је потпуно када су разрађени сви откази до простих догађаја, који не захтевају даље рашчлањивање или анализу. Анализа стабла отказа узима у обзир прекорачења оптерећења, грешке у конструкцији, људски фактор и много других узрока начина отказа.

Догађај представља динамичку промену стања елемента система. Постоји више врста догађаја:

- вршни догађај (у стаблу отказа, то је нежељени догађај највишег реда, односно отказ система);
- примарни догађај (догађај који се даље не разлаже због недостатка информација или се сматра да је даље поједностављивање немогуће) и
- посредни догађај (догађај који је последица једног или више посредних или примарних догађаја).

На почетку анализе стабла отказа неопходно је дефинисати стање система које може да се назове отказом система. Када је вршни догађај дефинисан, анализом конфигурације система, треба пронаћи потенцијалне отказе елемената или процедуралне грешке које доводе до отказа читавог система. Односи између догађаја су приказани графички, помоћу стандардизованих симбола. Потребно је пронаћи све узрочно-последичне везе због којих долази до отказа система. Отказ неког дела система је најчешће последица отказа других делова нижег реда, а то се може представити преко стабла отказа. Пошто сваки систем садржи најчешће изузетно велики број подсистема, за сваки подсистем се прави посебно стабло отказа, а затим се она здружују у једно. Када се врши идентификација начина на који неки елемент може да откаже, потребно је да проблем буде сагледан из што већег броја углова.

Скуп пресека догађаја представља скуп догађаја који доводи до отказа система, а минимални скуп пресека догађаја представља скуп догађаја који не може бити редукован, а чије одигравање доводи до отказа система.

Важно је напоменути да најчешће стабло отказа не представља свеобухватни модел узрока неуспеха техничког система, већ покрива само отказе које је тим аналитичара

проценио као приоритетне. Упротивном би конструкција и анализа стабла отказа захтевале много времена, па производ не би био конкурентан на тржишту.

2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ

Анализа стабла отказа представља алат за анализу, визуелни приказ и процену ризика отказа система. Многи стручњаци и корпорације су упознати са овом анализом и користе је за процену поузданости. У наредним поглављима биће описан историјски развој ФТА, њена важна побољшања током година, као и идеје стручњака који су дали допринос у развоју методе ФТА. Ова метода је осмишљена 1961. године и у њен развој је било укључено много стручњака. Од тада је ФТА постала широм света позната метода, неопходна у конструисању и развоју машинских система.

2.1 Основни концепт ФТА

Основни концепт ове методе представља превод отказа физичког система у визуелни дијаграм и логички модел. Дијаграм веома једноставно показује везе између елемената система и могући узрок отказа система или једног његовог дела. Логички модел обезбеђује квалитативну и квантитативну анализу. Анализа стабла отказа је заснована на теорији поузданости, Буловој алгебри и теорији вероватноће. Веома једноставан скуп правила и симбола омогућава анализу врло сложених система, као и хардверску и софтверску подршку за решавање проблема из области поузданости.

2.2 Почети развоја ФТА

Х. А. Вотсон (H. A. Watson) из компаније Бел Лабораторије (Bell Laboratories), ступа у контакт са ваздушним снагама Сједињених Америчких Држава и договара проучавање лансирних система. Тада је први пут примењена анализа стабла отказа. Дејв Хасл (Dave Haasl) из компаније Боинг (Boeing) увиђа значај овог алата и почиње да води тим који примењује ФТА на цео ракетни систем. Када су друге групе ове компаније виделе резултате ФТА, прихватиле су је и одмах су почеле да је користе у конструкцији комерцијалних авиона. 1965. године Боинг и универзитет у Вашингтону постају спонзори прве конференције о поузданости система. Између осталог, на овој конференцији је представљена и анализа стабла отказа, што је обележило почетак интересовања целог света за овом методом. 1966. године Боинг је развио симулациони програм под називом BACSIM, као и програм за формирање стабла отказа на 26 – инчном штампачу. Оба програма су радила на рачунару IBM 370. То су било програми коришћени само унутар компаније Боинг, развио их је Боб Шредер (Bob Schroeder) и мало људи ван Боинга је знало да они постоје.

Пратећи авио индустрију, нуклеарна индустрија је убрзо открила предности коришћења анализе стабла отказа, и почела да је користи као средство у развоју нуклеарних електрана. У исто време, захваљујући стручњацима из области нуклеарне

физике, анализа стабла отказа је побољшана и њен значај је постао још већи. Заправо нуклеарна енергетика је допринела много више напретку ФТА, него било која друга научна дисциплина. Направљени су многи нови алгоритми, као и софтвери који су их користили. ФТА је такође усвојена од стране хемијске процесне индустрије, ауто индустрије, железничког саобраћаја, а у новијој историји почиње да се користи и у роботизи. Постоји много других индустрија и научних дисциплина где се ФТА користи.

2.3 Признавање значаја анализе стабла отказа

Понекад је случај да се систему безбедности не даје довољан значај и да се пажња на то скреће тек после несреће или инцидента. Несреће које су овде наведене су биле нежељене и са тешким последицама, али су помогле да се боље утврди и спроводи анализа стабла отказа.

2.4 Инцидент на Аполу 1

До трагедије је дошло на лансирној рампи током теста за мисију Аполо 204, што је требало да буде прва Аполо мисија са људском посадом (Слика 2.1). Лансирање је било заказано за 21. фебруар 1967. али су астронаути Гас Грисом (Gus Grissom), Едвард Вајт (Edward Higgins White) и Роџер Шафе (Roger B. Chaffee) изгубили своје животе када је избио пожар у командном модулу.



Слика 2.1 Посада Аполо 1, Грисом, Вајт и Шафе [13]

Астронаути су ушли у Аполо у 13:00 часова, у четвртак, 27. јануара 1967. Одмах су се појавили проблеми. Када је Гас Грисом ушао у летелицу и прикључио се на снабдевање кисеоником осетио је чудан, кисео мирис. Међутим, посада је после разговора са Грисомом одлучила да настави тест.

Следећи проблем је представљала индикација велике концентрације кисеоника која је с времена на време активирала главни аларм. Посада је о овоме разговарала са контролним центром, где су сматрали да је кисеоник потицао од кретања посаде. Проблем није заиста разрешен.

Трећи озбиљан проблем се појавио у комуникацијама. У почетку, постојао је проблем у комуникацији само између главног пилота Грисома и контролног центра. Посада се овоме прилагодила. Касније, проблем се проширио и на комуникације између зграде где се одвијала операција, зграде за надгледање и бункера у комплексу 34.

Прекид у комуникацијама је довео до заустављања одбројавања тачно у 17:40. До 18:31 све је било спремно за наставак одбројавања када су инструменти на земљи показали необјашњив пораст протока кисеоника у свемирска одела. Четири секунде касније, један од астронаута, вероватно Шафе, је објавио преко интерфона да осећа дим. Две секунде касније објавио је да се шири пожар. Процедура хитне евакуације је захтевала најмање 90 секунди. Али у стварности посада никада није успела да обави ту процедуру за предвиђено време. По једном извору, Вајт је заправо успео да обави део поступка пред него што га је дим онесвестио. Техничари летелице су потрчали ка запечаћеном Аполу, али пре него што су стигли до њега, командни модул је експлодирао. Угљенисани остаци кабине су приказани на слици 2.2. Почели су да се шире дим и пламен. Тада се појавила нова опасност. Ватра је могла да активира систем Апола за евакуацију приликом лансирања. То је, за узврат, могло да упали целу потпорну структуру. Део особља је почео да бежи. Међутим, један део особља је покушао да спасе астронауте. Велика топлота и густ дим су представљали велику препреку, али на крају су успели. На жалост, било је сувише касно, астронаути су већ били мртви. Ватрогасци су стигли три минута пошто су врата отворена, доктори убрзо за њима. Лекарска комисија је установила да су астронаути умрли од гушења угљен диоксидом, са опекотинама као додатним узроком. Ватра је уништила 70% Грисоновог свемирског одела, 20% Вајтовог и 15% Шафеовог. Двадесет и седморо људи је потражило лекарску помоћ због удисања дима. Двоје су хоспитализовани.



Слика 2.2 Угљенисани остаци кабине Апола 1 [13]

После уклањања тела НАСА је запленила све у лансирном комплексу 34. Насин администратор Веб је 3. фебруара саставио комисију за испитивање узрока несреће. Инжењери у центру за свемирске летелице са посадом су симулирали услове у Аполу 204 без чланова посаде у капсули. Реконструисали су догађаје и истрага на рампи 34 је показала да је ватра почела у једном чворишту каблова на левој страни кабине - место које је било видљиво Шафеу. Пожар је вероватно био невидљив око пет до шест секунди док Шафе није активирао аларм. Детаљна истрага пожара и прерада командних модула

су одложили сва лансирања са људском посадом. Програм Сатурна 1Б био је суспендован скоро годину дана.

У пролеће 1967. године Насин заменик администратора за свемирске летове са људском посадом, др Џорџ Милер, објавио је да ће мисија намењена Грисому, Вајту и Шафеу бити позната као Аполо 1, а да ће лансирање Сатурна В, заказано за новембар 1967. бити убележено као Аполо 4. Лансирање АС-204 је постало познато као мисија Аполо 5. Ни једна мисија никада није означени као Аполо 2 или Аполо3.

После пожара при лансирању Аполоа, 27. јануара 1967. године, НАСА је унајмила стручњаке из Боинга да спроведу потпуно нов и свеобухватан сигурносни програм за цео Аполо пројекат. Као део овог напора, анализа стабла отказа је извршена на целом Аполо систему, што је помогло да се анализа стабла отказа популаризује.

2.5 Инцидент на острву Три Миље

Острво три миље је острво површине $3,3 \text{ km}^2$ на реци Сасквехана (Susquehanna) у Пенсилванији (Америка) и име нуклеарне електране. Име овог острва се веома често повезује са хаваријом 28. марта 1979. године, када се делимично отопило језгро реактора ТМІ-2 нуклеарне електране “Острво три миље”, (слика 2.3). Назив реактора није изведен из површине острва на коме се налази, већ из чињенице да се налази 3 миље од градића Мидлтаун (Middletown). Електрана се састојала из два реактора типа PWR (енгл. ТМІ-1 и ТМІ-2). Главна пумпа за воду, која је хладила секундарни прстен електране, искључила се неочекивано око 4 сата ујутру 28. марта 1979. године. Отказ је настао услед механичких и електричних проблема (који су били чести), што је довело до тога да генератор паре престане да хлади воду примарног прстена. У овом случају електрана има резервне системе хлађења зоне, што значи да ово изненадно искључење пумпи не би требало да има никакве последице на нуклеарну безбедност и саму електрану. Приликом ове катастрофе, није дошло до озрачења особља које опслужује реактор. Тих година, у Америци се планирала изградња 129 нуклеарних електрана. Након несреће која се догодила, реализовано је само 53 пројекта. Важно је напоменути, да је пре несреће око 70% популације подржавало амерички нуклеарни програм, док је после несреће овај број пао на 50% и временом је бивао све мањи и мањи. Санација електране је почело у августу 1979. године и завршено је крајем 1993. године. Од 1985. до 1990. године, скоро 100 тона радиоактивног горива је уклоњено из ове нуклеарне електране.



Слика 2.3 Нуклеарна електрана на острву три миље [13]

После несреће спроведено је неколико студија коришћењем анализе стабла отказа, које су дале много прецизније и поузданије резултате него студије изведене 1976. године, а које нису укључивале Анализу стабла отказа. Резултати су помогли доказивању важности ФТА, али и истражи и отклањању будућих евентуалних несрећа.

2.6 Несрећа спејс шатла Челинџер (Challenger)

28. јануара 1986. године амерички свемирски програм доживео једну од највећих трагедија у својој историји, када је 76 секунди од узлетања, спејс шатл Челинџер експлодирао и том приликом погинуло свих 7 чланова посаде (слика 2.4). Многи људи и данас верују да је трагедију изазвала грешка у конструкцији резервоара за погонско гориво, јер није узета у обзир ниска температура која је владала на космодрому у моменту лансирања. Иако су ови узроци значајни, постојао је још велики број мало познатих фактора који су утицали на трагични губитак Челинџера на 25. лету шатл-програма. Да је тог трагичног дана макар један од њих био избегнут, можда се несрећа никада неби ни догодила.



Слика 2.4 Посада спејс шатла Челинџер [13]

Последице Челинџерове катастрофе покренуле су интензивну истрагу, коју је наредио лично председник. Водио ју је Вилијам Роџерс (William Rogers), а у њој су била имена као што су Нил Армстронг (Neil Armstrong), Сели Рајд (Sally Ride), Чак Јегер (Chuck Yeager). Истрага је разоткрила бројне неправилности у програму шатл, урачунавши конструктивне недостатке, лошу управу, слабу комуникацију унутар Насе и са уговарачима, као и неадекватан сигурносни поступак. Најочигледније промене које је донела истрага јесу редизајнирање гумених прстенова за заптивање, додатни систем за спашавање посаде, и веће рестрикције у условима неопходним за одобравање лансирања шатла (слика 2.5).

Те мере су биле на снази све до 2003. године, када је у другој великој катастрофи програма шатл изгубљен спејс шатл “Колумбија”.

Мада између ове две несреће нема никакве директне везе, интересно је приметити да је кључни фактор у несрећи “Челинцера” био најгори ветар који је икада дувао у историји шатлова, док се несрећа “Колумбије” десила за време другог најјачег ветра у историји.



Слика 2.5 Челинцер у тренутку несреће [13]

Након овог инцидента, као и у претходним случајевима, независни ревизиони тим почиње да користи анализу стабла отказа да би обезбедио адекватну поузданост система. Ова студија је доказала велики значај FTA методе.

2.7 Преглед догађаја:

Почеци (1961 – 1970):

- Х. Вотсон из Бел лабораторије, заједно са А. Марнсом (A. Mearns) развија технику за процену сигурности система за лансирање у ваздухопловству (1961);
- Добијање признања од Дејв Хасла (Dave Haasl) из Боинга као значајан алат за анализу система безбедности (1963);
- Прво масовно коришћење ове методе од стране Боинга, на читав Minuteman ракетни систем за процену безбедности (1964 - 1967, 1968-1999);
- Технички радови на анализи стабла отказа који су представљени на првој конференцији безбедности система која је одржана у Сијетлу (јун 1965);
- Боинг почиње да користи анализу стабла отказа у конструкцији комерцијалних авиона (1966);
- Боинг развија први софтвер за симулацију стабла отказа.

Ране године (1971 – 1980):

- Анализа стабла отказа је усвојена за примену у нуклеарној индустрији;
- Развијају се многи нови алгоритми за ову методу;
- Створени су нови софтвери за анализу стабла отказа (Prepp/Kitt, SETS, FTAP, Importance, COMCAN).

Средње године (1981 – 1990):

- Употреба ове методе постаје међународна, нарочито посредством нуклеарне индустрије;

- Велики број стручних радова на ову тему је објављен.

Новије године (1991 - 2011):

- Наставак употребе на многим системима у многим земљама;
- Висок квалитет анализе стабла отказа и побољшање софтвера за персоналне рачунаре (PC);
- Употреба ове анализе у роботизи.

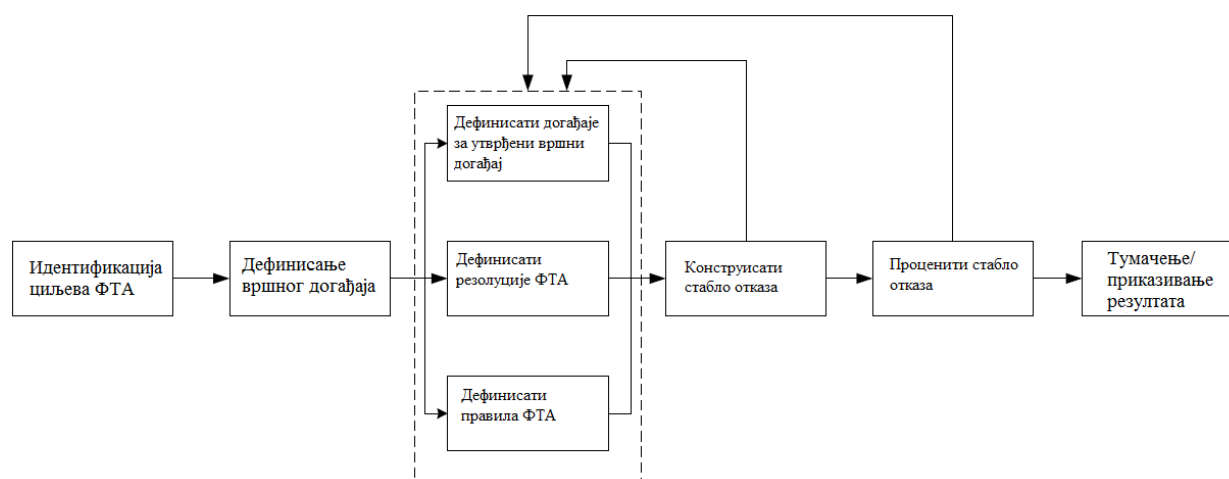
Следе битни догађаји и допринос појединаца у развоју анализе стабла отказа:

- Дејв Хасл осмишљава методологију и правила која бивају прихваћена у индустрији;
- Џери Фасл (Jerry Fussell) покреће аутоматско конструисање стабла отказа помоћу модела;
- Пауверс (Powers) и Томпикис (Tompkins) развијају аутоматско стабло отказа за хемијске системе;
- Лап (Lapp) и Пауверс (Powers) развијају програм Fault Tree Synthesis;
- 1970. године В. Визли (W. Vesely) развија теорију кинетичког стабла отказа (KITT) и компјутерски програм PREPP/KITT;
- Фасл и Визли развијају алгоритам MOCUS, методу добијања пресека догађаја;
- П. Пенд (P. Pande), М. Спектор (M. Spector) и П. Читарџи (P. Chatterjee) стварају алгоритам за минимални пресек догађаја MICSUP;
- Д. Расмунсон (D. Rasmuson) и Н. Маршал (N. Marshall) побољшавају MOCUS и развијају алгоритам FATRAM;
- Рендал Вили (Randall Willie) развија веома популаран софтвер FTAP;
- Дик Ворел (Dick Worrell) развија SETS компјутерски програм који је и данас у употреби;
- (Howard Lambert) развија програм под називом IMPORTANCE.

3. ОСНОВНА УПУТСТВА ЗА АНАЛИЗУ СТАБЛА ОТКАЗА

1. Идентификација циљева ФТА
2. Дефинисати вршни догађај
3. Дефинисати догађај за утврђени вршни догађај
4. Дефинисати резолуције ФТА
5. Дефинисати правила ФТА
6. Конструисати стабло отказа,
7. Проценити стабло отказа
8. Протумачити и презентовати резултате

Првих пет корака укључује формулисање проблема ФТА. Остали кораци укључују реално конструисање анализе отказа, подручја анализе отказа, као и тумачење резултата анализе стабла отказа. Док је већина корака изведена редом, кораци 3-5 су изведени истовремено. Није неуобичајено за кораке 4 и 5 да се мењају током корака 6 и 7. међусобни од осам корака приказани су на слици 3.1. Повратна информација се приказује на слици.



Слика 3.1 Формулисање проблема ФТА, конструисање анализе отказа и тумачење резултата

Први корак за успешну анализу стабла отказа је да се дефинише циљ анализе стабла отказа. Ово може изгледати очигледно; Међутим, било је много случајева у којима се изводи слободно, али анализа не задовољава циљ доносиоца одлуке или менаџера који

је наручио. Да би био успешан циљ треба да буде формулисана у смислу отказа система који се анализирају. На пример, ако је општи циљ је да се процене различити пројекти за задатак, онда је потребно посебно дефинисати отказе пројекта и да буду идентификовани.

Вршни догађај анализе отказа је догађај за који ће бити решени разлози грешке односно отказа. На врху догађај дефинише режим неуспех система који ће бити анализирани. Пример би био бенigno затварање мотора. Понекад циљ може да подразумева дефинисање и анализу више од једног отказа. У овом случају одвојени вршни догађаји су дефинисани. Конкретно, за дати задатак може постојати неколико циљева и резултујуће стабло отказа може бити веома различито у зависности од одређеног циља одабраног за даљу анализу. На пример, за људском посадом лансера циљ може бити губитак возила (лов), губитак посаде (ЛОЦ) или губитак мисије (ЛОМ). У сваком случају, настали откази би вероватно били другачији, чак и на истом задатку. Ако задатак има различите фазе, затим посебан вршни догађај који је за сваку фазу потребно да се дефинише. Фазама анализа задатка ће бити речи у наредном одељку.

Правило бр. 1 – Познавање сврхе и предности анализе стабла отказа.

Прво је потребно утврдити да ли је анализа стабла отказа одговарајући алат за задати проблем. Ово укључује разумевање сврхе и предности анализе стабла отказа. Такође је важно да се тај алат користи правилно. Анализа стабла отказа не укључује анализу ризика. Такође анализа стабла отказа не служи да идентификује потенцијална оштећења система. Циљ анализе је сазнавање на који начин до нежељеног догађаја може да дође. Потребно је узети у обзир све факторе и успоставити везу између њих, па је тек тада прорачун стабла отказа могуће извршити. Анализа стабла отказа представља дедуктивну методу, која логички комбинује све потенцијалне неуспехе, догађаје и услове који могу да доведу до појаве нежељеног догађаја, односно отказа система или његовог дела.

Основна разматрања обухватају:

- коришћење правог алата;
- исправно коришћење алата;
- анализа стабла отказа је средство за дедуктивну анализу узрока, идентификацију догађаја који доводе до отказа, прорачун вероватноће да до нежељеног догађаја дође, запажање на који начин је могуће побољшати конструкцију да до отказа не би дошло, цртање дијаграма, односно самог стабла отказа.

Правило бр. 2 – Познавање сврхе и циља задате студије анализе стабла отказа.

Прво што је потребно утврдити је да ли се потребни циљеви за задату анализу могу обезбедити преко анализе стабла отказа. Ово обухвата разумевање проблема, захтева и циља анализе. Пре било какве анализе потребно је утврдити да ли ће резултати задовољити циљеве проблема. У неким случајевима у уговорима је наглашено да је потребно извршити анализу стабла отказа. Када то није наглашено, аналитичар сам одлучује да ли је ова анализа одговарајућа.

Основна разматрања обухватају:

- решавање правог проблема на прави начин,
- успостављање везе између проблема и решења,
- утврђивање да ли ће резултати анализе стабла отказа задовољити проблем и
- проверу да ли је топ догађај исправан и објашњен на прави начин, да ли је коришћен коректан модел и да ли је решење могуће.

Правило бр. 3 – Успостављање правила за анализу стабла отказа.

Веома је важно да основна правила буду брзо успостављена. Потребно је обратити пажњу да се не потроши превише времена на погрешан проблем или за непотребне области, јер на тај начин читава анализа стабла отказа губи смисао. У исто време је значајно договорити са клијентима обим анализе. Важно је направити уговор за анализу стабла отказа, тако да сви који су укључени у анализу разумеју свој задатак. То помаже да се касније избегну сукоби, јер се често дешава да различити стручњаци имају другачије погледе када је ова анализа у питању.

Основна разматрања обухватају:

- дефинисање и документација проблема,
- обим проблема, где су објашњене величина проблема, ниво анализе и ниво детаља,
- скуп граница и обима анализе,
- успостављање дефиниције анализе,
- провера да ли је топ догађај тачан и разумљив,
- објава правила пре почетка анализе (дефиниције, обим, границе, ниво детаља и дубина анализе, правила грађења, формат анализе) и
- склапање уговора о анализи између тима конструктора и купца.

Правило бр. 4 – Конструисање стабла отказа.

Да би стабло отказа било функционално, потребно је конструисати га на прави начин. Грешке учињене у раним фазама анализе стабла отказа, могу да негативно утичу на касније фазе конструисања стабла отказа. Често је немогуће исправити грешке у каснијим фазама, нарочито ако је стабло отказа велико, и на њему ради више аналитичара или организација. Стабло отказа представља баланс између циљева, могућности, расположивих података, алата, времена и новца. Мала стабла отказа (која садрже мање од 100 догађаја) не захтевају много напора, док средња (од 100 до 1000 догађаја) и велика (преко 1000 догађаја) захтевају много рада и планирања.

Основна разматрања обухватају:

- стабло отказа треба да се заснива на стварним подацима,
- праћење основних правила и формата анализе стабла отказа,
- успостављање имена догађаја узимајући у обзир методологију, тип хардвера, и правило да су краћа имена лакша за манипулацију од дугих имена. Такође је важно да имена догађаја буду јасна, видљива и исправна,
- успостављање имена методологије за трансфере,

- повезивање података,
- стварање базе података која садржи податке о основним догађајима, логичким капијама, условним догађајима итд,
- одређивање нивоа детаљности анализе,
- обратити пажњу на детаљан опис нежељених догађаја (није довољно да се напише само “отказ”, већ и зашто је отказ настао),
- одабир праве капије,
- коришћење одговарајућег програма за цртање и штампање стабла отказа,
- поседовање одговарајућег излазног уређаја (плотера) и
- пожељно је саветовање са другим стручњацима за анализу стабла отказа.

Правило бр. 5 – Одлично познавање система.

Подразумева се да је у циљу анализе стабла отказа потребно потпуно разумевање конструкције и рада система. Једна од основних предности и особина анализе стабла отказа је потреба за разумевањем система, јер једино тако може прецизно да се изгради стабло отказа за задати систем. Познавање и разумевање система међутим укључује много различитих и важних елемената.

Основна разматрања обухватају:

- познавање конструкције и рада система,
- познавање веза између подсистема,
- искоришћавање свих информација о конструкцији, што укључује цртеже, процедуре, блок дијаграме, дијаграме тока, FMEA анализе, извештаје у неуспесима итд,
- коришћење актуелних података, да би се добили актуелни резултати,
- захтевање вештине из ове области инжењерства (електроника, механика, софтвер) и
- провера да ли је стабло отказа исправно од стране конструкторског тима и купца.

Правило бр. 6 – Разумевање података о неуспеху.

Разумевање података о отказу система је још један од кључних корака у изградњи стабла отказа. Ово укључује познавање квалитативних и квантитативних података. Нетачни или погрешно интерпретирани подаци могу довести до погрешног модела и погрешних резултата. Подаци о отказу компоненте система се односе на режим рада, стопу неуспеха и податке о поузданости. Поуздани и доказани подаци су очигледно најпожељнији и дају најпрецизније резултате. Са друге стране прелиминарни подаци и процене могу да буду од велике користи, јер могу да убрзају процес производње.

Основна разматрања обухватају:

- потребно је да постоје подаци помоћу којих може да се изврши квантитативна процена,
- тачност и веродостојност података,
- разумевање режима рада који доводи до неуспеха.

Правило бр. 7 – Познавање алата за анализу стабла отказа.

Постоји велики број различитих алата за анализу стабла отказа, који имају различите могућности и нивое тежине. Веома је важно познавање алата, јер неки алати обезбеђују функције које други не поседују. Потребно је установити који се резултати у анализи захтевају, и тиме се водити у одабиру алата.

Основна разматрања обухватају:

- познавање основних могућности алата (конструкција, уређивање, цртање, извештај),
- познавање граница алата и
- препоручено је да се користи алат који је једноставан за руковање, и ког којих је лако извршити промене итд.

Резултати добијени анализом стабла отказа морају бити исправно схваћени и проверени, нарочито пре закључака и препорука. Веома је лако погрешно протумачити резултате. Постоји могућност да добијени резултати нису тачни, а то може да буде последица рачунарске грешке, грешке у полазним подацима, употребе застарелих цртежа или људског фактора. Посебно је значајно да се изврши провера резултата анализе стабла отказа.

Правило бр. 8 – Документација и објављивање резултата анализе.

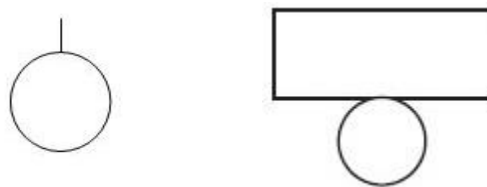
Након завршетка анализе стабла отказа, генерална је пракса да се документују резултати. Ако у захтевима документација није тражена, треба узети у обзир да је увек пожељно направити је. Документација не треба да садржи само сумирање резултата анализе, већ и основна правила, дефиниције, информације о конструкцији, дијаграме стабла отказа, резултате и закључке. Документација може бити коришћена у наредним истраживањима, и потребно је да аналитичари могу лако да пронађу тражене податке из документације. Све ово је потребно због могућих будућих промена или ажурирања анализе стабла отказа које се некад врше и годинама после прве анализе.

3.2 Стандардни симболи анализе стабла отказа

Стандардни симболи у анализи стабла отказа су догађаји, капије и симболи за трансфер. Иако су стандардизовани, ови симболи могу да се мало и разликују у различитим референцама и различитим софтверима. Симболи за догађаје се користе за примарне и посредне догађаје. Примарни догађаји се не развијају даље, док се посредни догађаји налазе на излазу капије. Симболи догађаја су следећи:

- **Примарни базични догађај**

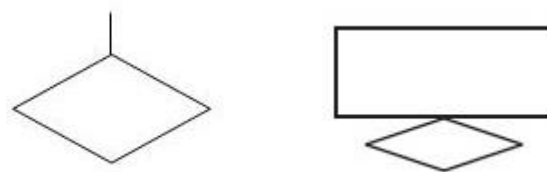
Догађај који не захтева даље развијање. То је независан догађај који се користи само као улаз у логичку капију.



Слика 3.2 Симболи примарног базичног догађаја

➤ **Секундарни (неразвијени) базични догађај**

Догађај који није развијен до сопственог узрока, или зато што то не би имало нарочит значај или зато што не постоји расположива информација.



Слика 3.3 Симболи неразвијеног догађаја

➤ **Нормално очекивани догађај**

Назива се још и спољашни догађај. То је догађај који се очекује у нормалним условима рада, али може да изазове отказ система. Појава спољних догађаја као што је земљотрес, често мора да се узме у обзир при конструисању, а у анализи стабла отказа се представља као нормално очекивани догађај.



Слика 3.4 Симбол нормално очекиваног догађаја

➤ **Условни догађај**

Условни догађај представља услов или ограничење под којим се неки догађај дешава. Скоро увек се користи уз неку од капија.

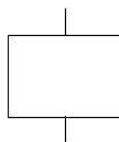


Слика 3.5 Симбол условног догађаја

➤ **Вршни или посредни догађај**

Овај симбол се користи да представи вршни догађај или стање система након других догађаја, односно после логичких капија.

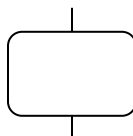
У правоугаонику се налази опис догађаја. У неким случајевима и у неким радовима, као што се види на претходним сликама, овај симбол се користи у комбинацији са примарним или секундарним догађајима, да би се лакше описао догађај.



Слика 3.6 Симбол вршног или посредног догађаја

➤ **Задовољавајући догађај**

Догађај на излазу из логичке капије који у систем једноставно постоји, а користи се да покаже употпуњеност логичке анализе.



Слика 3.7 Симбол задовољавајућег догађаја

3.3 Границе анализе стабла отказа

Анализа стабла отказа представља алат за анализу и вредновање неуспеха рада система, односно његових елемената. Такође обезбеђује процену ризика отказа на нивоу система. Од оснивања анализа стабла отказа, као математичка метода и као рачунарски код је често била побољшавана. Као што је већ наведено, један од најзначајних напредака је прелазак са mainframe рачунара на РС, и са плотера специјализованих за ову анализу на mainframe рачунарима на обичне ласерске или индекст штампаче. Иако је компјутеризација анализе стабла отказа изузетно значајна, најважнији део методе представља стварање ове теорије. Ако стабло отказа није правилно конструисано, компјутеризована анализа стабла отказа је бесмислена. У овом раду неће бити наведене само основне дефиниције и појмови повезани са анализом стабла отказа, већ садржи велики бој информација довољних да се изврши ова анализа.

Постоје различите фазе, кораци и аспекти у анализи стабла отказа, где је основни корак конструкција стабла отказа. Правила везана за конструкцију су од кључног значаја за могућност анализе и за њену тачност. Познавање сваког од ових правила, омогућава аналитичару да конструише стабло отказа [2].

3.4 Дефинисање вршног догађаја

У првом кораку методологије анализе стабла отказа неопходно је дефинисање стања у коме систем не испуњава стандарде који описују исправан систем.

Отказ система може да буде потпун или делимичан. Изузетно је важно направити разлику у стању отказа које наступа тренутно и стању делимичног отказа, где систем може да заврши започету операцију, па тек тада да се изврши ремонт. Само ако се дефинисање вршног догађаја јасно изврши, могуће је препознати догађаје који доводе до отказа.

Приликом дефинисања вршног догађаја, важно је да се дефинише догађај у смислу посебних критеријума који дефинишу појаве. Онда отказ система се дефинише као немогућност задовољавања датом критеријуму за успех. На пример, ако су критеријуми успеха за дати систем хлађења да две од три пумпе стартује и да ради 12 сати онда отказ система је да две пумпе не почињу са радом или да не наставе да раде 12 сати. Ово служи за вршну дефиницију догађаја.

Потребно је почетно стање система који се дефинише као део вршног догађаја или као део обима анализе. Ови поени се могу сажети на следећи начин:

1. Да бисте дефинисали вршни догађај, треба дефинисати критеријуме за појаву догађаја. За отказ на систему, прво дефинисати критеријуме за успех система.
2. Осигурати да је вршни догађај је у складу са проблемом који треба решити и циљеви анализе.
3. Ако нисте сигурни у горњем случају, дефинисати алтернативне дефиниције које покривају вршни догађај и проценити применљивост сваког од њих.

3.5 Грешке и пропусти

Направљена је разлика овде између прилично специфичних речи "неуспеха" и више опште речи "грешка". Као пример разлике може бити релеј. Ако преноси правилно када је напон преко својих терминала, ово је релеј "успех". Ако, међутим, релеј не затворе под овим околностима, то је релеј "неуспех". Друга могућност је да је релеј затвара у погрешно време због неправилног функционисања неких узводних компонената. Ово свакако није релеј неуспех; Међутим, неблаговремено релеј операција може добро да доведе цео круг да уђе у једно незадовољавајуће стање. Појава као што се означава овде као "грешка", тако да, уопштено говорећи, сви откази су грешке, али нису сви недостаци пропусти. Неуспеси су основни абнормалне појаве, а грешке су "вишег реда" или више општих догађаја.

Размотрити следећи мост који је требало да повремено да се отвара да дозволи пролаз морског саобраћаја. Изненада, без упозорења, један лист моста се окрете до неколико метара због команде од оператора. Ово није отказ моста, јер је требало да отвори на команду и јесте. Међутим, овај догађај је грешка јер је механизам мост одговорио на преране команди издате од стране пратиоца моста. Тако је пратилац је део овог "система" и да му је неблаговремено акција која је изазвала тог моста грешку.

Правилно дефиниција отказа захтева спецификацију не само што је непожељно стање могуће, али и када се догоди. Ово "шта" и "када" спецификације треба да буде део описа догађаја који су ушли у стабло отказа.

Отказ може бити поправљен или не, у зависности од природе система. Под условима без ремонта, грешка која се јавља ће наставити да постоји. У поправљеном систему разлика мора бити између појаве отказа и њеног даљег опстанка.

Ова разлика је од значаја само у стаблу отказа квантификације (којима ће се расправљати у каснијем поглављу). Са становишта изградње стабла отказа само феномен настанка изазива забринутост.

3.6 Неуспешни механизам, неуспешни режим, и неуспешни ефекат

Дефиниције система, подсистема и компоненти су релативне, и зависе од контекста анализе. "Систем" је укупна структура разматрања, што се заузврат састоји од подређених структура под називом "подсистема", који заузврат су састављене од основних грађевинских блокова под називом "компоненте".

На пример, у грешке отказа у Space Shuttle Solid Rocket Booster (СРБ) вектором потиска (ТВЦ) може да се назове као систем. Подсистем је тада, на пример, агрегат за покретање мотора (АПУ) из ТВЦ. Саставни је онда пумпа за гориво за АПУ. У посебној анализи, дефиниције система, подсистема и компоненти генерално направљена је да боље обезбеди хијерархију догађаја и границе до проблема. Ове дефиниције се користе у именовању шеме развијеног за стабло отказа. Кључни аспект је да се елементи система посматрају у смислу њихових функција-вештачки системи граница се углавном игноришу.

У изградњи стабла отказа, основни концепти ефеката отказа, начина неуспеха и механизма отказа су важни у одређивању одговарајуће међусобне карактеристике међу догађајима. Када се обратио ефекти инсуфицијенције, забринутост је зашто су поједини откази од интереса, тј, какви су његови ефекти (ако их има) на систему? Када се детаљно начини неуспех, управо оно што аспекти компоненте неуспеха јесу забринутост? Када су наведени механизми инсуфицијенције, како ће и на који начин неуспех доћи? Алтернативно, механизми инсуфицијенција производе режим неуспеха, што, заузврат, имају одређене ефекте на функционисање система.

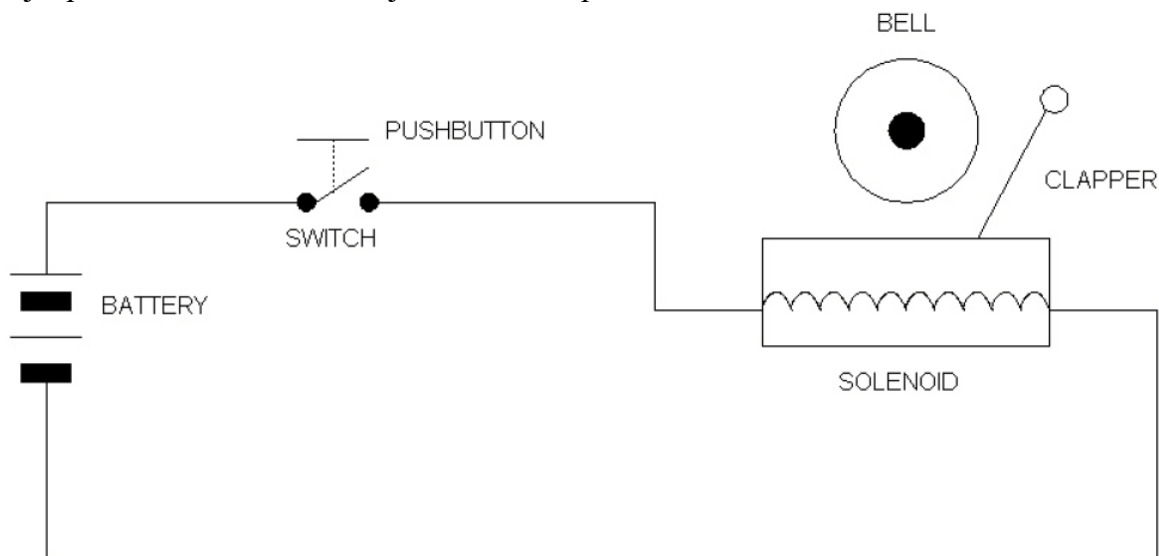
Да би се илустровали ови концепти размотрити систем који контролише проток горива до мотора, табела 3.1. Подсистем интереса састоји од вентила и вентила актуатора.

Табела 3.1 Подсистем интереса састоји од вентила и вентила актуатора

Опис догађаја	Систем	Подсистем	Вентил	Актуатор
Нема протока из подсистема када је то потребно	Механизам	Приказ	Дејство	
Вентил не може да се отвори		Механизам	Приказ	Дејство
Везивање актуатора			Механизам	Приказ
Корозија актуатора				Механизам

Неки од догађаја су дати у левој колони у табели испод. На пример, "вентил не може да отвори" је механизам подсистема неуспеха, режим неуспеха вентила, и ефекат погоном неуспеха.

Да би између механизам-приказ-дејство разлика била јаснија, размотрити једноставан систем за звона и припадајућим колом из перспективе система, подсистема и дизајнера компоненте. Систем је шематски приказано на слици 3.8.



Слика 3.8 Систем за звона и припадајућим колом из перспективе система, подсистема и дизајнера компоненте

Са становишта дизајнера и његов поглед на систем, начини пада система су:

- (1) Звоно на вратима не звони када се притисне дугме.
- (2) Звоно на вратима ненамерно звони када се не гура дугме.
- (3) Звоно на вратима не престане да звони када је пуштен тастер.

Ако је дизајнер сада сео и направио листу од механизма отказа који изазивају начине неуспеха интереса, листа би била остварена добит која одговара режима отказа подсистема дизајнера који заправо набавља прекидач, звоно-магнетни јединице, батерија, и жице.

Су:

- (1) Смена - (а) не успостави контакт (укључујући и случајног Опен)
 - (Б) не да се пробије контакт
 - (В) ненамерно затвара
- (2) Бел-соленоид јединица-не звони када се примењује снага (укључује пропуст да се настави звони са снагом примењено)
- (3) батерије-ниски напон услов
- (4) жице отвореног кола или кратког споја.

Истакнуто је да овај последњи попис представља механизме отказа за режим система дизајнерских и неуспех за дизајнера подсистема. Такође је списак ефеката отказа са становишта дизајнера компоненте приказан у табели 3.2.

Табела 3.2 Списак ефеката отказа

Грешка дејства	Грешка приказа	Механизам
Прекидач не остварује контакт	• Контакт поломљен • Висока отпорност на контакт	• Механички удар • корозија
Звоно-магнетна јединица не звони	• поломљен или није везан • селеноид веза сломљена или заглављена • недовољна магнетно-моторна јачина	• удар • корозија • отворено коло • кратак спој
Ниски напон од батерије	• нема електролита • позитиван пол поломљен	• цурење у кућишту • удар

Режими пада система представљају различите врсте отказа система. У стаблу отказа у терминологији то су "топ догађаји" које аналитичар може узети у обзир. Аналитичар ће истражити непосредне узроке за њен настанак. Ови тренутни узроци ће бити непосредни механизми отказа за одређени пад система, и они ће представљати пропусте појединих подсистема. Ови последњи пропусти ће бити режими отказа за дизајнера подсистема и да ће чинити други ниво отказа система. Ове компоненте су основни узроци или такозвани "основни догађаји" утврђене границе резолуције стабла.

Са становишта компонената дизајнера, сви подсистеми и систем отказа на стаблу отказа представљају ефекте отказа; то јест, они представљају резултате појединих отказа компоненти. Ако би дизајнер требало да конструише стабло отказа, било који од ових компоненти отказа може представљати одговарајући вршни догађај. Другим речима, компонента дизајнера "систем" је сама компонента. Нижи нивои дизајнера у анализи стабла отказа би се састојао од механизма или узрока за компоненте отказа. Ово ће укључити ефекте контроле квалитета, заштите животне средине као ефекти, итд, и у многим случајевима ће бити испод границе од резолуције система дизајнера.

4. Формирање структурног модела или блок дијаграма поузданости

Сви технички системи представљају функционалну целину која се састоји од елемената, односно саставних делова који су повезани одређеним релацијама. За познавање функционисања система, поред познавања функционисања елемената, неопходно је разумевање њихових међусобних веза. Треба правити разлику између блок дијаграма и блок шеме система, јер блок шема истиче функционалне везе елемената, док блок дијаграм приказује утицај отказа елемената на отказ система.

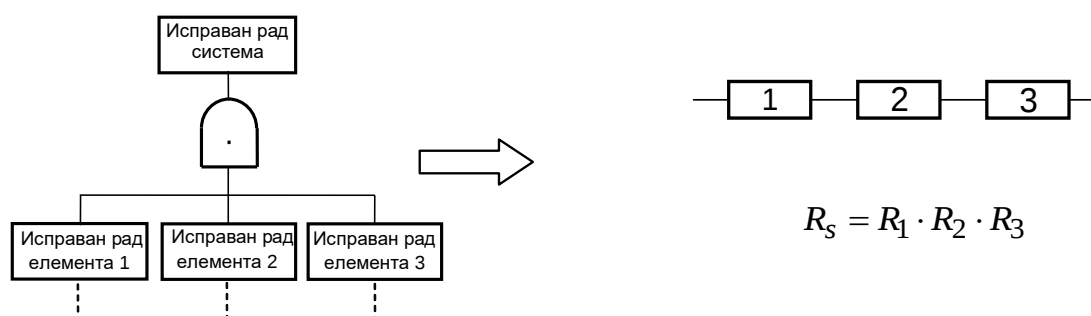
Начини повезивања у структурном блок дијаграму могу бити:

- редна конфигурација елемената (систем без резерве),
- паралелна конфигурација елемената,
- комбинована конфигурација елемената (редно-паралелне или паралелно редне конфигурације),
- специфичне везе елемената (код сложених система) и
- резервирани системи.

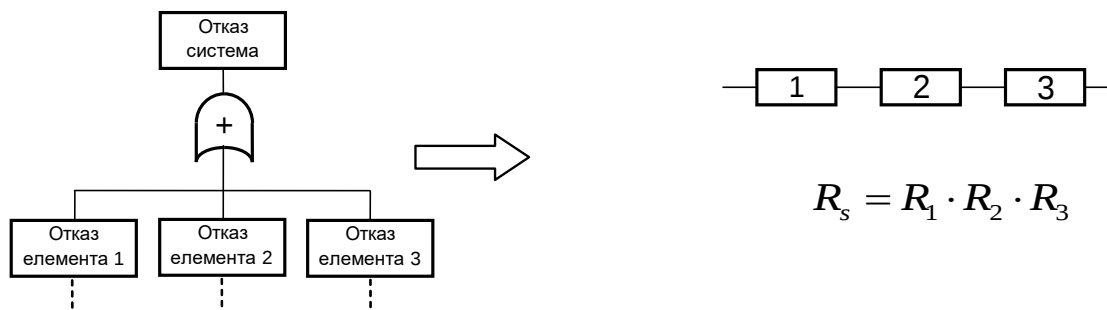
Већина машинских система, са аспекта поузданости, може се представити помоћу паралелних и редних веза, тако да ће оне у наредном поглављу бити детаљно објашњене, док ће остале бити поменуте. Потребно је водити рачуна да ли се за формирање блок дијаграма поузданости користи стабло исправног рада или стабло отказа [2, 3, 4], .

4.1 Редна конфигурација елемената

Редна веза се у поузданости користи да представи "И" логичку капију, када је у питању стабло исправног рада (слика 4.1), или за "Или" логичку капију, када је у питању стабло отказа (слика 4.2).



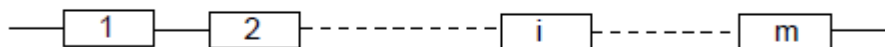
Слика 4.1 Претварање стабла исправног рада са "И" логичком капијом у блок дијаграм поузданости [1]



Слика 4.2 Претварање стабла отказа са "Или" логичком капијом у блок дијаграм поузданости [1]

Ако је систем приказан помоћу редне везе, то значи да ће да ради исправно уколико сви елементи система раде исправно. Нека X_i представља елемент у исправном стању. Поузданост оваквог система једнака је вероватноћи пресека догађаја $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m$, односно:

$$R_s = P(X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_i \cap \dots \cap X_m). \quad (4.1)$$



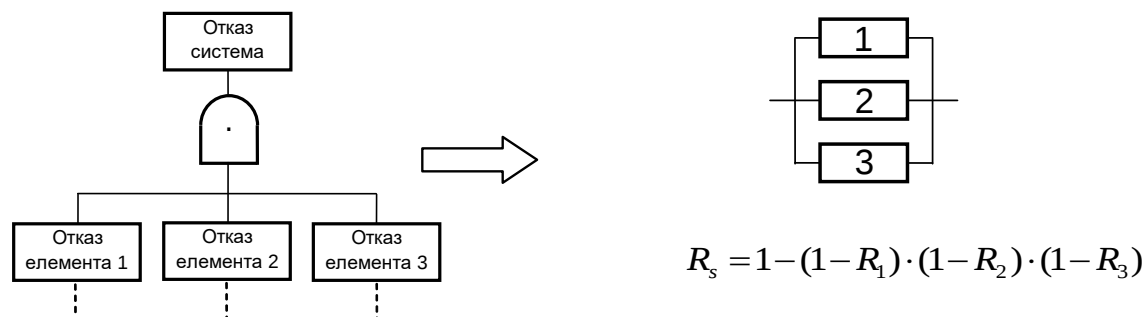
Слика 4.11 Пример редне везе [1]

Ако рад једног елементна не утиче на рад других елемената, односно ако су откази међусобно независни, онда се поузданост система може записати на следећи начин:

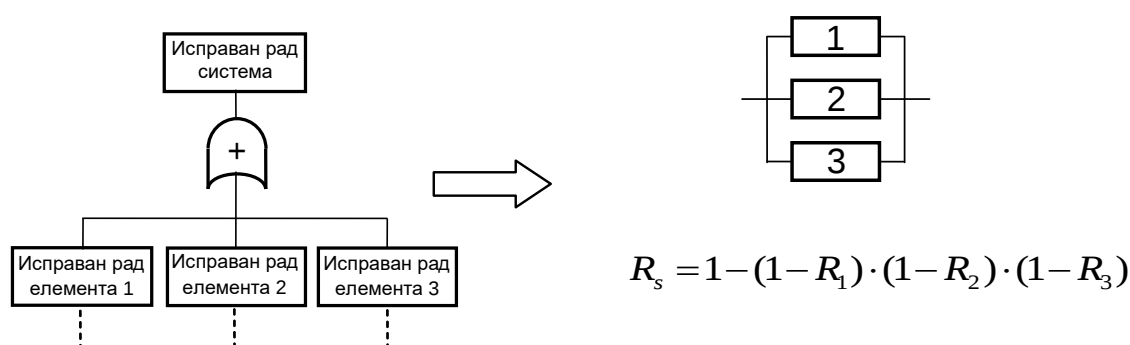
$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_i \cdot \dots \cdot R_m = \prod_{i=1}^m R_{i,j} = 1 \dots m \quad (4.2)$$

4.2 Паралелна конфигурација елемената

Паралелна веза се у поузданости користи да представи "И" логичку капију, када је у питању стабло отказа (слика 4.3), или да представи "Или" логичку капију, ако је у питању стабло исправног рада (слика 4.4).

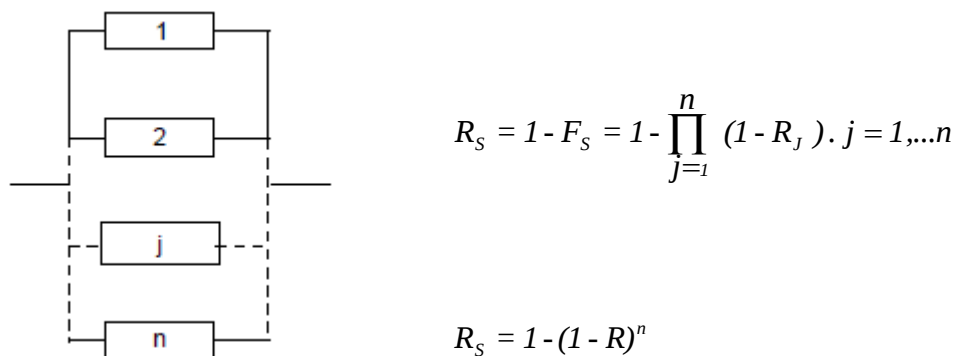


Слика 4.5 Претварање стабла отказа са "И" логичком капијом у блок дијаграм поузданости [1]



Слика 4.6 Претварање стабла исправног рада са "Или" логичком капијом [1]

Систем са паралелном конфигурацијом отказује уколико откажу сви елементи система, односно поузданост система са паралелном везом је:



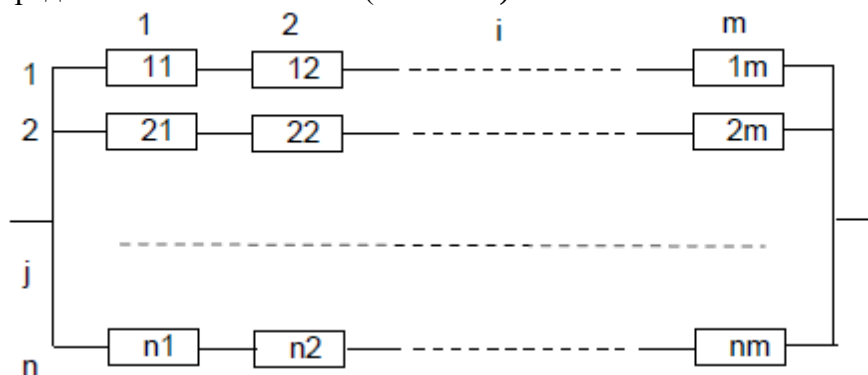
Слика 4.7 Блок дијаграм поузданости система са паралелном везом [1]

4.3 Комбинована конфигурација елемената

Код система са комбинованом конфигурацијом елемената, одређивање поузданости се своди на уочавање редних и паралелних веза. Затим се за њих одреди поузданост, и редом се систем своди на еквивалентни редни или паралелни модел. Подразумева се да су откази елемената међусобно независни. Постоје две основне комбиноване конфигурације. То су паралелно-редна и редно-паралелна [2,3].

4.3.1 Паралелно-редна конфигурација елемената

Блок дијаграм система који су представљени паралелно-редном везом садржи n грана, са по m редно везаних елемената (слика 4.8).



Слика 4.8 Блок дијаграм поузданости система са паралелно-редном везом [2]

Поузданост може да се одреди коришћењем израза:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{j=1}^n [1 - R_j(t)], \quad (4.3)$$

где је: $R_j(t)$ - поузданост рада j -те гране у току времена рада, а n - број грана у паралелној вези у блок дијаграму поузданости.

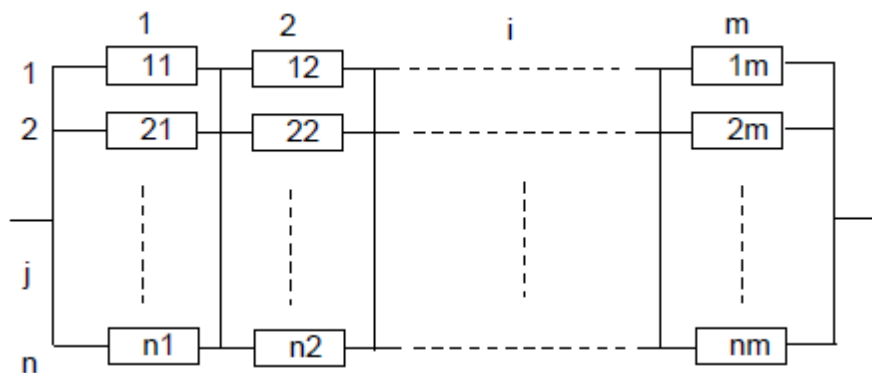
У случају да су вредности поузданости свих елемената једнаке, користи се образац:

$$R_s(t) = 1 - (1 - R^m)^n, \quad (4.4)$$

где је: m – број редно везаних елемената у свакој од грана [2].

4.3.2 Редно-паралелна конфигурација елемената

Ове везе се користе да представе системе са m група, са по n паралелновезаних елемената у свакој групи (слика 4.9).



Слика 4.9 Блок дијаграм система са редно-паралелном везом [2]

Поузданост се одређује изразом

$$R_s(t) = \prod_{j=1}^n R_j(t) = \prod_{j=1}^n R_j(t) \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n [R_{ji}(t)] \right\}, \quad (4.5)$$

где је R_i - поузданост i -те групе.

У случају да сви елементи имају исту поузданост, користи се образац:

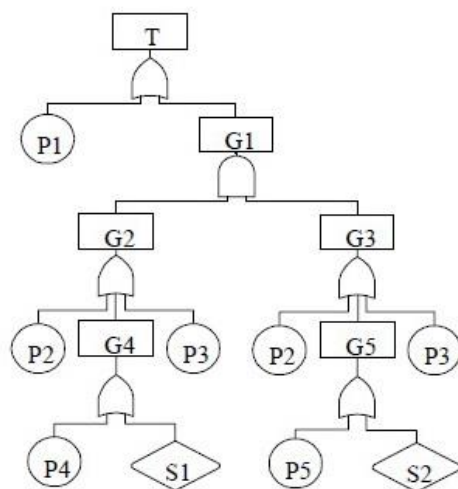
$$R_s = [1 - (1 - R)^n]^m. \quad (4.6)$$

4.4 Квалитативна анализа стабла отказа

Стабло отказа је само по себи квалитативно вредновање догађаја и односа који доводе до вршног догађаја. Поред разумевања услова под којим долази до вршног догађаја, најважнији корак у квалитативној анализи стабла отказа је формирање стабла отказа. Следећи кораци су одређивање минималног пресека догађаја, рангирање елемената по значајности и анализа заједничког узрока [2, 4]. Пошто се одреде пресеци догађаја, потребно је догађаје обележити Буловим променљивима на следећи начин:

- T - вршни догађај,
- G_i - посредни догађај,
- P_n - примарни догађај и
- S_m - секундарни догађај.

На слици 4.10 дато је хипотетичко стабло отказа са означеним догађајима.



Слика 4.10 Пример стабла отказа

$$\begin{aligned}
 T &= P_1 + G_1 \\
 G_1 &= G_2 G_3 \\
 G_2 &= P_2 + G_4 + P_3 \\
 G_3 &= P_2 + G_5 + P_3 \\
 G_4 &= P_4 + S_1 \\
 G_5 &= P_5 + S_2
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

У наредном кораку се врши замена променљивих, све док вршни догађај не буде у функцији само од примарних и секундарних догађаја.

$$\begin{aligned}
 G_3 &= P_2 + G_5 + P_3 \Rightarrow G_3 = P_2 + (P_5 + S_2) + P_3 \\
 G_5 &= P_5 + S_2 \\
 G_2 &= P_2 + G_4 + P_3 \Rightarrow G_2 = P_2 + (P_4 + S_{31}) + P_3 \\
 G_4 &= P_4 + S_{31} \\
 G_1 &= G_2 G_3 \Rightarrow G_1 = (P_2 + P_5 + S_2 + P_3)(P_2 + P_4 + S_1 + P_3)
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
 T &= P_1 + P_1 \Rightarrow T = P_1 + P_2 P_2 + P_2 P_4 + P_2 S_1 + P_2 P_3 + \\
 &+ P_5 P_2 + P_5 P_4 + P_5 S_1 + P_5 P_3 + S_2 P_2 + \\
 &+ S_2 P_4 + S_2 S_1 + S_2 P_3 + P_3 P_2 + P_3 P_4 + \\
 &+ P_3 S_1 + P_3 P_3
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Помоћу правила булове алгебре треба извршити редукцију ових израза. На овај начин је добијен минимални пресек догађаја:

$$\begin{aligned} T = & P_1 + P_2P_2 + P_2P_4 + P_2S_1 + P_2P_3 + P_5P_2 + \\ & P_5P_4 + P_5S_1 + P_5P_3 + S_2P_2 + S_2P_4 + S_2S_1 + \\ & S_2P_3 + P_3P_2 + P_3P_4 + P_3S_1 + P_3P_3 \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$T = P_1 + P_2 + P_3 + P_5P_4 + P_5P_3 + P_5S_1 + S_2P_4 + S_2S_1 \quad (4.11)$$

Минимални пресеци догађаја се рангирају према броју чланова. Најзначајнији су они који имају најмање чланова, док они са великим бројем се узимају у обзир, али за њихово дешавање је потребно да се поклопи већи број услова, па су самим тим ређи.

Треба напоменути да је могуће добити минимални пресек догађаја за било који догађај у стаблу отказа, а не само за вршни догађај. Минимални скупови догађаја који садрже само један елемент, представљају најслабије карице система, јер отказ тог елемента, доводи до појаве неуспеха на вишем нивоу.

Резултати квалитативне анализе стабла отказа су:

- минимални пресеци догађаја стабла отказа,
- квалитативна оцена сваке појединачне компоненте и
- рангирање минималних пресека догађаја и посебно обраћање пажње на оне са најмањим бројем догађаја.

4.5 Квантитативна анализа стабла отказа

Поузданост је физичка особина неког система да испуњава задате функције у одређеним условима за задати временски период. Поред тога, при анализи поузданостинеопходно је добити и квантитативну оцену система. Ако се поузданост посматра на овај начин може да се дефинише поузданост као вероватноћа да ће неки производ извршити захтеване функције у одређеном периоду времена уз дефинисане радне услове.

Да би се квантитативна анализа извела, потребно је да минимални скуп пресека буде одређен. Примена ове анализе захтева познавање прецизних података о систему, што често представља проблем. Подаци се најчешће узимају од сличних система, а проблем настаје због разлике у системима, као и специфичности радног окружења, временског периода, оптерећења [3, 4].

Величина која се користи да квантитативно прикаже поузданост је вероватноћа, и њена вредност је између 0 и 1 или 0 и 100%. Вероватноћа представља однос између успешно изведених задатака и укупног броја задатака са почетла посматрања, односно када је $t = 0$ [5]:

$$R'(t) = \frac{m(t)}{N}, \quad (4.12)$$

где је:

t - време трајања задатка,
 $R'(t)$ - процена поузданости,
 $m(t)$ - број успешно изведених задатака и
 N - укупан број задатака.

Треба напоменути да квантитативна метода даје решења која су приближна стварним, али су та одступања у већини случајева прихватљива и допуштена.

Резултати квантитативне анализе стабла отказа су:

- нумеричке и апсолутне вредности вероватноће и
- квантитативне вредности компоненат.

5. ФРИКЦИОНА СПОЈНИЦА И СТАБЛО ОТКАЗА

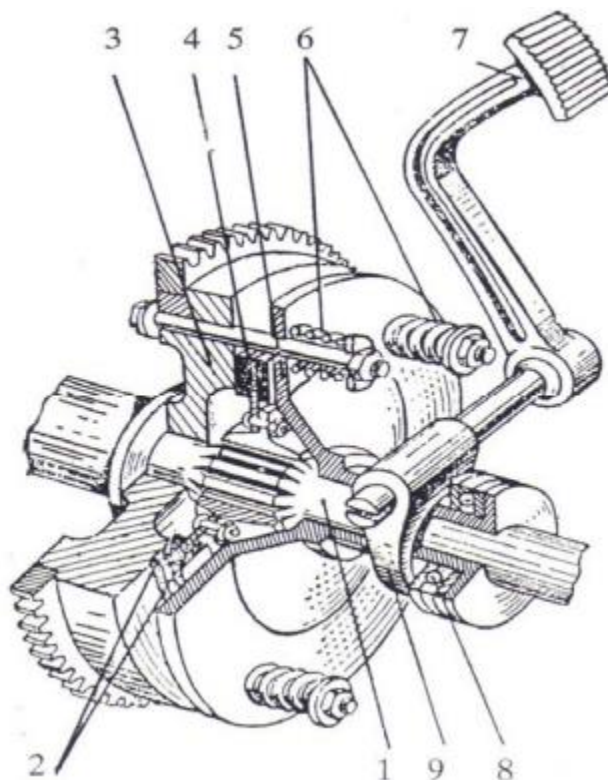
5.1 Значај, улога и механизам фрикционе спојнице

Примена мотора са унутрашњим сагоревањем, као енергетског погонског агрегата моторних возила, намеће употребу посебног механизма који би повезао или одвојио мотор од елемената трансмисије. Механизам који има задатак да у сваком тренутку, у случају потребе, прекине пренос обртног момента без прекида рада мотора, и да га поново укључи са што мање удара, дакле мирно и полагано, назива се спојницом.

Спојница, значи, омогућава краткотрајно одвајање мотора од погонских точкова у тренутку поласка, када треба променити степен преноса, односно безбедносну функцију, јер спречава преоптерећење трансмисије уколико су кочења нагла и врло снажна, а мотор није одвојен од ње.

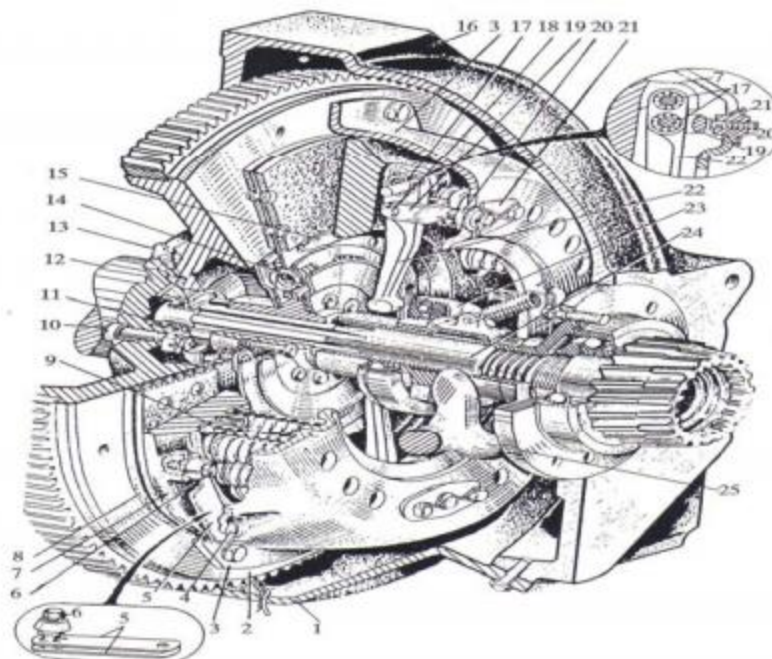
Конструкција спојнице мора обезбедити једноставност извођења, ниску производну цену, поуздано дуги век трајања, лаке могућности подешавања током рада, једноставну и брзу поправку могућих отказа итд. Неопходно је нагласити да се на моторним возилима разних врста, поред дефинисане спојнице (која се често назива и главном), срећу и друге спојнице са истим основним конструкционим карактеристикама, а понекада и са другим задацима, па врло често и са сасвим другачијим конструктивним решењима (бочна квачила спојнице код возила на гусеницама, које представљају елементе система за управљање) [5, 6].

На слици 5.1.упрошћено је приказана конструкција једнодискосне спојнице. На вратилу (1) мењачког преносника постављен је водећи диск спојнице, између замајца (3) мотора и потисног диска (5). Диск (4), притиснут је између њих спиралним опругама (6), причвршћеним завртњима. Ови завртњи повезују замајац мотора са потисним диском. Ако су силе сабијања диска довољно јаке, сва снага мотора се преко спојнице преноси на мењачки преносник. Спојница се искључује притиском на педалу (7), при чему се преко прстена аксијалног потисног лежаја сила преноси на прирубницу потисног лежаја. Тако се потисни диск (5) помера и сабија опруге. Спојница је са једном плочом, са средишњом потисном опругом (11). Облога спојнице је причвршћена уз замајац помоћу шест завртања (9), а спотисном плочом (8) помоћу три пара еластичних плоча (19). Вођена плоча (5) у склопу са пригушивачем смештена је на жлебовима примарне осовине (6) мењач.



Слика 5.1 Приказ једнодискосне спојнице

Погон искључивања квачила је жичан са сервомеханизмом. Педале спојнице и кочнице су у конзоли (11) (слика 5.2) на заједничкој осовини. Узенгија (12) жичаника спојена је са горњим каишем педале, а наглавак (8) облога жичаника причвршћен у гуменом бранику (9). Други крај жичаника је повоцем (1) причвршћен за подлогу виљушке за искључивање спојнице. Доњи наглавак (6) облоге жичаника причвршћен је у конзоли (3) помоћу две навртке (5) с подлошкама (4). Конзола (3) је причвршћена уз мењач.



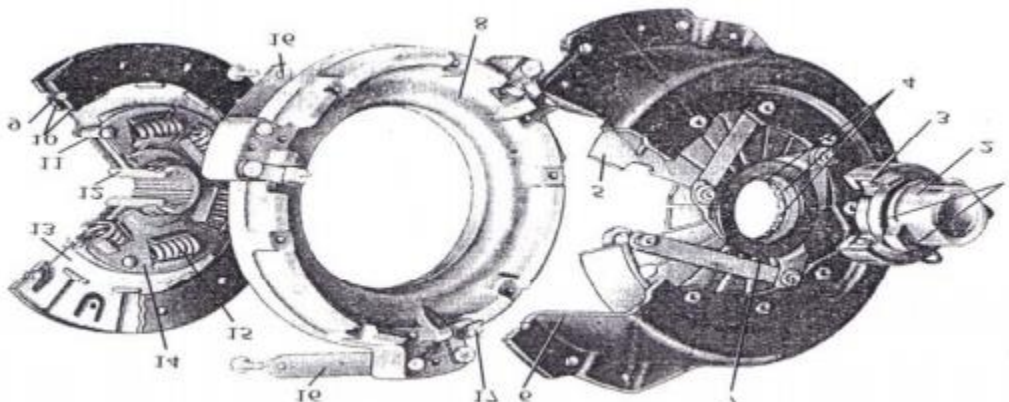
Слика 5.2 Спојница у аксонометријском изгледу: 1. - поклопац; 2. - замајац; 3. - кућиште; 4. - заковица; 5. - еластична плочица; 6. - завртањ; 7. - потисни диск; 8. - фикциони диск; 9. - потисна опруга; 10. - завртањ; 11. - лежај; 12. - коленасто вратило; 13. - мазалица; 14. - опруга пригушивача торзионих осцилација; 15. - тег за уравнотежење; 16. - поклопац спојнице и замајац; 17. - игличасти лежај; 18. - осовиница; 19. - ослонац виљушке за укључивање; 20. - навртка са сферичном површином; 21. - ослона плочица; 22. - полука за укључење; 23. - потисни лежај; 24. - погонско вратило мењачког преносника; 25. - виљушка за укључење спојнице

5.2 Саставни делови спојнице

На слици 5.3 приказани су главни делови спојнице. Потисни лежај (3) налази се непосредно до двокраких полука (пипака) или тањирасте опруге. Његов задатак је да за време аксијалног кретања изврши притисак на сегменте тањирасте опруге и преко система полука омогући одвајање потисне плоче од диска, а самим тим и искључивање спојнице. Потисни лежај је аксијални куглични лежај, а уместо њега се, нешто ређе, може користити и графитни прстен.

Потисни лежај се код неких возила подмазује. За време рада мотора, када је спојница укључена, потисни лежај треба да буде слободан и удаљен од тањирасте опруге 2-5 mm. Уколико не би било зазора, лежај би се стално обртао и век би му се битно смањило. Слободни ход потисног лежаја је у директној зависности од хода педале спојнице. Тањираста опруга (5) има задатак да изврши притисак на потисну плочу (8), која даље врши притисак на диск (ламелу).

Поклопац спојнице (6) причвршћен је на замајцу помоћу завртњева. За мања возила израђује се од пресованог челичног лима, а за возила веће снаге од ливеног гвожђа.



Слика 5.3 Шарка: 1. - осигурач везе потисног лежаја и двокраке полуге (виљушке); 2. - носач потисног лежаја; 3. - потисни лежај; 4. - сегменти тањирасте опруге; 5. - тањираста опруга; 6. - поклопац спојнице; 7. - место налегања потисног лежаја; 8. - потисна плоча; 9. - закивак за спајање тела и фрикционих облога; 10. - фрикционе облоге; 12. - главчина диска; 13. - таласаста носач облога; 11.-14. - диск (ламела); 15. - завојне пруге; 16. - полуга за везу потисне плоче и тањирасте опруге; 17. - еластични осигурач потисне плоче и тањирасте опруге;

Потисна плоча (8) налази се између диска и тањирасте опруге. Има задатак да, под дејством аксијалне силе која потиче од тањирасте опруге (5), изврши притисак на диск, који се заједно са осом спојничког вратила подужно помера и належа на замајцац мотора. Спојнице са једним диском имају потисну плочу, а оне са два диска 2. Потисна плоча се израђује од специјалног лива, који треба да има добра фрикциона својства.

Диск је део спојнице који се састоји од: главчине (12), носача фрикционих облога, фрикционих облога (10) и завојних опруга (15). Унутрашњи део главчине је обележен.

Централни део диска се израђује од челика, а носачи фрикционих облога од челичног лима. Између главчине и носача фрикционих облога налази се одређени број завојних опруга, чији је задатак да обезбеде еластичну везу између ових делова. Носач фрикционих облога је посредством завојних опруга у вези са главчином диска. На носач се учвршћују фрикционе облоге, које имају облик кружних прстенова. Облоге се спајају са носачем помоћу закивака од бакра или алуминијума. Када се спојница укључује, притисак диска на замајцу се повећава и тако расте трење између диска и замајца, што омогућава постепено преношење момента. Како фрикционе облоге треба да обезбеде максимални коефицијент трења, оне се израђују од специјалног материјала. То је најчешће азбест, као основни материјал, а додају му се месинг, бакар, цинк и др. Данас се азбест као фрикциони материјал све мање користи. Један од важних подсклопова фрикционих спојница је фрикциони диск с облогама прстенастог облика.

Пренос обртног момента мотора преко елемената који су чврсто повезани за коленасто вратило мотора, тј. преко замајца с једне стране и потисне плоче са друге, омогућава трење фрикционог материјала облога на површинама налегања. Фрикциони диск је чврсто притиснут између површина налегања на замајцу и потисном диску, помоћу опруга (слика 5.4) које стварају потребну и довољну силу притиска, и тако врши пренос максималног обртног момента са мотора на мењачки преносник, и даље на друге елементе трансмисије [7, 8, 9].

Обртни момент преноси се трењем. Сила трења Pr зависи од притиска опруга (P_0) на облоге и од коефицијента трења (μ), тј.

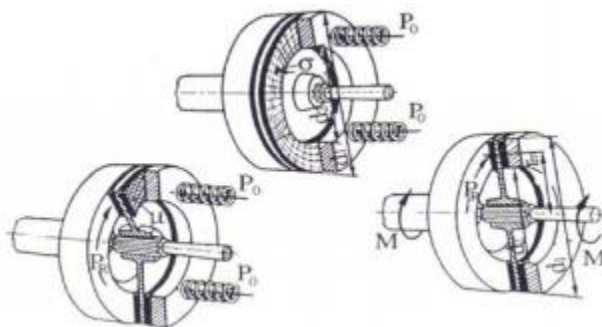
$$Pr = P_0 \cdot \mu \quad (5.1)$$

Момент који преноси спојница одређен је изразом:

$$Ms = Pr \cdot rm \quad (5.2)$$

при чему је: rm - средњи пречник фрикционе облоге.

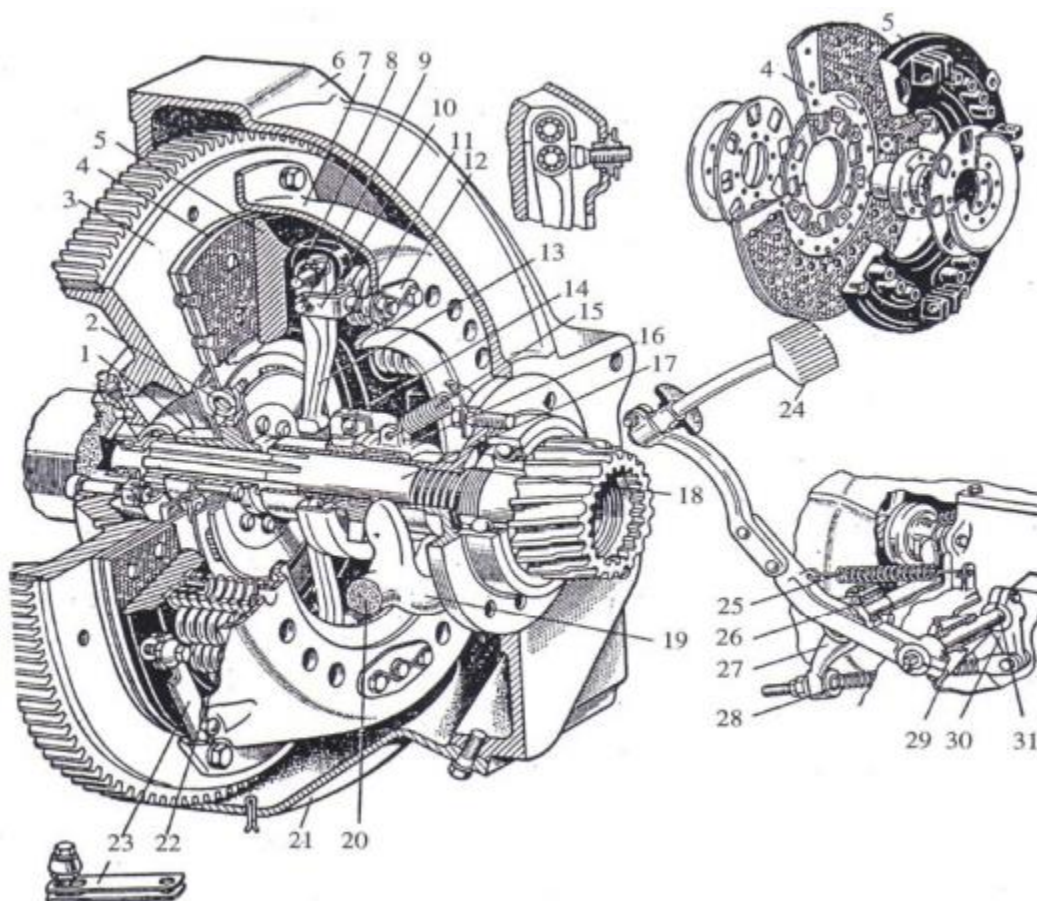
Пречник је фрикционе сталне вредности, значи може се мењати само сила трења Pr . Како је у овом случају реч о трењу, сила трења Pr зависи од притиска P_0 , опруга и коефицијента трења. Спојница се укључује, односно искључује, јачим или слабијим притиском опруга на потисни диск. У суштини, у пракси се то остварује притиском ноге на педалу. Притисак се на опруге преноси системом полуга или хидраулички. Постепеним смањењем притиска на педалу спојнице расте притисак на потисни диск, па према томе и сила трења. На тај начин се спојница постепено укључује и тако се мотор штити од изненадног и наглог оптерећења.



Слика 5.4 Сила трења Fr зависи од притиска опруге P_0 и коефицијента трења облоге

Спојничко вратило (слика 5.3) део је спојнице чији је један крај у котрљајућем или клизном лежају у коленастом вратилу, а други се ослања на лежај, који се налази у мењачком преноснику. Спојничко вратило има задатак да пренесе снагу мотора, односно обртни момент, који прима од диска. Веза између диска и спојничког вратила остварена је помоћу жлебова и захваљујући њој, диск се може подужно померати по спојничком вратилу. Због тога су ова два дела у директној вези – или се оба окрећу или оба мирују. Један крај спојничког вратила смештен је у мењач и најчешће се завршава зупчаником.

На чеоној страни у средишњем делу спојничког вратила постављен је лежај, у коме се окреће један крај главног вратила мењача. Лежај је најчешће игличаст. На слици 4.5. приказана је једнодисковна спојница с опругама распоређеним по обиму и механичким уређајем за командовање. Између замајца (3) и потисног диска (5) налази се танки диск (4) с фрикционим облогама. Диск (4) је са главчином (1) спојен с улазним вратилом (17) мењачког преносника, преко пригушивача торзионих осцилација, то јест осам опруга (2). Потисни диск (5) је заштићен облогом (7), која је спојена завртњима за замајац. Диск (5) спојен је са четири еластичне плочице (23), чији су крајеви учвршћени за заштитну облогу (7), а завртњима са чаурама за потисни диск. Преко плочица обртања, преко диска (7), преноси се диск, који истовремено може да се помера и аксијално.



Слика 5.5 Једнодисковна спојница с уређајем за командовање

Између заштитне облоге и потисног диска налази се шеснаест притисних опруга (22) (слика 5.5). Оне се центрирају на потисном диску испустима и ослањају о њега преко термоизолационих подметача. Преко ушица диска помоћу осовинице (8) на игличастим лежајевима спојене су четири искључне полуке (13). Свака полука постављена на игличастом лежају на осовиници (9) причвршћена је за виљушку (10). Виљушке су спојене са заштитном облогом регулационим наврткама (11), које имају сферичну ослону површину. Навртке се притежу уз облогу еластичним плочицама (12), причвршћеним на заштитнооблогу са два завртња.

Захваљујући сферичним површинама навртки, виљушке се могу њихати, што је неопходно при повратку искључних полуга. На супротном крају искључних полуга (13), на прстену (18), налазе се прирубница, учвршћена за зид кућишта мењачког преносника, и искључна спојница (16) с потисним лежајем (14). Спојница се у полазни положај враћа помоћу опруге (15). Спојница заједно са замајцем смештена је у кућиште (6), које се завртњима причвршћује за блок – кућицу мотора. Доњи део кућишта затворен је поклопцем (26). На ваљку носача (26) учвршћена је на рукавцима (20) виљушка (19), која обухвата спојницу. Полука (27) учвршћена на левом спољашњем рукавцу, подешава се полугом (28) с опругом, где је учвршћена и полука педале (24). Рукавац (31) постављен је на носачу (29), који је учвршћен за греду оквира возила. Педала има и опругу (25), која је враћа у почетни положај [9, 10, 11] .

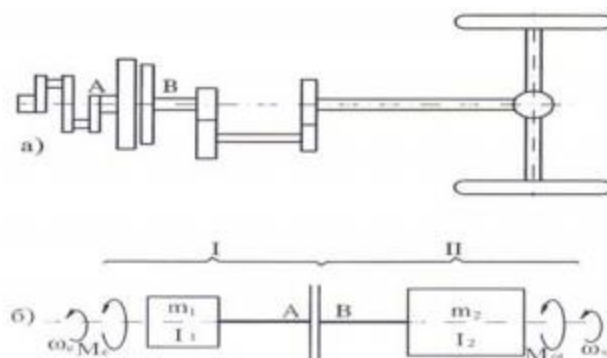
5.3 Процес рада спојнице

За разматрање процеса рада спојнице и успостављање аналитичких израза за одређивање основних параметара, неопходно је познавање динамичких односа: мотор-спојница – погонски точкови.

Систем за пренос снаге моторних возила може се шематизовати (слика 5.6.а.) и даљим упрошћавањем представити као систем са две масе (слика 5.6.б). Маса m_1 вредност момента инерције I_1 , који одговара моменту инерције замајца мотора и моментима инерције свих покретних делова мотора редукованих на излазно вратило мотора (коленасто вратило), односно улазно вратило спојнице (вратило А на слици 5.6). Маса m_2 има има момент инерције I_2 , који обухвата:

- момент инерције масе возила, редукован на излазно вратило спојнице (вратило Б на слици 4.9);
- момент инерције точкова и обртних делова кочница, редукован на излазно вратило спојнице;
- моменте инерције свих осталих покретних делова система за пренос снаге, редуковане такође на излазно вратило спојнице.

Угаона брзина масе m_1 одговара угаоној брзини коленастог вратила мотора, $q\epsilon$, док се маса m_2 обрће угаоном брзином излазног вратила спојнице, $q\varsigma$.¹⁰ На масу m_1 , делује погонски момент мотора, $m\epsilon$, а на масу m_2 , момент отпора кретању возила M_{ot} редукован је на излазно вратило спојнице, а спојница преноси момент Mn (моменат ношења спојнице).



Слика 5.6 Момент код спојнице

За овако шематизован систем за пренос снаге, то јест динамички модел, могу да се изведу једначине кретања. Да би се једначине решиле, неопходно је познавати законе промене појединих параметара (M_n , M_e , M_{ot} , q_e и q_c) током времена. У случају стварног рада спојнице, међутим, ти параметри представљају значајан проблем с обзиром да су промене тих величина током времена случајног карактера и зависе од читавог низа субјективних и објективних чинилаца. Зато се врло често наводе одређене претпоставке, апроксимације идеализације стварног процеса рада спојнице, другим речима, често се усвајају поједини поједностављени режими рада спојнице.

Треба напоменути да је и приказани динамички модел веома упрошћен будући да се систем за пренос снаге посматра као потпуно крути систем, то јест занемарују се његове еластичне особине. Ако би се узеле у обзир и крутости система, веома би се искомпликовале и једначине кретања и тако би се, уз већ постојеће проблеме у решавању динамичких односа, појавиле и нове тешкоће [8, 9, 10]

5.4. Периоди рада спојнице

Анализом процеса рада спојнице могу се дефинисати следећи периоди њеног рада:

- период укључености; на фрикционим површинама остварена је номинална сила трења, то јест изостаје клизање, клизања су могућа само у тренуцима преоптерећења система за пренос снаге;

- период искључености; фрикционе површине су размакнуте, а ток снаге од мотора као осталим деловима система за пренос снаге је прекинут;

- период укључивања; фрикционе површине се спајају, другим речима, успоставља се ток снаге, клизања фрикционих површина су осетна, у зависности од величине спољних отпора, квалитета фрикционог пара, брзине укључивања и др.

- период искључивања; фрикционе површине се одвајају, што ће рећи, ток снаге се, у циљу покретања мотора или промене степена преноса прекида; такође га карактерише клизање фрикционих површина, али у далеко мањој мери него у случају укључивања спојнице.

Ови периоди у процесу рада спојнице разликују се по нивоу њеног оптерећења. Оптерећења спојнице у првом реду потичу од:

- момента који преноси спојница (момент ношења M_n),
- силе притиска на фрикционим површинама,
- силе на команди за искључивање спојнице и
- клизања фрикционих површина.

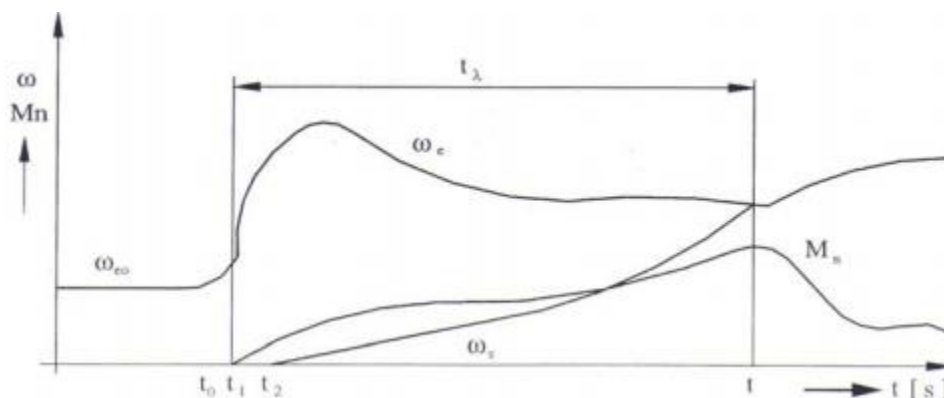
Моменти ношења и сила за искључивање спојнице по правилу нису истовремени. Када делује момент ношења, спојница је укључена, а када је она искључена, активира се сила на команди. Сила притиска опружног система делује стално, чак када се возило и не користи. У периодима укључивања, односно искључивања, функционишу сви узрочници оптерећења спојнице.

С обзиром да се у периоду искључивања врши само прекид тока снаге у систему за пренос снаге моторног возила, спојница није изложена великим оптерећењима. Периоди укључивања спојнице, међутим, подразумевају покретање возила из места и почетни период залета у појединим степенима преноса, тако да спојница тада трпи највећа оптерећења. Због свега тога се период укључивања спојнице може посматрати као "радни период" па се теоријска разматрања процеса њеног рада и искључивања претежно на њега усмеравају. Тада је могуће стећи увид у стварне карактеристике спојнице.

На слици 5.7 дат је приказ записа промене основних параметара спојнице приликом покретања теретног возила из места.

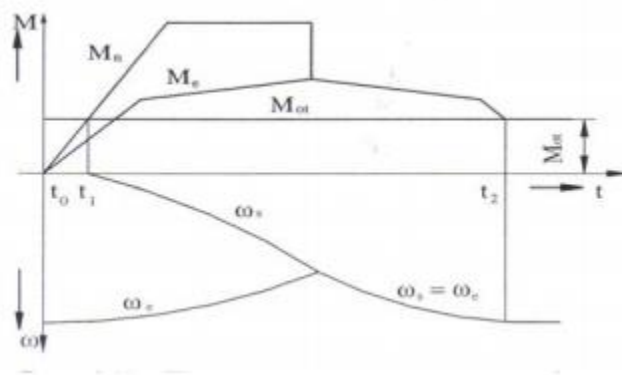
У тренутку i_0 угаона брзина улазног вратила спојнице, тј. коленастог вратила мотора, q_{e0} има своју најмању вредност q_{e0} , мотор ради на празном ходу. Тада возач, да би покренуо возило из места, делује на команду акцелератора мотора и истовремено укључује спојницу. Угаона брзина q_e расте, а зазори између фрикционих површина се поништавају па у тренутку t_1 долази до појаве момента трења M_n и клизања фрикционих површина. До тренутка t_2 клизање је 100% с обзиром да је излазно вратило спојнице још увек непокретно. У тренутку t_2 момент трења достиже вредност спољних отпора па почиње да се обрће и излазно вратило спојнице угаоном брзином q_s . Како остварени момент трења оптерећује мотор, угаона брзина q_e опада уз истовремено повећавање угаоне брзине q_s . То значи да се вредност клизања фрикционих површина стално смањује, до тренутка t_3 , када оно престаје, другим речима, изједначавају се угаоне брзине q_e и q_s , а период укључивања спојнице се завршава. Треба још само напоменути да се максимална вредност момента трења обично постиже када се укључивање спојнице завршава, тј. у тренутку t_3 . Посматрани пример поласка возила из места показује карактер промена појединих параметара спојнице током времена, док се законитости ових промена мењају у врло широком дијапазону, у зависности од величине спољних отпора, оптерећења возила, квалитета спојнице, умешности возача и др. Теоријска разматрања, међутим, претежно користе упрошћене дијаграме промене основних параметара спојнице јер постојећим математичким апаратом готово да није могуће описати стварни процес рада спојнице.

Зато се и уводе одређене апроксимације и идеализације рада спојнице, што ће рећи закона промене основних параметара.



Слика 5.7 Промена основних параметара спојнице код теретног возила

Процес покретања из места спојнице пољопривредног трактора донекле је измењен услед специфичности његовог рада. Трактори су најме опремљени мотором са свережимским регулатором, који у принципу не предвиђа могућност промене степена преноса током кретања. То значи да возач пре поласка бира потребни степен преноса, што има нарочитог значаја за кориснике трактора у транспорту, за који је на карактеристичан виши степен преноса. На слици 5.8 приказан је шематизовани дијаграм промене основних параметара спојнице при покретању трактора, то јест тракторског агрегата, из места. Момент који се преноси преко система за пренос снаге до мотора обично има велику вредност па у одређеним случајевима за покретање трктора, односно тракторског агрегата, поред момента мотора делује и момент тангентних сила инерције покретних маса мотора и момент инерције замајца. Пре покретања трактора, механизам за убризгавање горива поставља се у жељени положај (било који, с обзиром на мотор са свережимским регулатором), а затим се укључује спојница. При постепеном укључивању момент трења M_n се повећава, а заједно с њим и количина убризганог горива: када се достигне горња граница убризганог горива, угаона брзина коленастог вратила мотора ω_e опада, док покретне масе мотора предају спојници своју кинетичку енергију, услед чега момент мотора M_e расте изнад номиналног. Истовремено с опадањем угаоне брзине коленастог вратила мотора повећава се угаона брзина излазног вратила спојнице, након што је момент трења досегао вредност момента спољних отпора.



Слика 5.8 Промена основних параметара спојнице код трактора

С поништавањем зазора између фрикционих површина, то јест с појавом момента трења (тренутак t_0), оне почињу да клизају. До покретања излазног вратила спојнице (тренутак t_1) клизање је стопроцентно. Оно престаје када се угаоне брзине коленастог вратила мотора и излазног вратила спојнице изједначе (тренутак t_2). Даље се угаона брзина целог система повећава до унапред одређене вредности угаоне брзине коленастог вратила мотора.

Анализа процеса рада спојнице, било да се ради о транспортном возилу, било о пољопривредном трактору, показује да су оптерећења највећа када се спојница искључује за време покретања возила из места. Оптерећења спојнице могу да се поделе према следећој класификацији: механичка, топлотна и - структурна.

Механичка оптерећења фрикционих спојница оптерећују скоро све елементе спојнице. Поред изазивања напона и сложених напрезања на свим елементима спојнице, она заједно са клизањем значајно утичу и на хабање, трошење фрикционих површина спрегнутих материјала, као и на замор и лом појединих делова спојнице.

Топлотна оптерећења потичу од рада силе трења, што ће рећи клизања фрикционих површина, те се јављају у свим процесима укључивања или искључивања спојнице. Она делује пре свега на елементе који носе фрикционе површине (замајац, фрикциони и потисни диск), као и на елементе у непосредној близини. Њихов утицај на карактеристике спојнице огледа се у следећем:

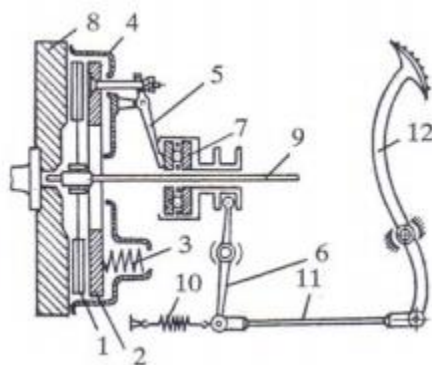
- појава промене карактеристике трења, "слабљење" фрикционе везе (фединг);
- промена структуре ("прегоревање") како неметалних, тако и металних фрикционих површина, што доводи до даљих погоршања преноса снаге трењем;
- слабљење опружног система, тј, смањивање силе притиска на фрикционим површинама;
- структурно оптерећење може имати различите видове, као што је нпр. Хемијска агресивност (активност) средине;
- топлотно оптерећење је топлотни флуks, количина топлоте која пролази кроз посматрани елемент.

Сума оптерећења машинских делова и система могу да буду радна и критична. Радна оптерећења одређују радна стања елемената, док су критична оптерећења било оне вредности активних величина које изазивају критична стања, тј. доводе до оштећења елемената, или кумулативна вредност радних оптерећења у одређеном периоду рада елемената. Значи, оптерећење треба да се посматра не само као нека изолована вредност одређене величине која утиче на промене стања елемената, већ и као кумулативна вредност ове величине у одређеном периоду посматрања. Такав начин анализе оптерећења машинских елемената и система одговара данашњем степену научне мисли у овој области. У већини случајева он, међутим, још увек није остварен и у самом процесу реализације производа, а нарочито кад говоримо о моторним возилима. Основни узрок те појаве лежи у чињеници да се стварна оптерећења моторних возила не познају довољно. У том подручју још није обављено довољно истраживања, а ако и јесте, њихови резултати представљају пословну тајну [7, 8, 9, 10].

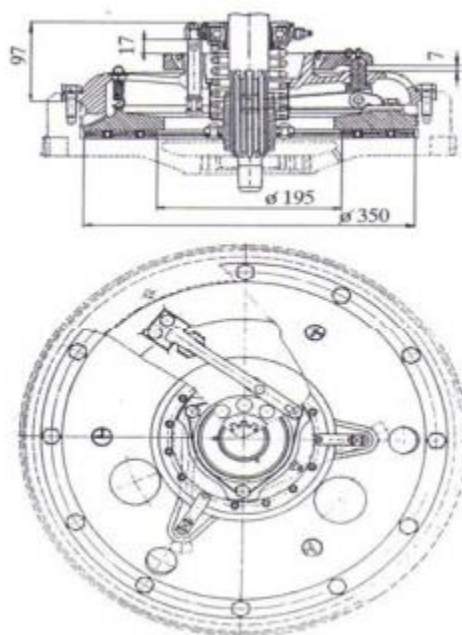
5.5 Једнодискосне спојнице

Дискосне опружно фриктиона спојница са једним диском (слика 5.9), састоји се од следећих основних компонената: фриктионог диска (1), потисне плоче (2), опруга (3), поклопаца (4), полуге (5), командног механизма (6) с потисним лежајем (7). Опруге дискосних спојница могу бити завојне, и то постављене кружно (слика 5.8 и 5.9) ил централно (слика 5.10), те тањирасте (слика 5.11), тако да је 1 - потисни диск; 2 - поклопац; 3 и 3' - ослони прстени; 4 - тањираста опруга; 5 - потисни лежај; 6 - фриктиони диск. Преношење обртног момента (слика 5.9) од водећег - обично, замајца мотора (8) - на водећи елемент - обично растуће вратило мењачког преносника (9) - које се назива и спојничко вратило, остварује се преко момента трења, који настаје између фриктионог диска (1) - обложеног фриктионим материјалом облогама, металних површина замајца (8) и потисне плоче (2). Момент трења постиже се дејством сила у опругама (3), услед чега је фриктиони диск (1) притиснут потисном плочом (2) уз замајац мотора (8). Опруга се једним крајем ослања на потисну плочу, а другим на поклопац (4) спојнице. Овај поклопац носи на себи полуге (5) за команду (обично 3), а причвршћен је обично завртњима за замајац мотора пратећи на тај начин, заједно са потисном плочом, његово обртно кретање.

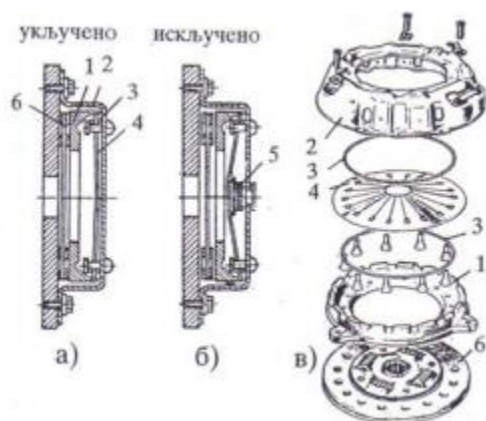
Кад је спојница укључена, обртни момент са замајца преноси се на фрикциони диск, а са овог на спојницу, односно улазно вратило мењачког преносника [11, 12, 13].



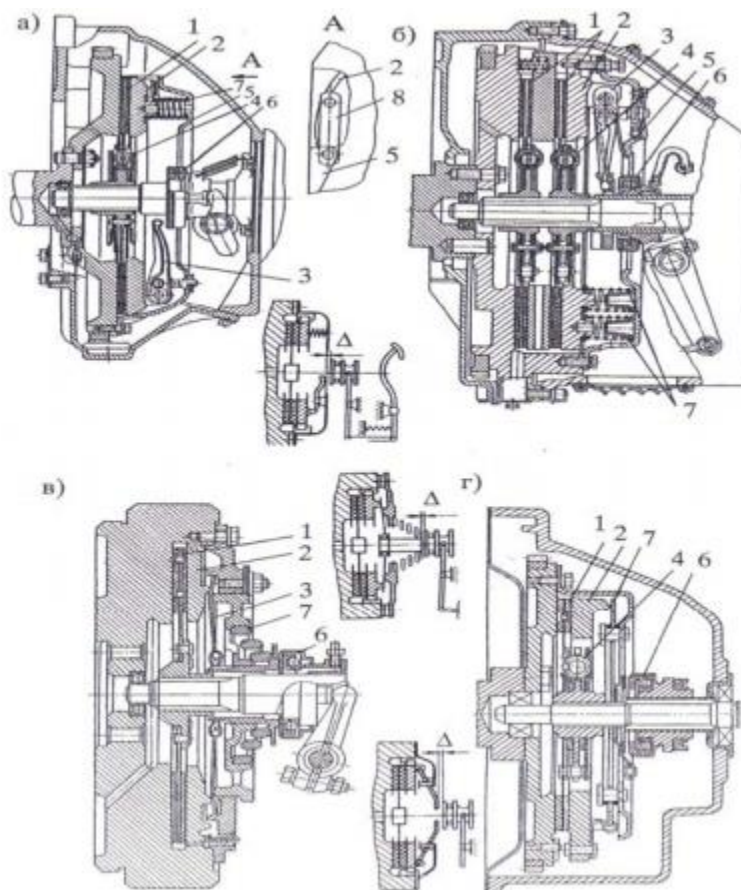
Слика 5.9 Шематски приказ једнодисковне спојнице са кружно распоређеним завојним притисним опругама



Слика 5.10 Једнодисковна спојница с централно постављеном завојном опругом



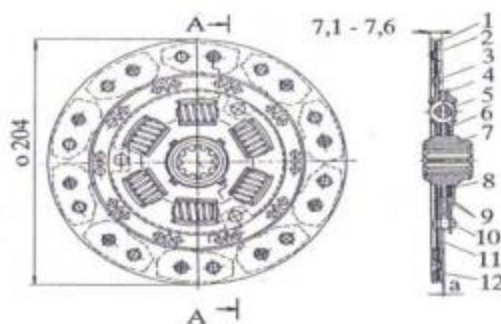
Слика 5.11 Једнодискосна спојница с притисном тањирастом опругом: а) укључено стање; б) искључено стање; в) расклопљено стање; 1. - потисни диск; 2. - поклопац; 3. - ослони прстен; 4. - тањираста опруга; 5. - потисни лежај; 6. - фрикциони диск



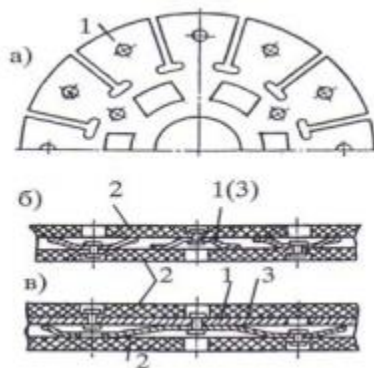
Слика 5.12 Конструкција извођења: а) једнодискосна спојница; б) дводискосна спојница; в) спојница с централном опругом; д) спојница с тањрастом опругом; 1. - замајац; 2. - потисни диск; 3. - полуга за искључење; 4. - пригушивач; 5. - тело; 6. - потисни лежај; 7. - притисна опруга; 8. - плочица

Веза између фрикционог диска (1) и спојничког вратила (9) остварује се ожлебљеном везом. У укљученом положају спојнице, комадни механизам (6) и потисни лежај (7), под дејством опруга (10), налазе се одмакнути од полуге (5) за команду. Деловањем силом ноге на командну педалу (12), потисни лежај прилази двокраким полугама (5) потискујући их. Тиме се потисна плоча помера удесно (одмичући се од диска) сабијајући опруге (3). На тај начин на површинама трења ишчезава нормална сила, самим тим и момент трења, те се прекида дејство снаге између мотора и осталог дела преносника снаге. Замајац с поклопцем спојнице (4), полугама (5) и потисном плочом (2) наставља да се обрће, док се диск (1) са спојничким вратилом (9) постепено зауставља. При постепеном отпуштању командног механизма, потисна плоча (2) под дејством опруга (3), налаже поново на диск (1), а овај на замајац (8) мотора, и тако настаје момент трења у површинама трења и диск (1) са спојничким вратилом (9) почиње да се обрће преносећи снагу. У овој фази долази до релативног клизања између диска с једне, и замајца и потисне плоче са друге стране, при чему рад трења прелази у топлоту загревајући све компоненте спојнице.

Када вредност обртних момената у спојници прелази вредност максималног момента трења (тзв. момент ношења), у површинама трења долази до клизања иако командни механизам није активиран. На тај начин спојница извршава свој други, секундарни задатак - осигурање мотора и преносника снаге од преоптерећења. Фрикциони дискови могу да се изводе, као еластични и крути, с торзионим пригушивачима и без њих. Фрикционе облоге еластичних дискова везују се за главчину диска преко еластичних сегмената (слика 5.13), који обезбеђују равномерни пренос притиска по целој фрикционој површини.

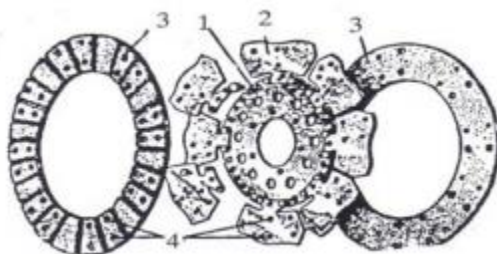


Слика 5.13 Фрикциони диск: 1. - фриктиона облога; 2,3 - заковице; 4. - плоча пригушина; 5. - пригушина опруга; 6. - опружни прстен пригушивача; 7. - главчина; 8. - ослони прстен пригушивача; 9. - фриктиони прстен; 10. - ослоне чауре; 11. - плоча диска; 12. - еластична плоча формирана од сегмента



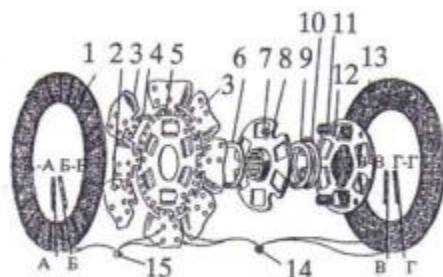
Слика 5.13 а) Елементи конструкције фрикционог диска: 1. - диск; 2. - фрикционе облоге; 3. - еластичне плоче

Слични, али знатно слабији ефекти постижу се и са јединственим радним крутим диском, израђеним од опружног челика, што је са гледишта производње једноставније. Без обзира на начин извођења, еластични дискови су у погледу равномерности трошења облога повољније решење од обичних крутих дискова. Конструкција фрикционог диска приказан је на слици 5.14, где је: 1 - диск; 2 - еластични сегменти фрикционог диска; 3 - фрикционе облоге и 4 - закивци. Фрикциони диск у расклопљеном стању приказан је на сликама 4.15 и 4.20, а конструкцијски цртеж на слици 5.16. Ради спречавања појаве резонантних угаоних осцилација, које могу настати као последица неравномерности обртног момента мотора, у фрикционе дискове се уграђују посебни опружни елементи, тзв. торзиони пригушивачи (1, слика 5.16). Конструкцијско извођење опружних и еластичних елемената и њихова уградња у диск приказани су на сликама 5.16 и 5.18. Фрикциони диск (слика 5.15, 5.16. и 5.17.), поставља се на ожлебљено растуће вратило мењачког преносника, а састоји се од главчине (8), фрикционих облога (1) и (13), пригушивача торзионих осцилација (11) итд. Да би се омогућили квалитетнији контакт површина трења и равномерно укључивање те спречила извитоперења при загревању, тежи се слабијој аксијалној крутости фрикционог диска. Зато се исти праве с удубљењем Т облика (слика 5.13 а). Између диска и фрикционих облога често се постављају еластичне плоче. Фрикционе облоге се учвршћују независно једна од друге, за диск или еластичне плоче.

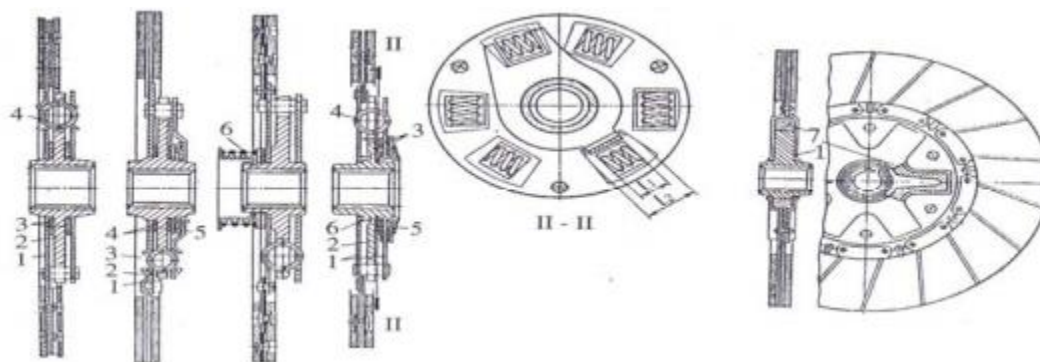


Слика 5.14 Еластични фрикциони диск: 1. - диск; 2. - еластични сегменти фрикционог диска; 3. - фрикционе облоге; 4. - закивци

У фрикциони диск спојнице (слика 5.19) постављају се пригушивачи торзионих осцилација, који имају задатак да умање или потпуно одстрани високофреквентне осцилације, настале у трансмисији услед дејства периодичних побуда. Они мењају еластичну карактеристику трансмисије и смањују вероватноћу појаве резонанце при поклапању сопствених и принудних учестаности торзионих осцилација.

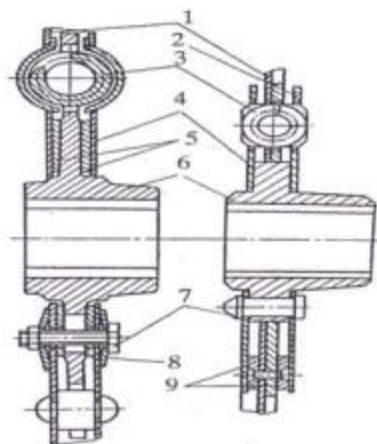


Слика 5.15 Фрикциони диск у расклопљеном стању: 1. и 13. - фрикционе облоге; 2. и 4. - зајивци; 3. - плочаста опруга; 5. и 12. - диск; 6. и 9. - фрикциони прстени; 7. - осигурач; 8. - главчина; 10. - регулациони подметач; 11. - опруга; 14. и 15. - заковице



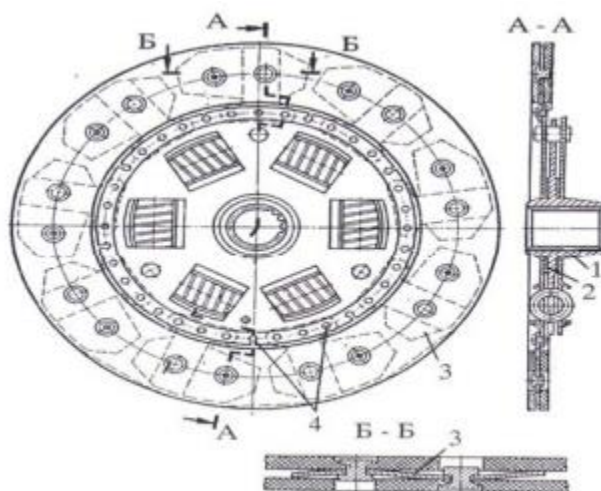
Слика 5.16 Конструкцијска извођења фрикционог диска с пригушним елементима торзионих осцилација; 1. - диск; 2. - главчина; 3. - фрикционе облоге (тањирасте, цилиндричне); 4. гумени еластични елемент

Примену су пригушивачи с опругама нашли на фрикционим дисковима, слике 5.17 и 5.21 захваљујући опрузи (3), постављеној у отворима на главчини (6) дискова (1) и (4), дисипација енергије остварује се на површинама трења које су формиране на дисковима (1), (2), (4) и (5), (9). Скупљање површина трења постиже се помоћу завртњева (7). У последњем случају, ради побољшања стабилности силе притиска, додају се еластичне подлошке или опруге.



Слика 5.17 Конструкцијски уграђени пригушивачи

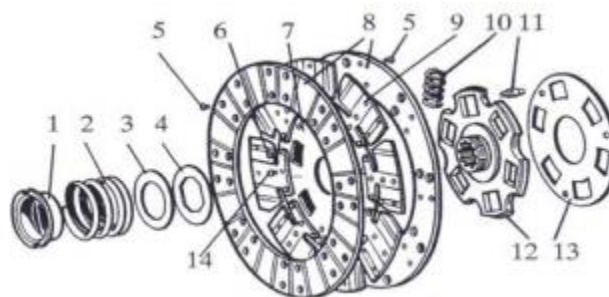
Главчина, диск с фрикционим облогама и пригушивач торзионих осцилација елементи су фрикционог диска који се центрирају и статички уравнотежавају. Да би се спречило извитоперење, до кога може доћи загревањем, на њему су предвиђени радијални прорези. Као опружни елементи (слике 5.16 и 5.17), обично се користе завојне цилиндричне опруге. Оне једним крајем налажу на диск главчине, а другим на дискове, за које сеучвршћују фрикционе облоге.



Слика 5.18 Фрикциони диск с елементима таласасте форме: 1. - главчина; 2. - диск; 3. - елемент; 4. - отвори за постављање уравнотежавајућих плочица

Дискови (слика 5.18) су међусобно спојени закивцима обухватајући диск главчине од челика или фрикционог материјала. Овај склоп има улогу фрикционог пригушивача. Подешавањем дебљине прстенова обезбеђује се потребни момент трења пригушења, да би се олакшала израда, прстенови се праве у овалном (таласастом) облику, који при склапању фрикционог диска обезбеђује аксијалну силу за реализацију момента трења.

Понекад прорези у диску главчине за смештај опруга (најчешће 6-9) могу бити различите дужине како би се опруге, при порасту момента, постепено укључивале, чиме се постепено мења торзиона крутост система.



Слика 5.19 Фрикциони диск спојнице: 1. - чаура с ослоном прирубницом; 2. - опруга пригушивача (спољашња); 3. – топлотно изолациона подлошка; 4. - подметач; 5. и 6. - закивци; 7. и 13. - диск; 8. - фрикционе облоге; 10. - једна од пригушних торзионих опруга; 11. - осовиница; 12. - главчина; 14. - уравнотежавајући тег

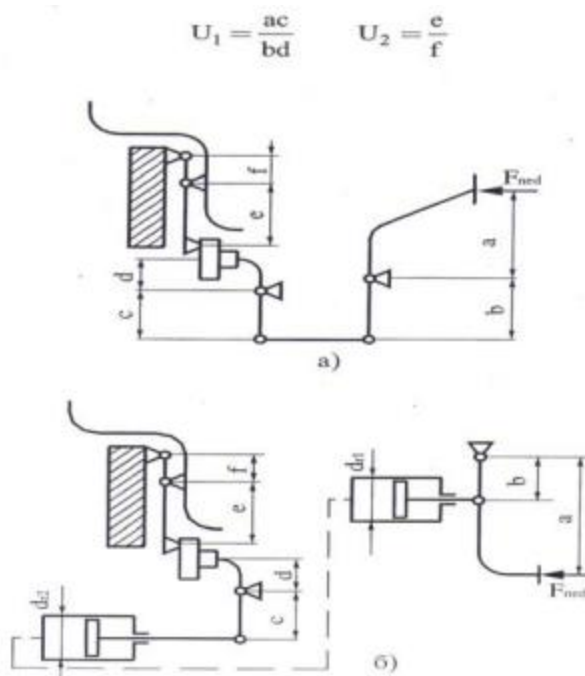
5.6 Командни уређаји спојнице

На слици 5.20 приказана је шема механичке и хидрауличке команде спојнице. Укупни преносни однос команде спојнице обухвата преносни однос полуга искључења и преносни однос педале. Укупни преносни однос спојнице одређује услов да сила на педали без уграђеног појачивача у путничко возило не буде већа од 150 N, а у теретна 250 N. Максимални ход педале износи 120-190 mm укључујући и слободни ход [5, 6, 7, 8]. Укупни преносни однос U једнак је производу преносних односа педале U_1 и полуга U_2 :

$$U = U_1 U_2. \quad (5.3)$$

За механичку команду:

$$U_1 = \frac{ac}{bd} \quad (5.4)$$



Слика 5.20 Шема команди спојницом: а - механичка; б - хидрауличка

А за хидрауличку:

$$U_2 = \frac{e}{f} \quad (5.4)$$

5.6.1. Механички командни механизам спојнице

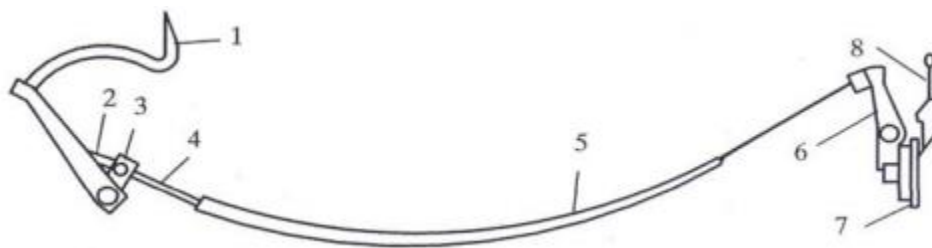
Спојница се укључује и искључује кад се возило покреће из места или се зауставља, или када се степен преноса у мењачком преноснику мења.

Док се возило покреће, процес укључивања спојнице треба да буде знатно дужи, него када се степен преноса мења да би се постигло мирно и постепено оптерећење система преноса снаге, а возило покренуло из места без трзања и удара. Рад са спојницом, при промени степена преноса, обавља се знатно брже, посебно код мењачких преносника који имају синхроне спојнице.

За остваривање процеса искључивања и укључивања спојнице користе се посебни механизми или системи, који могу бити принудни или аутоматски. Код принудних командних механизма спојнице рад са њом обавља сам возач помоћу одговарајућих командних органа, обично преко ножне педале, или ређе посредством ручне полуге (код трактора гусеничара и специјалних возила).

Принудни командни механизми могу бити директни (за командовање фриокциони спојницом користи се искључиво енергија возача) и индиректни (пored енергије возача, делује и нека друга енергија да би се лакше командовало спојницом, тј. управљало

возилом). Процес укључивања и искључивања аутоматског система одвија се без директног учешћа возача, а диригује се с неког другог командног органа којим возач управља (најчешће папучица за пуњење мотора или ручица за промену степена преноса). У случају кад се преношење енергије од возача до спојнице обавља искључиво механички, тј. кад се сила којом се делује командну педалу преноси директно, преко одговарајућег механичког преносног система на елементе спојнице за искључење (потисни лежај), онда је реч о механичком командном механизму спојнице. Принцип рада механизма ове врсте је врло једноставан, а заснива се на закону полуга. Сила с команде педале (12) (слика 5.9.), која је изведена у облику полуге, преноси се преко затеге и полуге (6) на потисни (аксијални) лежај (7), а он се помера по спојницу вратилу и затим преко двокраких полуга (5) спојнице на потисну плочу (2). У укљученом положају спојнице, између аксијалног лежаја (7) и двокраких полуга (5) мора да постоји зазор (најмање 2-3 mm) да би се обезбедило потпуно укључење спојнице и после одређеног хабања фрикционих облога. Овај зазор се обично подешава местом крај полуге (6) на затегу (11) помоћу навртки. Да би били сигурни како је аксиални лежај (4) одмакнут, у механизам се убацује опруга (10). Ова се опруга може поставити на различитим местима у систему, али њено дејство мора бити такво да довољно сигурно држи одмакнути аксиални лежај, као и командну педалу у крајњем положају када се на њу делује силом [5, 8, 9] .



Слика 5.21 Механички командни механизам спојнице: 1. - педала; 2. - затега; 3. - навртка за подешавање; 4. - уље; 5. - облога, 6. - двокрака полука, 7. - потисни лежај; 8. - полука механизма спојнице

Понекад се уграђују и по две опруге на различитим местима у систему (нпр. на командној педали и на аксијалном лежају). Конструкцијска решења механизма и његових компонената могу бити веома различита. При већим растојањима, између командне педале и спојнице, за затегу се користи челично уље (слика 5.21). Оваква решења су честа код возила чији је мотор смештен у задњем делу. Командне полуге (педале) могу да се изводе као "стојеће" (ослонац педале испод краја на који делује возач) и "висеће" (ослонац педале изнад). Крај командне полуге на месту на које делује возач изводи се храпавом или профилисаном површином, преко које се често навлачи и гума како би се спречило да нога возача склизне. Потисни (аксијални) лежај најчешће се с котрљајућим, затвореним лежајем, који је смештен у кућиште. Оно има на себи жлеб (види слику 5.10) или два рукавца. У жлеб или рукавце улази виљушкаста полука (слика 5.9).

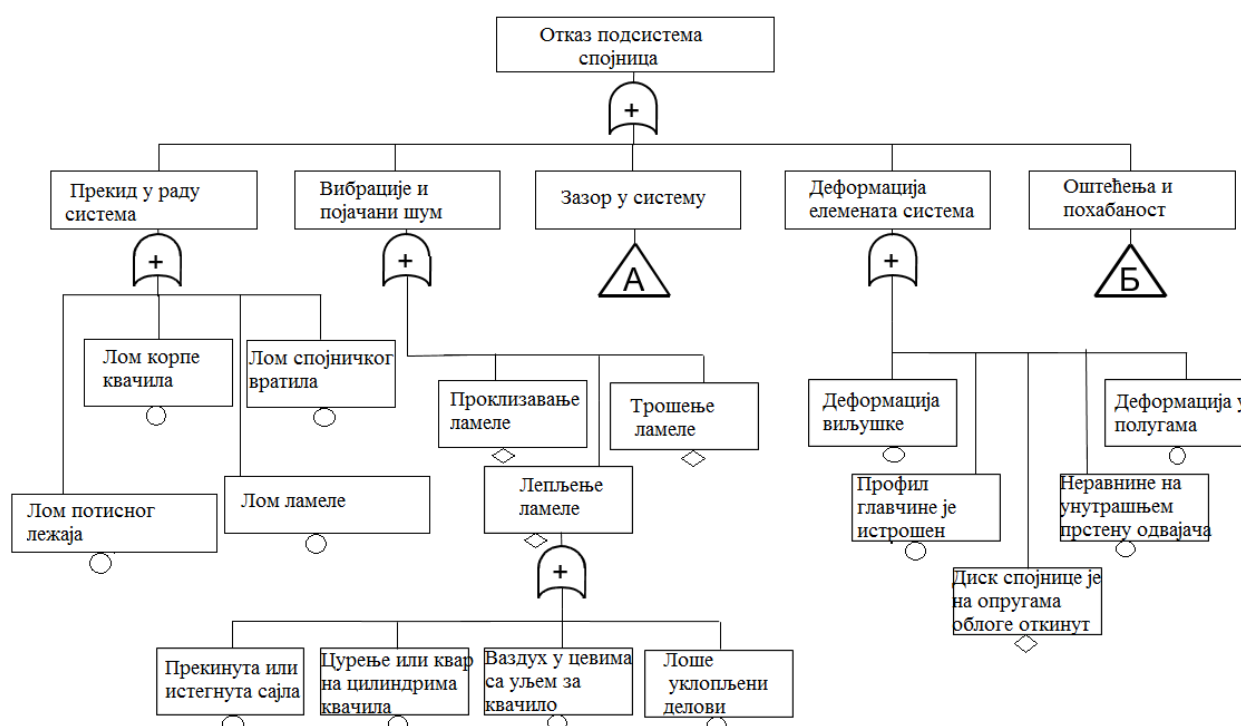
6. СТАБЛО ОТКАЗА СПОЈНИЦЕ

У зависности од начина груписања основних узрока вршног догађаја, постоје два начина формирања стабла отказа. Код првог начина посредни догађаји у стаблу отказа су откази одговарајућих целина (подсистема, склопова, подсклопова), и овај начин је погоднији за формирање блок шеме поузданости и за анализу начина и последица отказа (ФМЕА).

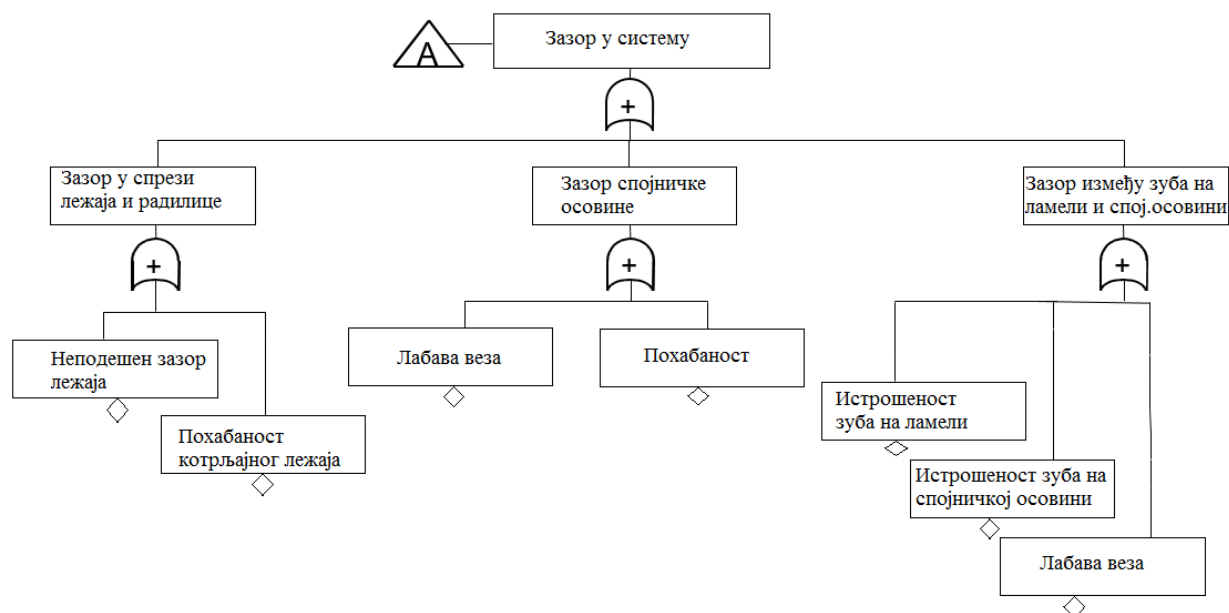
Код другог начина посредни догађаји су они који су заједнички за више елемената без обзира на структурну припадност, што је погодно за анализу заједничког узрока отказа.

Суштина је иста јер су базични догађаји индетични у оба случаја. Код подсистема погонски мост, једноставније је користити други начин за формирање стабла отказа, с тим што при анализи треба водити рачуна о броју појављивања појединих базичних догађаја у стаблу отказа.

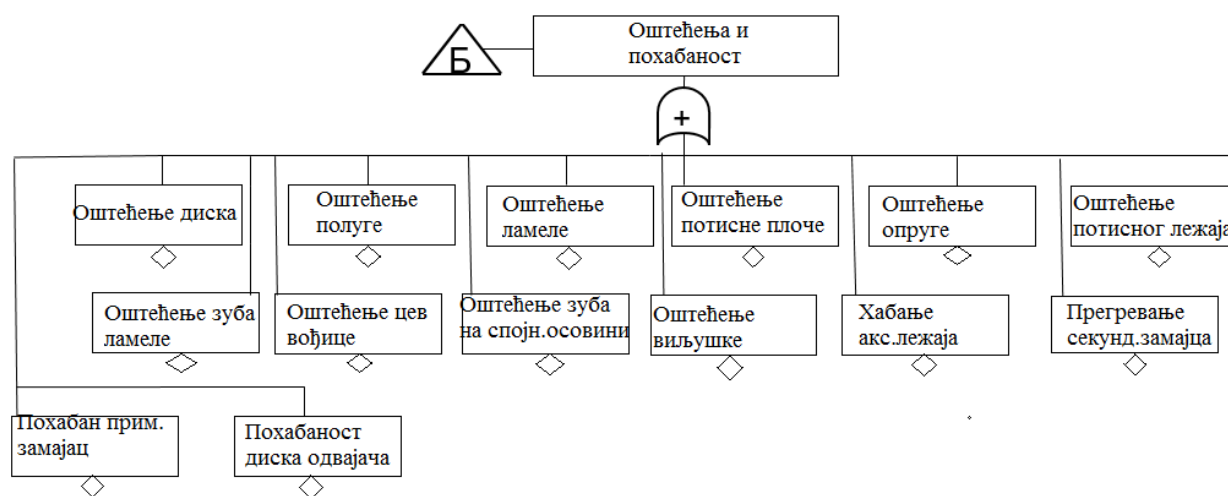
Проучавањем начина отказа свих елемената система преноса снаге спојничким вратилима, понаособ, формирано је стабло отказа (слика 6.1) [1, 6, 7].



Слика 6.1 Стабло отказа спојнице



Слика 6.2 Независно стабло подсистема „Зазор у систему“



Слика 6.3 Независно стабло подсистема „Оштећење и похабаност“

На формираном стаблу отказа може се уочити пет подвршних посредних догађаја који су узрочници вршног догађаја:

1. Прекид у раду система (За последицу има тренутни прекид вршења функције подсистема и настаје прекидом једне карике у функционалном ланцу система. Узроци настајања ових отказа су најчешће примарни откази елемента настали услед замора. Разарање елемената замором настаје услед дуготрајног деловања променљивих оптерећења и напона, чак и у случају када су максималне вредности тих напона испод статичке чврстоће. Процес заморног разарања се знатно усложњава при деловању фактора спољне средине, као што су: корозија, повишене температуре, концентрисани напони итд.);

2. Вибрације и појачани шум (Јављају се као последица зазора, лабавих веза, застарелости елемената и коришћења неадекватног уља.);

3. Зазор у систему (Разлози појављивања овог догађаја су хабање елемената система или лабаве везе елемената. Хабање представља триболошки процес постепеног разарања површинског слоја материјала при спрезању елемената и јавља се од самог почетка експлоатације система. Одређени зазори увек постоје, али када њихове величине достигну одређену граничну (дозвољену) вредност долази до наглог погоршања карактеристика елемената, које зависе од зазора и отказа елемената. Отказ система може настати и као резултат разних комбинација стања елемената, од којих ниједан није достигао граничну вредност.);

4. Деформације елемената система погонског моста (Крутост конструкције у општем смислу представља отпорност конструкције на еластичне и пластичне деформације. Деформације елемената система карданских вратила обухватају све трајне деформације система, настале услед дефектности израде елемената или преоптерећења елемента у току експлоатације.) и

5. Оштећења и похабаност (Манифестују се као последица појачаног трења на клизним површинама елемената система или услед деформације појединих елемената.).

6.1 Квалитативна анализа стабла отказа

Основне фазе квалитативне анализе стабла отказа су [12]:

- одређивање минималних скупова пресека,
- рангирање елемента по значајности,
- анализа заједничког узрока итд.

При квалитативној анализи стабла откага прво је неопходно да се сваки догађај у формираном стаблу “Отказ система спојнице” обележи одговарајућом Буловом променљивом (слика 5.13).

Ове променљиве се најчешће означавају као:

- вршни догађај – T (“top event”),
- посредни догађај – $G_i, i=1, 2, 3, \dots$ (“gates”) и
- базични догађаји – $E_j, j=1, 2, 3, \dots$ (“events”) или $P_n, n=1, 2, 3, \dots$ и $S_m, m=1, 2, 3, \dots$ (“primary” и “sekundary” events).

Проучавано стабло отказа се састоји од 8 посредних и 37 базичних догађаја (12 примарних и 25 секундарних).

Прва фаза квалитативне анализе стабла отказа јесте добијање минималних скупова пресека. Под скупом пресека подразумева се скуп догађаја који узрокује вршни догађај, а под минималним скупом пресека минимални скуп догађаја који се не може даље редукovati, а који узрокује вршни догађај. До минималних скупова пресека долази се путем следећа три корака [1, 10, 11, 12]:

1. На основу стабла отказа пишу се Булове једначине за свако логичко коло у стаблу отказа. Сваком колу одговара једна једначина. За дати пример важи:

$$T = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5$$

$$G_1 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$\begin{aligned}
G_2 &= S_1 + S_2 + S_3 \\
G_3 &= G_6 + G_7 + G_8 \\
G_6 &= S_4 + S_5 \\
G_7 &= S_6 + S_7 \\
G_8 &= S_8 + S_9 + S_{10} \\
G_4 &= P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + S_{10} \\
G_5 &= S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + S_{17} + S_{18} + S_{19} + S_{20} + S_{21} + S_{22} + S_{23} + S_{24}
\end{aligned} \tag{6.1}$$

2. Вршити замену израза за посредне догађаје све док израз за вршни догађај не буде само у функцији базичних догађаја. Конкретан пример садржи само унију базичних догађаја, те је у циљу рационализације могуће написати израз за вршни догађај као [1]:

$$T = \sum_{i=1}^{12} P_i + \sum_{j=1}^{25} S_j \tag{6.2}$$

3. Извршити редукцију добијеног израза користећи правила Булове алгебре. За кохерентна стабла отказа (стабла отказа која садрже само “И” и “ИЛИ” капије, као и базичне догађаје без њихових негација) довољно је користити само закон идемпотенције ($P \cdot P = P$) и закон апсорпције ($P + P \cdot Q = P \cdot (P + Q) = P$). За наведени пример израз добијен у другом кораку не може се даље редуковати.

Применом описаног поступка на крају другог корака добијају се сви скупови пресека стабла, а на крају трећег корака сви минимални скупови пресека стабла. Другим речима, резултат корака два је дисјунктивна нормална форма, а резултат корака три минимална дисјунктивна нормална форма. Појам минимални скуп пресека везује се само за поменуто кохерентна стабла отказа и њиховим добијањем завршена је прва и најважнија фаза квалитативне анализе.

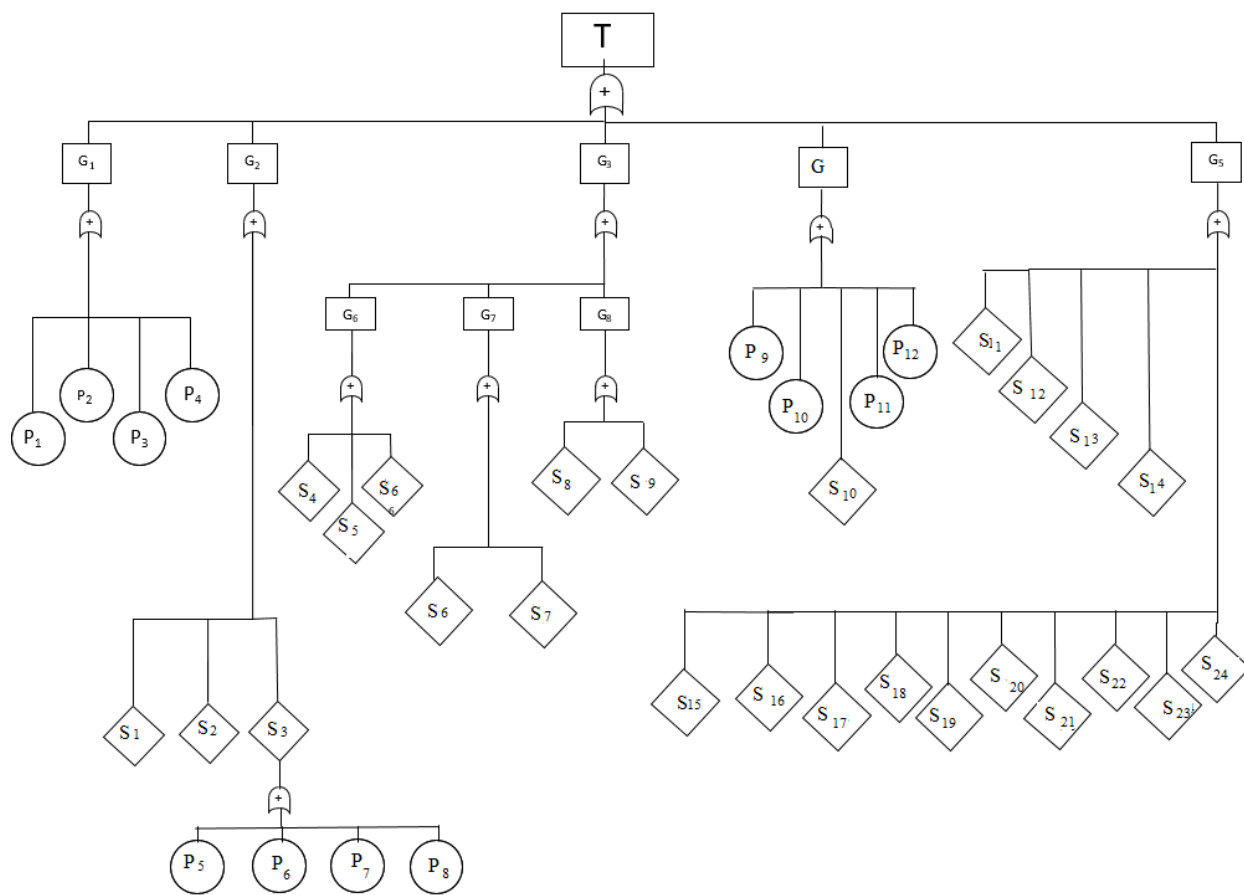
Друга фаза квалитативне анализе стабла отказа се састоји у рангирању добијених минималних скупова пресека према броју чланова, тако што се на врх ставе они са најмањим, а на дно они са највећим бројем чланова. Затим је потребно анализирати значај сваког појединачног догађаја.

Веома велику улогу у квалитативној анализи стабла отказа има анализа заједничког узрока. Њоме се анализира понашање система који је подвргнут специјалним условима и секундарним узроцима. Секундарни узрок је онај догађај који може да допринесе појављивању неколико базичних догађаја у стаблу отказа.

Код подсистема спојница, сви секундарни узроци који доводе до базичних догађаја могу се сврстати у четири категорије [1, 11, 12, 13]:

- А – неблагоприятно одржавање,
- Б – дефектна израда,
- Ц – старење елемената система и
- Д – преоптерећење.

Ако се узме у обзир број елемената у систему, односно потенцијални број појављивања појединих начина отказа, добија се да проучавано стабло отказа садржи 12 примарних и 25 секундарних догађаја.



Слика 6.4 Развијање вршног догађаја

Базични догађаји се могу груписати према секундарним узроцима на следећи начин:

•услед не благовременог одржавања настаје скуп догађаја:

$A = (P_9, P_{10}, P_{11}, S_3, S_2),$

•услед дефектне израде настаје скуп догађаја:

$B = (P_5, P_6, P_7, P_8, S_8, S_{19}),$

•услед старења настаје скуп догађаја:

$C = (S_1, S_5, S_7, S_4, S_9, S_{10}, 2S_6),$

•услед преоптерећења система настаје скуп догађаја:

$D = (P_1, P_2, P_3, P_4, P_{12}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}, S_{20}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}).$

На основу претходно дефинисаних скупова може се написати израз за скуп догађаја који доводе до вршног догађаја:

$T = (5 \text{ догађаја категорије } A, 6 \text{ догађаја категорије } B, 8 \text{ догађаја категорије } C, 17 \text{ догађаја категорије } D).$

Релативни удео (РУ) сва четири претходно наведених узорака (А, Б, Ц, Д) гласи:

$$P_{YA} = \frac{A}{X} = \frac{5}{38} = 0,131,$$

$$P_{YB} = \frac{B}{X} = \frac{6}{38} = 0,157,$$

(6.3)

$$P_{УЦ} = \frac{Ц}{X} = \frac{8}{38} = 0,210 \text{ и}$$

$$P_{УД} = \frac{Д}{X} = \frac{17}{38} = 0,447,$$

где је:

$$X = A+B+Ц+Д, \quad (6.4)$$

при чему је:

$$\sum_{i=A}^D P_{У_i} = 1. \quad (6.5)$$

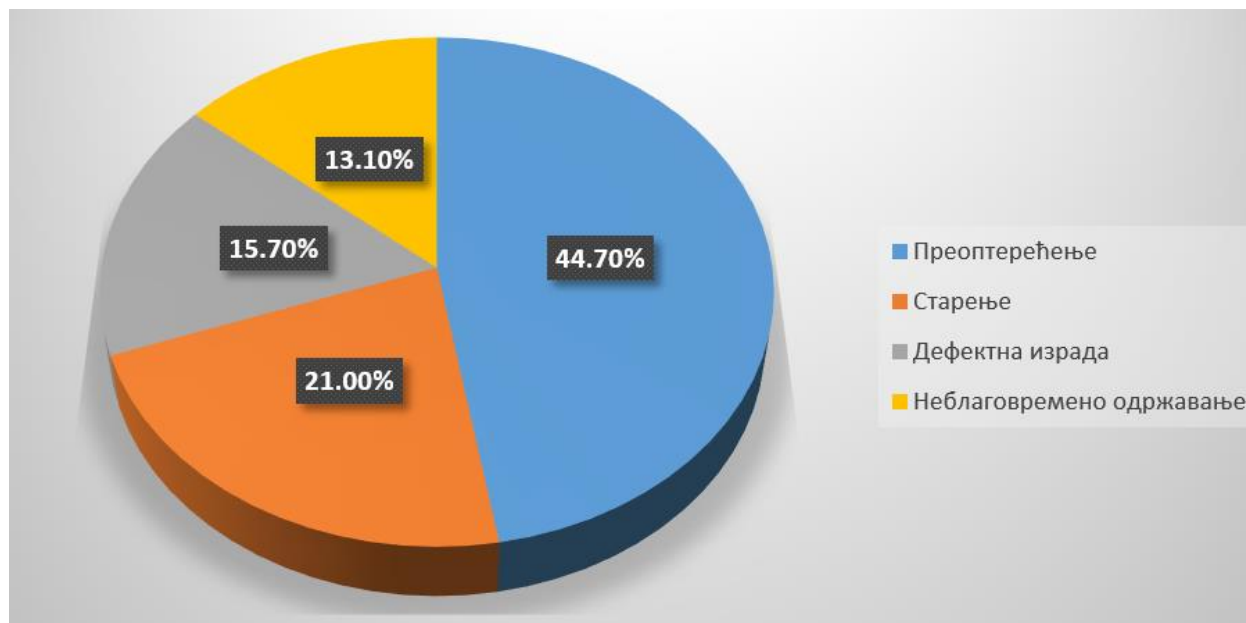
Графички приказ процентуланог учешћа секундарних узрока базичних догађаја дат је на слици 6.5.

На основу добијених података примећује се да највећи број елемената (44,7%) отказује услед преоптерећења, следећи узрок који највише доводи до отказа система је старење (21,0%), затим дефектна израда (15,7%) и неблаговремено одржавање (13,1%).

Преоптерећење које углавном доводи до великог броја отказа настаје услед непредвиђених режима рада система као и утицаја спољашњих фактора. Уколико се систем користи на начин на који је предвиђено и препоручено као и уз прописано одржавање, откази условљени преоптерећењем неће представљати велики проблем.

Отказе који настају услед старења могуће је избећи добрим избором материјала, и то оних материјала од којих се израђују делови у спреси. Такође ови нежељени откази се могу избећи применом технолошких мера.

Редовним одржавањем које подразумева периодичне контроле целог система и спровођењем одговарајућих превентивних мера могуће је избећи отказе настале услед не благовременог одржавања.



Слика 6.5 Процентуално учешће секундарних узорака базичних догађаја

Унапређивањем контроле квалитета и технолошких поступака у свим фазама израде елемената система може имати за последицу избегавање дефектне израде.

7. АНАЛИЗА НАЧИНА И ПОСЛЕДИЦА ОТКАЗА

Анализа начина и последица отказа (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA), као једна од метода за анализу отказа, представља поступак за процену поузданости техничких система у свим фазама његовог животног циклуса [9].

ФМЕА је индуктивно – дедуктивна метода усмерена на анализу утицаја отказа појединих елемената на рад система, односно на анализу последица појаве отказа на вршење захтеване функције циља, у границама дозвољених одступања система [10]. Циљ примене ове методе је избегавање грешака пре него што се оне појаве. Заснива се на разматрању свих потенцијалних отказа саставних делова система. То је у ствари систематски поступак који омућава дефинисање акција у циљу отклањања узрока отказа и свођења ефеката отказа на минимум [5].

ФМЕА је једна од најстаријих метода систематске анализе отказа. Ова метода је развијена у оружаним снагама САД-а након Другог светског рата са циљем анализе система током раног стадијума њиховог развијања. Први пут метода је споменута у документу MIL-P-1629 издатом 9. новембра 1949. под називом “Поступци за спровођење анализе начина отказивања критичности и последица” (Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis).

Током 60-тих година ФМЕА методу почиње користити аеронаутичка и свемирска индустрија са нагласком на безбедносним функцијама [11].

Примена ФМЕА у пројектима аутомобилске индустрије уследила је тек у другој половини осамдесетих година и везује се за увођење смерница квалитета Q-101 од стране америчке компаније Форд [5].

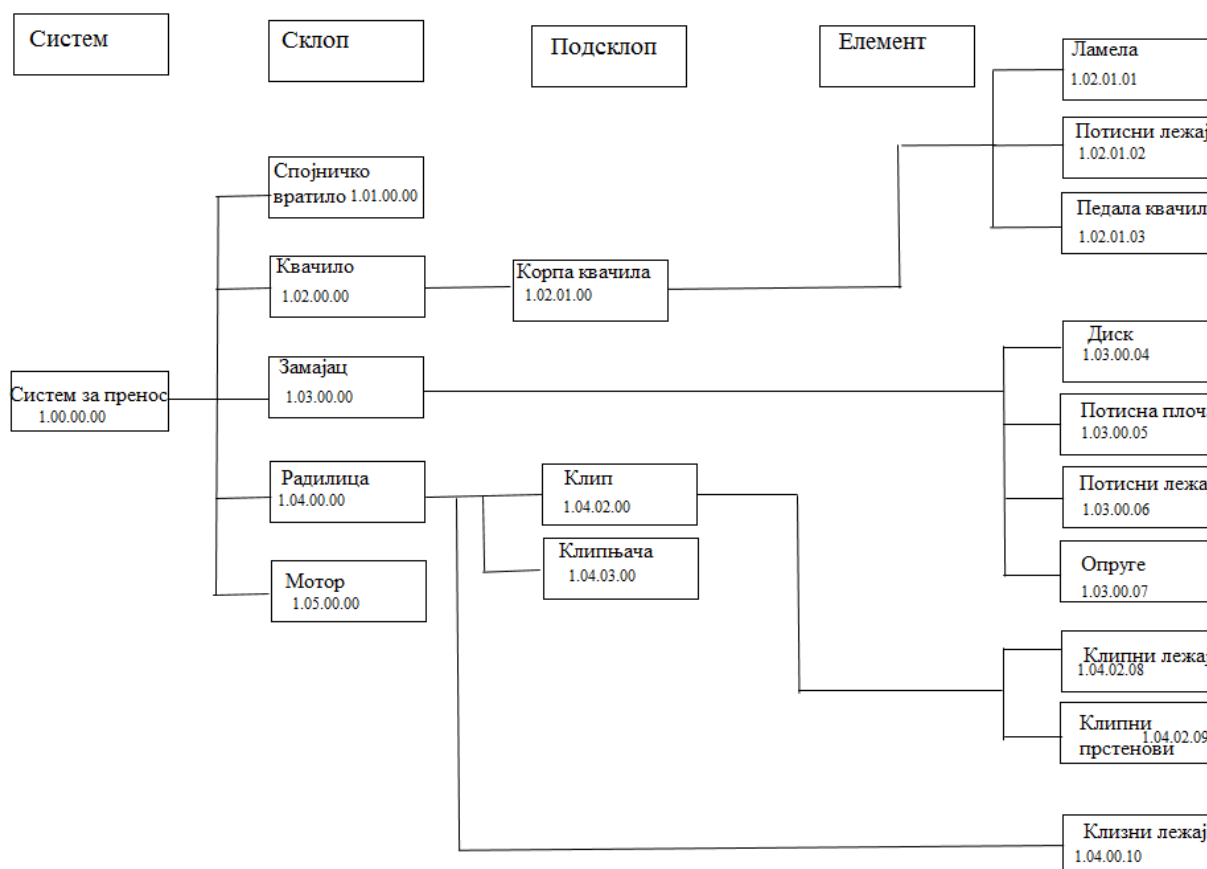
Нагло повећање употребе методе одвија се 80-тих година издавањем стандарда за квалитет аутоделова QS-9000 од стране америчке аутомобилске индустрије, а који су морали да задовоље сви добављачи. Стандард захтева ФМЕА анализу сваког система или дела како би се исти могао уграђивати у аутомобил. Стандард QS-9000 је у ствари верзија опште познатог стандарда квалитета ISO 9000.

Сама примена методе ФМЕА је најпожељнија у фази пројектовања када је, на основу онога што ова метода пружа, могуће дефинисати и спровести потребне превентивне акције. Али истовремено спровођење ФМЕА у фази пројектовања захтева и више знања, напора и интуиције од аналитичара, јер се о датом елементу – систему мало зна.

Основни циљ ФМЕА је да укаже на све отказе који у било ком степену, са било којом вероватноћом могу да угрозе функцију циља анализираног система. Наравно, овај поступак се може применити на све делове система, тј. може се спровести ФМЕА делова, подсклопова, склопова итд.

Проширену варијанту ФМЕА за анализу критичности отказа представља ФМЕЦА (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - FMECA).

ФМЕЦА омогућава брзу идентификацију сваког потенцијалног катастрофалног отказа, као и благовремено откривање критичних елемената и њихово отклањање још у фази разраде пројекта система. Само један начин отказа који није предвиђен у развојним фазама система може резултовати снижењем поузданости и сигурности функционисања, као и великим временским и материјалним губицима у каснијем раду система [1, 5, 11, 12].



Слика 7.1 Рашчлањавање система на склоп, подсклоп и елемент

Циљ анализе је да на основу спроведене ФМЕА изврши корективне акције на систему, у циљу елиминације или смањења вероватноће дешавања критичних начина отказа. Помоћу ФМЕЦА се врши рангирање критичних начина отказа према степену критичности коришћењем условне вероватноће настајања крајње последице (отказа).

8. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог рада био је откривање отказа система квачила, као нежељеног догађаја, који има директан утицај на смањење поузданости система, а самим тим и на његов лошији квалитет. Због тога у циљу спречавања или откривања појаве отказа, као и побољшања квалитета, било је неопходно изанализирати појмове као што су: начин, узрок, последица, вероватноћу појаве, критичности итд., и на основу њихове анализе препоручити најбоље превентивне и корективне мере, а у циљу спречавања или отклањања појаве отказа.

Детаљна анализа техничких система са становништва појаве отказа извршава се коришћењем следећих метода: Анализе стабла отказа (ФТА), анализе начина и последица отказа (ФМЕА) и Анализе начина, последица и критичности отказа (ФМЕЦА). Анализа отказа се најчешће спроводи са циљем утврђивања и изоловања узрока отказа, као и дефинисања превентивних и корективних акција за повећање поузданости система. Код већине система анализа отказа указује на недостатак у једном од три домена: пројектовању, производњи или експлоатацији. Спровођење метода анализе отказа у почетним фазама највећи је проблем, али се на тај начин доносе велике уштеде не само конструктору већ и осталима у ланцу (произвођачу и кориснику). Због тога је анализи отказа најбоље приступити још у фази пројектовања система. То, међутим, често представља проблем, јер је тешко све предвидети у раној фази живота система. Тек у експлоатационим условима добијају се релевантне повратне информације неопходне за потпуну анализу отказа система, а самим тим се појављује могућност и за повећање поузданости система.

Анализа стабла отказа (ФТА) је један од основних и најчешће коришћених метода за анализу отказа техничких система. У раду је извршена конструкција стабла отказа за најопштији нежељени догађај проучаваног машинског система, “Отказ система квачила”. На основу формираног стабла отказа извршена је квалитативна ФТА.

Добијање минималних скупова пресека омогућило би откривање комбинација више начина отказа које доводе до вршног догађаја, а потом и рангирање елемената по важности. Но, због редне везе елемената у подсистему погонски мост, у формираном стаблу отказа су присутне само “ИЛИ” капије, те су добијени скупови пресека истовремено и минимални скупови пресека са по једним чланом, што онемогућава и рангирање елемената по важности.

Анализа заједничког узрока базичних догађаја стабла отказа извршена је путем четири секундарна узрока. Најчешћи узрок отказа разматраног система представља преоптерећење елемената система са релативним уделом од 44,7%. На другом месту са 21% је старење, а затим на трећем месту се налази дефектна израда са 15,7% и на крају неблаговремено одржавање са 13,1%. На основу анализе намећу се неколико праваца за повећање поузданости система.

Могућност за повећање поузданости проучаваног система потребно је уочити најпре у фази пројектовања система као и у фази његове експлоатације.

Инжењери – конструктори посредно, избором бољих материјала, извесним конструктивним мерама и прописивањем одговарајућих технолошких поступака, могу утицати на смањење отказа који настају услед старења. Такође, конструктори могу пре свега да утичу на смањење преоптерећења избором одговарајућег режима рада као и елеминисањем извесних спољашњих фактора који до тог оптерећења могу довести.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Ћатић Д.**, *Методе поузданости машинских система*, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [2] **Ћатић Д.**, *Поузданост у развоју машинских система*, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [3] **Вујошевић М.**: Анализа стабла неисправности: преглед основних појмова и техника, Техника 38, (1983 год)
- [4] **Јовичић С.**: Основи поузданости машинских конструкција, Научна књига, Београд, 1990 год.
- [5] **Кецојевић С., Ивановић Г., Камберовић Б.**: Методи анализе отказа, квалитет и стандардизација, 1-2; 1993 год
- [6] **Папић Љ.**: Методе повишења ефективности испитивања за оцену поузданости технолошких система, ОМО, Београд, 1993 год.
- [7] Clif Ericson, Fault tree analysis – Frpm procesings of the 16th international system safety conference, 1998
- [8] http://www.vozite.com/transmisija_na_motornom_vozilu.html
- [9] Dijagnostika kvarova LuK-ov vodič za dijagnostiku kvara sistema spojki
- [10] <http://www.automobilizam.net/motorna-vozila/menjacki-mehanizam/>
- [11] <http://opusteno.rs/automobilizam-f48/dijagnoza-kvarova-kvacila-t22716.html>
- [12] <http://studenti.rs/skripte/frikciona-spojnica/>
- [13] www.wikipedia.org