ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ս.Շ.ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅՈՒՆ

Ուսումնական ձեռնարկ

ԵՐԵՎԱՆ 2003

ՀՏԴ 681-51

Ավտոմատացված համակարգերի հուսալիություն: Ուսումնական ձեռնարկ. Ս.Շ.Բալասանյան: Երևան: Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան, 2003: 90 էջ:

Շարադրված են հուսալիության տեսության մեջ օգտագործվող հիմնական հասկացությունները, սահմանումները և չափանիշները, հուսալիության որակական և քանակական բնութագրերը, ինֆորմացիայի մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգերի գործունեության հուսալիության և արդյունավետության հաշվարկի ճարտարագիտական, ներառյալ քոմփյութերային մոդելավորման և շահագործման փուլում հուսալիության ապահովման մեթոդները:

Նախատեսված է բարձրագույն ուսումնական հաստատություններում «Տեղեկատվության մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգեր» և հարակից մասնագիտություններով սովորող ուսանողների համար:

Գրախոսներ՝ Նահապետյան Ռ.Շ.
Մանուկյան Ս.Ա.

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան 2003

ԱՌԱՋԱԲԱՆ

Հուսալիության ապահովման խնդիրը տեխնիկայի զարգացման բոլոր փուլերում միշտ էլ եղել է կարևորագույն հիմնահարցը։ Նրա դերը հատկապես աճել է վերջին տասնամյակներում՝ կապված բարդ տեխնիկական համարգերի՝ մասնավորապես տեղեկատվության (ինֆորմացիա) մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգերի (ԱՀ) ստեղծման հետ։ Վերջիններիս զարգացումը պահանջում է հուսալիության և արդյունավետության ապահովման հարցերի համալիր լուծում նախագծման, արտադրության, փորձարկման և շահագործման փուլերում։ Այդ հարցերի լուծումը հատկապես կարևորվում է այն պատճառով, որ հուսալիության հետազոտման ավանդական մեթոդները մեծամասամբ կիրառելի չեն բարդ ԱՀ-երի հուսալիության վերլուծության, գնահատման և ապահովման խնդիրների լուծման համար՝ այդ համակարգերի առանձնահատկությունների պատճառով (կառուցվածքը փոփոխելու ունակություն, մասնակի խափանումների դեպքում կառուցվածքային ավելցուկության շնորհիվ աշխատունակությունը պահպանելու հնարավորություն և այլն)։ Նշված հանգամանքը կարևորում է ԱՀ-երի հուսալիության վերլուծության ու ապահովման ոլորտում անհրաժեշտ գիտելիքներ և գործնական հմտություններ ունեցող մասնագետների պատրաստումը։

«Ավտոմատացված համակարգերի հուսալիություն» դասընթացի ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է «Տեղեկատվության մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգեր» (դասիչ՝ 2202), «Տեղեկատվական (ինֆորմացիոն) համակարգեր (ըստ կիրառման բնագավառների)» (դասիչ՝ 0719) մասնագիտություններով ճարտարագիտության բակալավրի ծրագրով սովորող ուսանողների համար։ Այն կարևորագույն մասնագիտական առարկաներից է, որի ուսումնասիրման արդյունքում ստացված գիտելիքները և գործնական հմտությունները անհրաժեշտ են մասնագիտական մյուս դասընթացների յուրացման և բակալավրական ավարտական աշխատանքի կատարման համար։

Ներկա ուսումնական ձեռնարկը մշակված է «ԱՀ հուսալիություն» դասընթացի ուսումնական ծրագրին համապատասխան, որը «ԱԿՀ-ի հուսալիություն» և «Հուսալիության կիրառական տեսություն» անվանումներով հեղինակի կողմից կարդացվել է 1978 թվականից մինչև 1997թ. ԵրՊԻ (ՀՊՃՀ) ԱԿՀ ամբիոնում, իսկ 1997 թվականից մինչ այժմ՝ ՀՊՃՀ Կապանի մասնաճյուղի ԿԱՀ և Ի սեկտորում։

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Հուսալիության տեսությունը զբաղվում է տեխնիկական սարքերի և համակարգերի խափանումների առաջացման պատճառների և օրինաչափությունների ուսումնասիրությամբ, հուսալիության գնահատման, հաշվարկման և փորձարկման մեթոդների մշակմամբ, ինչպես նաև հուսալիության բարձրացման նոր միջոցների որոնմամբ:

Հուսալիության տեսությունը սկսել է ձևավորվել 50-ական թվականների սկզբին՝ կապված ռադիոտարրերի հուսալիության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների հավաքման ու ռադիոէլեկտրոնային պարզագույն սարքերի հուսալիության հաշվարկի համար անհրաժեշտ հավասարումների մշակման հետ: Ներկայումս հուսալիության վերլուծության և վերահսկման մեթոդները լայնորեն կիրառվում են տեխնիկայի և արտադրության ամենատարբեր բնագավառներում: Թողարկվող արտադրանքի հուսալիության ապահովումը համարվում է համապետական կարևորագույն խնդիր:

Անհրաժեշտ է նշել, որ անհուսալիությունը հսկայական տնտեսական վնաս է հասցնում տնտեսությանը, չհաշված նրա բարոյական, քաղաքական հետևանքները և մարդկային զոհերի վտանգը, որոնք հնարավոր չէ գնահատել տնտեսական չափանիշներով:

Հուսալիության դերը աճում է այն գործառույթների պատասխանատվության բարձրացմամբ, որոնք դրվում են ներկայիս տեխնիկական բարդ համակարգերի, մասնավորապես տեղեկատվության (ինֆորմացիա) մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգերի (ՏՄԿԱՀ) վրա: Ավտոմատացված համակարգերի (ԱՀ) ստեղծումը և ներդրումը պահանջում է լուրջ ուշադրություն դարձնել հուսալիության ապահովմանը, քանի որ նրանց գործունեության դադարեցումը կամ սխալ հրամանի հաղորդումը կարող է աղետալի հետևանքների հանգեցնել (ՀՕՊ-ի համակարգեր, ռազմական ԱՀ-եր, ատոմային ռեակտորների ԱՀ-եր և այլն):

Ակնհայտ է, որ ԱՀ-ն գոյության իրավունք ունի, եթե հուսալի է և ձեռնտու: Փորձը ցույց է տալիս, որ ավելի շահավետ է լրացուցիչ ծախսումներ կատարել ԱՀ-ի ստեղծման փուլում նրա հուսալիության բարձրացման նպատակով, քան հսկայական միջոցներ ծախսել անհուսալի համակարգի շահագործման ընթացքում:

Հուսալիության տեսության զարգացման կարևորագույն ուղղություններն են՝

1. Հուսալիության մաթեմատիկական տեսությունը, որը զբաղվում է խափանումների առաջացման օրինաչափությունների մաթեմատիկական նկարագրությամբ, ինչպես նաև հուսալիության

գնահատման և նրա ցուցանիշների ինժեներական հաշվարկի մեթոդների մշակմամբ:

2. Հուսալիության վիճակագրական տեսությունը, որն ուսումնասիրում է հուսալիության բնութագրերը և խափանումների առաջացման օրինաչափությունները՝ օգտագործելով հուսալիության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալները:

3. Հուսալիության ֆիզիկական տեսությունը, որն ուսումնասիրում է խափանումների առաջացման ֆիզիկական պատճառները, ծերացման, ամրության, արտաքին և ներքին ֆիզիկա-քիմիական գործոնների ազդեցությունը օբյեկտի հուսալիության վրա:

Հուսալիության տեսության հիմնական (դասական) մաթեմատիկական ապարատը հավանականությունների տեսությունը և մաթեմատիկական վիճակագրությունն է:

Հուսալիության ժամանակակից տեսության մեջ լայնորեն կիրառվում են գրաֆների տեսությունը, մաթեմատիկական տրամաբանությունը, մաթեմատիկական և ֆիզիկական մոդելավորումը, համակարգային վերլուծության, գործույթների հետազոտման և այլ մեթոդները: Վերջին ժամանակներս հուսալիության խնդիրների լուծման ասպարեզում սկսել են լայնորեն կիրառել նմանակային (վիճակագրական) մոդելավորումը, որն առանձնապես արդյունավետ, իսկ որոշ դեպքերում տեխնիկական բարդ համակարգերի հուսալիության և արդյունավետության ուսումնասիրության միակ միջոցն է համարվում:

1.ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՍԱՀՄԱՆՈՒՄՆԵՐԸ

1.1. ՀԱՄԱԿԱՐԳ ԵՎ ՏԱՐՐ

Համակարգը միմյանց հետ փոխներգործության մեջ գտնվող տարրերի համախմբություն է, որը տվյալ պայմաններում նախատեսված է կատարելու որոշակի գործառույթներ:

Համակարգի տարր կանվանենք նրա որևէ մասը, որն ընդունակ է կատարելու որոշակի գործողություն և տվյալ հետազոտության շրջանակներում մասնատման ենթակա չէ: Տարրի ներքին կառուցվածքը հետազոտության առարկա է, և հետաքրքրություն են ներկայացնում տարրի միայն այն հատկությունները, որոնք բնորոշում են նրա փոխգործունեությունը այլ տարրերի հետ և ազդում են համակարգի գործունեության վրա:

Ակնհայտ է, որ այս երկու հասկացությունները միանգամայն հարաբերական իմաստ ունեն և էականորեն կախված են հետազոտության նպատակից և հետազոտողի հակումներից: Այսպես, օրինակ ԱՀ-ի գործունեությունը հետազոտելիս, որպես տարր կարելի է դիտել նրա ենթահամակարգերը, հաշվողական համալիրները այն դեպքում, երբ վերջիններիս գործունեությունը ուսումնասիրելիս որպես տարրեր կարելի է դիտարկել նրանց բաղկացուցիչ մասերը:

Հետագա շարադրանքի ընթացքում այս երկու հասկացությունների համար անհրաժեշտության դեպքում կօգտագործվի օբյեկտ ընդհանուր տերմինը:

1.2 ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՍԱՀՄԱՆՈՒՄԸ

Ցանկացած օբյեկտի որակ ասելով հասկանում ենք նրա այն հատկությունների համախումբը, որոնք որոշում են օբյեկտի պիտանիությունը նախատեսված գործառույթների կատարման տեսակետից՝ օբյեկտը ըստ նշանակության օգտագործելու դեպքում:

Օբյեկտի որակը բնութագրող հատկությունները բաժանվում են երկու խմբի՝

1. Սարքին վիճակում օբյեկտի տեխնիկական բնութագրեր (ԷՀՄ-երի համար, օրինակ՝ արագագործությունը, հիշողության ծավալը և այլն);
2. Շահագործման տրված ժամանակահատվածում տեխնիկական բնութագրերը նշված սահմաններում պահպանելու հատկությունը:

Այս հատկությունների խումբն էլ օբյեկտի հուսալիությունն է:

Այսպիսով, օբյեկտի հուսալիությունը շահագործման որոշակի պայմաններում նրա վրա դրված գործառույթները կատարելու հատկությունն է` պահպանելով տեխնիկական բնութագրերը տրված սահմաններում:

Հուսալիությունը օբյեկտի որակի կարևորագույն ցուցանիշն է, որը կախված է օբյեկտի այլ հատկություններից և զանազան գործոններից: Հուսալիության հիմնական հասկացություններից է խափանումը: Խափանումը մի պատահար է, որի հանդես գալուց հետո օբյեկտը լիովին կամ մասամբ կորցնում է տրված գործառույթները կատարելու ընդունակությունը: Ըստ այդմ, խափանումները կարող են լինել մասնակի և վերջնական:

Մասնակի խափանման դեպքում օբյեկտը ընդունակ է մասնակիորեն կատարելու իր գործառույթները:

Վերջնական կամ լրիվ խափանման դեպքում օբյեկտը իսպառ դադարում է գործել:

Ըստ ծագման բնույթի տարբերում են ակնթարթային և աստիճանական խափանումներ:

Ակնթարթային խափանումը տեղի է ունենում կարճ ժամանակամիջոցում, առանց արտաքին նախանշանների: Նրա հանդես գալուն նպաստում են թաքնված թերությունները, մեխանիկական և էլեկտրական լարումների կտրուկ փոփոխությունները:

Աստիճանական խափանումները ծագում են վնասվածքների աստիճանական կուտակման հետևանքով և հիմնականում արդյունք են մաշվածության ու ծերացման (լարքի խախտում, ռադիոտարրերի բնութագրերի աստիճանական փոփոխություն և այլն):

Աստիճանական և ակնթարթային խափանումների զանազանումը էական է, քանի որ նրանք ենթարկվում են տարբեր օրինաչափությունների:

Խափանումները կարող են լինել ինքնավերացվող: Սրանց վտանգավորությունն այն է, որ առանց սարքի խափանման փաստի արձանագրման կարող են հանգեցնել ինֆորմացիայի աղավաղման: Տարբերում են նաև անկախ և կախյալ խափանումներ:

Անկախ կոչվում են այն խափանումները, որոնցից որևէ մեկի տեղի ունենալու հավանականությունը կախված չէ մյուսների տեղի ունենալու փաստից: Տարբերում են նաև ապարատային և ծրագրային խափանումներ: Առաջին դեպքում օբյեկտը կորցնում է իր աշխատունակությունը ֆիզիկաքիմիական պատճառներով:

Ծրագրային խափանում անվանում են այն պատահարը, որի դեպքում օբյեկտը կորցնում է իր աշխատունակությունը` ծրագրի կամ ալգորիթմի անկատարության պատճառով:

Շահագործման և պահպանման ընթացքում օբյեկտը կարող է գտնվել տարբեր վիճակներում: Հուսալիության տեսակետից մեզ հետաքրքրելու են օբյեկտի հետևյալ վիճակները.

- *Աշխատունակ վիճակ՝* օբյեկտի այն վիճակն է, որի դեպքում նա ընդունակ է կատարելու տրված գործառույթները՝ բավարարելով տեխնիկական փաստաթղթերում նշված պահանջները:

Խափանման հետևանքով օբյեկտը աշխատունակ վիճակից անցնում է անաշխատունակ վիճակի, իսկ եթե խափանումը մասնակի է՝ մասնակի խափանված վիճակի:

- *Սարքին վիճակ՝* այն վիճակն է, երբ օբյեկտը բավարարում է տեխնիկական փաստաթղթերում նշված բոլոր պահանջներին:
- *Անսարք վիճակ՝* օբյեկտի այն վիճակն է, որի դեպքում նա չի բավարարում տեխնիկական փաստաթղթերում նշված պահանջներից թեկուզ մեկին:

2.ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՐԱԿԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԸ

2.1 ԱՆԽԱՓԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ, ՎԵՐԱՆՈՐՈԳԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆԸ, ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՊԱՀՊԱՆԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՐՊԵՍ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՐԱԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐ

Հուսալիությունը համալիր հատկություն է: Այն որակապես բնութագրվում է հետևյալ հատկությունների համախմբությամբ՝

Անխափանություն. տրված ժամանակահատվածում առանց ստիպողական ընդհատումների աշխատունակությունը պահպանելու հատկությունն է:

Վերանորոգելիություն. օբյեկտի այն հատկությունն է, որը բնութագրում է, թե օբյեկտը որքանով է հարմարեցված վերանորոգման, խափանումների հայտնաբերման և կանխման համար:

Երկարակեցություն. օբյեկտի հատկությունն է պահպանելու իր աշխատունակությունը մինչև ծայրագույն վիճակ, տեխնիկական սպասարկման և վերանորոգման համար անհրաժեշտ ընդհատումներով:

Պահպանելիություն. պահպանման և փոխադրման գործընթացում սարքին վիճակում մնալու հատկությունն է:

Կախված օբյեկտի օգտագործման բնագավառից և առանձնահատկություններից՝ հուսալիությունը կարող է ներառել նշված հատկություններից մի քանիսը կամ բոլորը:

Բացի նշված հատկություններից ԱԿՀ-ի հուսալիությունը բնութագրվում է նաև հետևյալ երկու հատկություններով՝

Կենսունակություն. Նորմալ շահագործման պայմաններով չնախատեսված անբարենպաստ ազդեցությունների դեպքում օբյեկտի լրիվ կամ մասնակի աշխատունակությունը պահպանելու հատկությունն է:

Հավաստիություն. օբյեկտի կողմից ինֆորմացիայի ձևափոխումը, պահպանումը և հաղորդումը առանց աղավաղումների ու սխալների իրականացնելու հատկությունն է:

Այսպիսով հուսալիությունը որոշակի շահագործման պայմաններում, տրված ժամանակահատվածում աշխատունակությունը պահպանելու հատկությունն է:

2.2 ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՀԱՎԱՍՏԻՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ինֆորմացիայի հաղորդման և մշակման համակարգում կամ առանձնացված քոմփյութերում խափանումների բացակայության պայմաններում հնարավոր է ինֆորմացիայի աղավաղում: Այս հանգամանքը, որը հաշվի չի առնվում հուսալիության` վերը նշված հատկությունների կողմից, ոչ պակաս կարևոր է, քան սարքավորման խափանումը: Այդ պատճառով, այն հաշվի առնելու նպատակով, մտցվում է ինֆորմացիայի հավաստիության գաղափարը:

Ակնհայտ է, որ վերոհիշյալ հատկությունները բնութագրում են օբյեկտի հուսալիությունը միմիայն որակապես:

Բարդ համակարգերի համար հուսալիության հասկացության փոխարեն ներմուծվում է գործունեության արդյունավետություն հասկացությունը:

Ընդհանրապես, արդյունավետությունը բարդ համակարգի կողմից որևիցե օգտակար արդյունք տալու հատկությունն է` համակարգն ըստ նշանակության օգտագործելու դեպքում:

Արդյունավետության հասկացության օգտագործումը հուսալիության տեսության մեջ պայմանավորված է նրանով, որ այն հնարավորություն է տալիս ընդլայնել բարդ համակարգերի հուսալիության վերաբերյալ ունեցած պատկերացումը: Սկզբնական շրջանում հուսալիության տեսության մեջ օգտագործվող հուսալիության ցուցանիշները կողմնորոշված են եղել ընդամենը երկու հնարավոր վիճակներ (խափանված և աշխատունակ) ունեցող պարզ համակարգերի հուսալիության գնահատմանը: Ի տարբերություն դրանց, բարդ համակարգը տարրերի խափանումների դեպքում կարող է գտնվել բազմաթիվ աշխատունակ վիճակներում: Քանի որ այդպիսի համակարգի տարրերի խափանումները չեն հանգեցնում համակարգի խափանմանը (շնորհիվ համակարգի կառուցվածքի փոփոխման հատկության), այլ միայն նվազեցնում են նրա արդյունավետությունը, անհրաժեշտություն է առաջանում գնահատելու տարրերի խափանումների կամ անհուսալիության ազդեցությունը համակարգի արդյունավետության վրա: Այդ նպատակով անհրաժեշտ է ունենալ հուսալիության մի այնպիսի համալիր ցուցանիշ, որը հաշվի առնի հուսալիության ազդեցությունը արդյունավետության վրա: Այդ ցուցանիշը արդյունավետության պահպանման գործակիցն է:

3. ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԸ

Ինչպես նշեցինք, հուսալիությունը համալիր հատկություն է, և այն լիովին բնութագրելու համար անհրաժեշտ է ունենալ քանակական ցուցանիշների համախումբ: Այդ ցուցանիշներն են՝

1. Անխափան աշխատանքի հավանականություն,
2. Խափանումների հաճախականություն,
3. Խափանումների միջին հաճախականություն,
4. Խափանումների ուժգնություն,
5. Անխափան աշխատանքի միջին ժամանակ,
6. Երկու հարևան խափանումների միջև անխափան աշխատանքի միջին ժամանակ,
7. Պատրաստականության գործակից:

3.1 ԱՆԽԱՓԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Քանի որ խափանումը պատահական բնույթ ունի, ապա օբյեկտի միացումից մինչև առաջին խափանումը ընկած ժամանակահատվածը պատահական մեծություն է: Նշանակենք այն $\tilde{t}$ -ով: $P(t)$-ն t տևողությամբ անխափան աշխատելու հավանականությունն է: Այն սահմանվում է այսպես. օբյեկտի անխափան աշխատանքի հավանականությունը այն բանի հավանականությունն է, որ շահագործման տվյալ պայմաններում, տրված t տևողությամբ աշխատանքի ընթացքում օբյեկտը չի խափանվի:

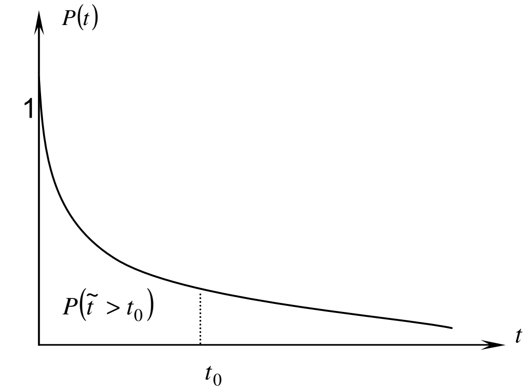
Այլ կերպ ասած, անխափան աշխատանքի հավանականությունը այն բանի հավանականությունն է, որ հավանական խափանումը տեղի կունենա t պահից հետո:

$$P(t) = P\{\tilde{t} > t\},\ t \ge 0\ :$$

Անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ $P(t)$-ն օժտված է հետևյալ հատկություններով՝

- Այն ժամանակից կախված նվազում է:
- $0 \le P(t) \le 1$:
- $P(0) = 1;\ \ P(\infty) = 0$:

Ընդհանուր դեպքում անխափան աշխատանքի հավանականության գրաֆիկն ունի հետևյալ տեսքը.



Նկ.1 *Անխափան աշխատանքի հավանականության կախումը ժամանակից*

Օբյեկտի N_0 նմուշների փորձարկման ընթացքում ստացված խափանումների վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների հիման վրա անխափան աշխատանքի հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\hat{P}(t) = \frac{N_0 - \hat{n}(t)}{N_0}, \tag{3.1}$$

որտեղ՝ N_0-ն փորձարկման սկզբում նմուշների քանակն է, $\hat{n}(t)$-ն $[0,t]$ ժամանակահատվածում խափանված նմուշների քանակն է:

Փորձարկման սկզբում նմուշների քանակի աճին զուգընթաց անխափան աշխատանքի հավանականությունը ձեռք է բերում վիճակագրական կայունություն: Փորձարկման սկզբում նմուշների բավականաչափ մեծ N_0 քանակի դեպքում անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ $P(t)$-ն, կարելի է փոխարինել նրա վիճակագրական գնահատականով՝

$$\lim_{N\to\infty} P\{(\hat{p}(t) - p(t)) < \delta\} = 1,$$

որտեղ՝ δ-ն անվերջ փոքր դրական մեծություն է:

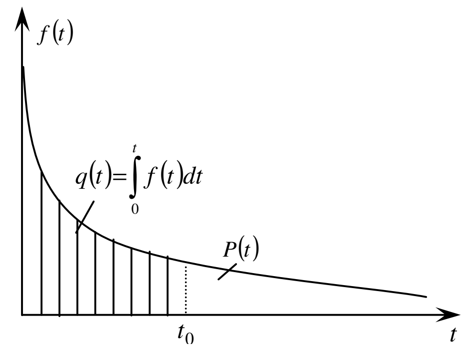
Գործնականում հաճախ հարմար է օգտագործել խափանման հավանականությունը, որը անխափան աշխատանքի հավանականության հետ կապված է հետևյալ առնչությամբ՝

$$q(t) = 1 - p(t) \quad \text{կամ} \quad q(t) = P\{\tilde{t} < t\} = F(t), \tag{3.2}$$

որտեղ՝ $q(t)$-ն $\tilde{t}$ պատահական մեծության՝ օբյեկտի միացումից մինչև առաջին խափանումը ընկած ժամանակի բաշխման ինտեգրալային ֆունկցիան է՝ $q(t)=F(t)$, որի ածանցյալն ըստ ժամանակի $\tilde{t}$ -ի բաշխման դիֆերենցիալ օրենքն է (խտության ֆունկցիան).

$$q'(t)=F'(t)=f(t)=-P'(t): \qquad (3.3)$$

(3.3)–ից հետևում է, որ $P(t)=\int_t^{\infty} f(t)dt$, այսինքն՝ անխափան աշխատանքի հավանականությունը $[0\div t]$ ժամանակահատվածի համար թվապես հավասար է $[t\div\infty]$ միջակայքում խտության ֆունկցիայի կորով սահմանափակված պատկերի մակերեսին:



Նկ. 2 *Խափանման հավանականության կախումը ժամանակից*

Վիճակագրական տվյալների հիման վրա խափանման հավանականությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$\hat{q}(t)=\frac{\hat{n}(t)}{N_0}: \qquad (3.4)$$

Անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ որպես հուսալիության բնութագիր, ունի հետևյալ առավելությունները.

1). Բնութագրում է ժամանակի ընթացքում հուսալիության փոփոխությունը,

2). Կարելի է դյուրին հաշվարկում կատարել մինչև համակարգի ստեղծելը՝ ունենալով տարրերի անխափան աշխատանքի հավանականությունները:

Որպես թերություն կարելի է նշել հետևյալը՝

1. Անխափան աշխատանքի հավանականությունը բնութագրում է օբյեկտի հուսալիությունը մինչև նրա առաջին խափանումը, ուստի չի

կարող բնութագրել վերականգնելի համակարգերի հուսալիությունը նրա առաջին խափանման պահից հետո:

2. Հայտնի $P(t)$-ի դեպքում դժվար է հաշվարկել օբյեկտի հուսալիության մյուս բնութագրերը:

3.2.ԽԱՓԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

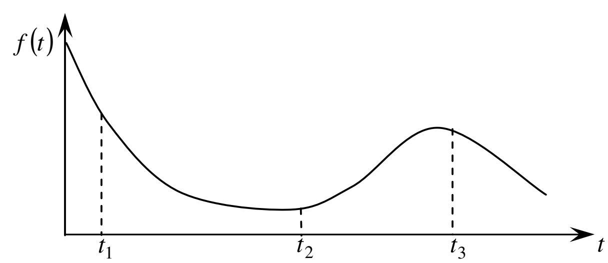
Սկզբում տանք խափանումների հաճախականության <u>վիճակագրական սահմանումը</u>:

Խափանումների վիճակագրական հաճախականությունը միավոր ժամանակամիջոցում խափանված նմուշների թվի և փորձարկման սկզբում եղած նմուշների թվի հարաբերությունն է, այն պայմանով, որ խափանված նմուշները չեն վերականգնվում.

$$\hat{f}(t)=\frac{\Delta\hat{n}(t)}{N_0\Delta t}, \tag{3.5}$$

որտեղ՝ $\Delta n(t)$-ն $[t, t+\Delta t]$ միջակայքում խափանված նմուշների թիվն է:

Ակնհայտ է, որ Δt ժամանակահատվածում խափանված նմուշների թիվը կախված է նրա՝ ժամանակի առանցքի վրա գտնվելու տեղից, ուստի $\hat{f}(t)$-ն ժամանակի ֆունկցիա է, որի գրաֆիկն ունի հետևյալ տեսքը՝



Նկ. 3 *Խափանումների հաճախականության կախումը ժամանակից*

$f(t)$ ֆունկցիայի համար կարելի է առանձնացնել հետևյալ ժամանակահատվածները. $[0, t_1]$, $[t_1, t_2]$, $[t_2, t_3]$, $[t_3, \infty[$:

$[0, t_1]$ ժամանակահատվածը անվանում են օբյեկտի մանկական կամ սկզբնական փուլ: Այստեղ $\hat{f}(t)$-ի մեծ արժեքը պայմանավորված է թաքնված (գործարանային, տեխնոլոգիական) թերություններով:

$[t_1, t_2]$ ժամանակահատվածն անվանում են նորմալ շահագործման փուլ: Այստեղ $\hat{f}(t)$-ն ցուցչային օրենքով է փոխվում: $\hat{f}(t)$-ի նվազումը կապված է փորձարկման մեջ գտնվող նմուշների թվի նվազման հետ:

$[t_2, t_3]$ ժամանակահատվածն անվանում են ծերացման փուլ: Այդ փուլում օբյեկտի հուսալիությունը խիստ ընկնում է ծերացման և մաշվածության երևույթների հետևանքով: $\hat{f}(t)$-ն այս միջակայքում աճում է: t_3–ից հետո սարքը հասնում է ծայրագույն տեխնիկական վիճակի:

t_3-ից հետո $\hat{f}(t)$–ի նվազումը բացատրվում է փորձարկման մեջ գտնվող նմուշների թվի սակավությամբ:

Այժմ գտնենք $\hat{f}(t)$–ի կապը հուսալիության մյուս բնութագրերի հետ և պարզենք նրա <u>հավանականային իմաստը</u>: Այդ նպատակով որոշենք Δt ժամանակահատվածում խափանված նմուշների թիվը հետևյալ կերպ՝

$$\Delta\hat{n}(t) = \hat{n}(t + \Delta t) - \hat{n}(t): \qquad (3.6)$$

(3.4)-ի հիման վրա կարող ենք գրել `

$$\Delta\hat{n}(t) = N_0\hat{q}(t + \Delta t) - N_0\hat{q}(t) = N_0[\hat{q}(t + \Delta t) - \hat{q}(t)]: \qquad (3.7)$$

Տեղադրենք (3.7)-ը (3.6)-ի մեջ և անցնենք սահմանի՝

$$\hat{f}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\hat{q}(t + \Delta t) - \hat{q}(t)}{\Delta t} = \hat{q}'(t) = -\hat{p}'(t): \qquad (3.8)$$

Եթե $N_0 \to \infty$, ապա կարող ենք գրել, որ

$$\hat{f}(t) \approx f(t) = q'(t) = -P'(t): \qquad (3.9)$$

Այսպիսով, $f(t)$-ն համընկնում է $F'(t)$-ի, այսինքն՝ t պատահական մեծության խտության ֆունկցիայի հետ:

(3.9)-ից կարող ենք գրել՝

$$q(t) = \int_0^t f(t)dt \quad \text{կամ} \quad P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt: \qquad (3.10)$$

$f(t)$-ի հիմնական առավելություններն են՝

1.Որպես բաշխման խտության ֆունկցիա լիովին բնութագրում է խափանումների առաջացման ժամանակը (օբյեկտի աշխատանքի տևողությունը մինչև առաջին խափանումը):

2.Յայտնի $f(t)$-ի օգնությամբ հեշտությամբ կարելի է հաշվել $P(t)$, $q(t)$, $M[t]$, $D[t]$:

Թերությունը չի բնութագրում վերականգնելի համակարգերի հուսալիությունը:

Եթե համակարգը չի ծերանում, ապա $f(t)$-ն կարելի է օգտագործել նրա հուսալիությունը բնութագրելու համար նաև առաջին խափանումից հետո ընկած ժամանակահատվածում:

3.3 ԽԱՓԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻՋԻՆ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Խափանումների միջին հաճախականությունը միավոր ժամանակում խափանված նմուշների թվի և փորձարկվող նմուշների թվի հարաբերությունն է, այն պայմանով, որ խափանված նմուշները վերականգնվում են:

$$\hat{\omega}(t)=\frac{\Delta\hat{n}(t)}{N_0\Delta t}, \tag{3.11}$$

$\hat{\omega}(t)\approx\omega(t)$ երբ $N_0\to\infty$:

Կարելի է ցույց տալ, որ $\omega(t)$-ն և $f(t)$-ն իրար հետ կապված են հետևյալ առնչությամբ՝

$$\omega(t)=f(t)+\int_0^t\omega(\tau)f(t-\tau)d\tau: \tag{3.12}$$

Հաշվի առնելով, որ $\int_0^t\omega(\tau)f(t-\tau)d\tau=\omega(P)f(p)$, (3.12)-ից կստանանք՝

$$\omega(P)=\frac{f(P)}{1-f(P)}, \tag{3.13}$$

որտեղ՝ P -ն Լապլասի օպերատորն է:

$\omega(t)$-ն ունի հետևյալ կարևոր հատկությունները՝

1. $\omega(t)\geq f(t)$;
2. Անկախ $f(t)$ -ի տեսքից $\lim\limits_{t\to\infty}\omega(t)\to const$;

$\omega(t)$-ն կարևոր բնութագիր է վերականգնելի համակարգերի հուսալիության համար:

Որպես թերություն՝ անհրաժեշտ է նշել հայտնի $\omega(t)$-ի միջոցով մնացած բնութագրերի որոշման դժվարությունը:

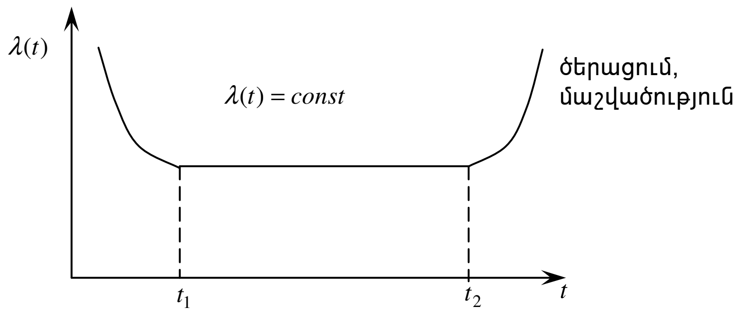
3.4 ԽԱՓԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՈՒԺԳՆՈՒԹՅՈՒՆ

<u>Վիճակագրական սահմանումը՝</u>

Խափանումների ուժգնություն անվանում են միավոր ժամանակամիջոցում խափանված նմուշների թվի և այդ ժամանակահատվածում անխափան աշխատող նմուշների թվի հարաբերությունն է.

$$\hat{\lambda}(t)=\frac{\Delta\hat{n}(t)}{\hat{N}(t)\Delta t}: \tag{3.14}$$

Այժմ տանք խափանումների ուժգնության` $\lambda(t)$–ի <u>հավանականային սահմանումը</u> և գտնենք մյուս բնութագրերի կապը նրա հետ:



Նկ. 4 *Խափանումների ուժգնության կախումը ժամանակից*

Քանի որ $n(t)$–ն մինչև t պահը խափանված նմուշների թիվն է, ապա համաձայն (3.1)-ի $\hat{N}(t) = N_0 - \hat{n}(t) = N_0\hat{P}(t)$: (3.7)-ից ունենք`

$$\Delta\hat{n}(t) = N_0\left[\hat{q}(t+\Delta t) - \hat{q}(t)\right]:$$

Տեղադրենք $\Delta n(t)$–ի և $N(t)$-ի արտահայտությունները (3.14)-ի մեջ ու անցնենք սահմանի`

$$\hat{\lambda}(t) = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\hat{q}(t+\Delta t) - \hat{q}(t)}{\hat{P}(t)\cdot\Delta t} = \frac{\hat{q}'(t)}{\hat{P}(t)} = -\frac{\hat{P}'(t)}{\hat{P}(t)}: \qquad (3.15)$$

Եթե $N_0 \to \infty$, ապա կարող ենք գրել `

$$\lambda(t) = \hat{\lambda}(t) = \frac{q'(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)}: \qquad (3.16)$$

Գտնենք $\lambda(t)$–ի և $P(t)$-ի կապը: Այդ նպատակով ինտեգրելով (3.15) արտահայտությունը`

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)},$$

կստանանք` $\ln P(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt$, որտեղից`

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}: \qquad (3.17)$$

Համաձայն (3.16)-ի, $f(t)$-ն $\lambda(t)$-ի հետ կապված է հետևյալ առնչությամբ՝

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{P(t)},$$

որտեղից՝ $f(t)=\lambda(t)\cdot P(t)$:

Հաշվի առնելով (3.17)-ը վերջնականապես կստանանք՝

$$f(t)=\lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} : \qquad (3.18)$$

$\lambda(t)$-ն հարմար բնութագիր է ոչ վերականգնելի համակարգերի համար, քանի որ հայտնի $\lambda(t)$-երի միջոցով հեշտությամբ կարելի է գտնել մյուս բնութագրերը:

$\lambda(t)$-ի <u>հավանականային իմաստն</u> այն է, որ նա t պահին օբյեկտի խափանման հավանականության խտությունն է, այն պայմանով, որ մինչև այդ պահը օբյեկտը չի խափանվել, այսինքն՝ $P(t)=1\Rightarrow\lambda(t)=f(t)$:

3.5 ԱՆԽԱՓԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՄԻՋԻՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

<u>Վիճակագրական սահմանում՝</u>

- Անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը՝ փորձարկման ընթացքում խափանված նմուշների անխափան աշխատանքի ժամանակների միջին թվաբանականն է.

$$\hat{T}=\frac{\sum_{i=1}^{N_0}t_i}{N_0}, \qquad (3.19)$$

որտեղ՝ t_i –ն i –րդ նմուշի անխափան աշխատանքի ժամանակն է:

<u>Հավանականային սահմանում՝</u> T-ն, օբյեկտի անխափան աշխատանքի ժամանակի մաթեմատիկական սպասումն է, որը որոշվում է որպես.

$$M[\tilde{t}]=\int_{-\infty}^{\infty}t\cdot f(t)dt,$$

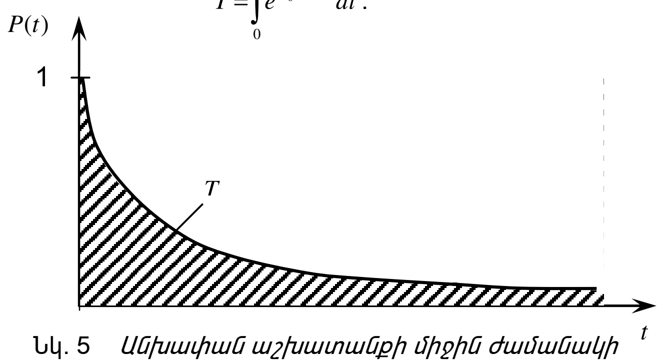
որտեղ՝ $f(t)$-ն $\tilde{t}$-ի հավանականությունների բաշխման խտությունն է:

Հետևաբար, կիրառելով մասերով ինտեգրում $\left(\int udv=uv-\int vdu;\ u=P(t),\ v=t\right)$, կստանանք.

$$T = M\left[\tilde{t}\right] = \int_0^\infty t f(t)dt = -\int_0^\infty tP'(t)dt = -\overset{v}{t}\,\overset{u}{P}(t)\Big|_0^\infty + \int_0^\infty P(t)dt = \int_0^\infty P(t)dt : \qquad (3.20)$$

Հաշվի առնելով (3.17) առնչությունը՝ կստանանք

$$T = \int_0^\infty e^{-\int_0^\infty \lambda(t)dt} dt : \qquad (3.21)$$



Նկ. 5 *Անխափան աշխատանքի միջին ժամանակի գրաֆիկական մեկնաբանումը*

Կապ հաստատենք T-ի և $\omega(t)$-ի միջև: Օգտվենք օպերացիոն հաշվի հետևյալ արտահայտությունից՝

$$\lim_{t\to\infty}\omega(t) = \lim_{P\to 0} P(\omega(p)), \qquad (3.22)$$

որտեղ՝ P-ն Լապլասի օպերատորն է: Կիրառենք (3.22)-ը (3.13)-ի նկատմամբ՝

$$\lim_{t\to\infty}\omega(t) = \lim_{P\to 0} P(\omega(p)) = \lim_{P\to 0}\frac{Pf(p)}{1-f(p)} = \lim_{P\to 0}\frac{P\int_0^\infty f(t)e^{-Pt}dt}{1-\int_0^\infty f(t)e^{-Pt}dt} :$$

Դժվար չէ համոզվել, որ ստացված արտահայտության սահմանը $0/0$ տիպի անորոշություն է, քանի որ $\int_0^\infty f(t)dt = q(\infty) = 1$ և $p = 0$:

Այդ պատճառով նրա նկատմամբ կիրառենք Լոպիտալի կանոնը՝

$$\lim_{P\to 0} P\omega(p) = \lim_{P\to 0}\frac{\int_0^\infty f(t)e^{-Pt}dt - P\int_0^\infty t\cdot f(t)e^{-Pt}dt}{\int_0^\infty t\cdot f(t)e^{-Pt}dt} = \frac{\int_0^\infty f(t)dt}{\int_0^\infty t\cdot f(t)dt} = \frac{1}{T} \quad (3.23)$$

Հետևաբար՝ $$\lim_{t\to\infty}\omega(t) = \frac{1}{T} \quad (3.24)$$

Այսինքն, անկախ $f(t)$–ի տեսքից, երբ $t\to\infty$, $\omega(t)$- ն դառնում է հաստատուն:

T-ի՝ որպես հուսալիության բնութագրի առավելությունն այն է, որ փորձնական տվյալների հիման վրա այն դժվար չէ որոշել, սակայն որպես անխափան աշխատանքի ժամանակի մաթեմատիկական սպասում այն լրիվ չի կարող բնութագրել օբյեկտի հուսալիությունը:

T-ն չի կարող բնութագրել այն օբյեկտների հուսալիությունը, որոնց աշխատանքի տևողությունը փոքր է T-ից:

T-ն բնութագրում է օբյեկտի հուսալիությունը մինչև նրա առաջին խափանումը, հետևապես այն հարմար բնութագիր է ոչ վերականգնելի օբյեկտների համար:

3.6 ՀԱՐԵՎԱՆ ԽԱՓԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ ԱՆԽԱՓԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՄԻՋԻՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Սա նույնպիսի բնութագիր է վերականգնելի օբյեկտի համար, ինչպիսին T-ն է չվերականգնելի օբյեկտների համար:

<u>Հավանականային սահմանում:</u> Հարևան խափանումների միջև անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը հարևան խափանումների միջև ընկած ժամանակի մաթեմատիկական սպասումն է՝ չհաշված վերականգնման ժամանակը.

$$t_{\text{միջ}} = \int_0^\infty \varphi(t)\cdot t dt\ , \quad (3.25)$$

որտեղ $\varphi(t)$-ն հարևան խափանումների միջև ժամանակի բաշխման խտության ֆունկցիան է:

<u>Վիճակագրական սահմանումը:</u> $t_{\text{միջ}}$-ը հարևան խափանումների միջև ընկած ժամանակահատվածների միջին թվաբանականն է՝ չհաշված վերականգման ժամանակը.

$$\hat{t}_{\text{միջ.}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{ա}_i}}{n}, \quad (3.26)$$

որտեղ` $t_{\text{ա}_i}$-ն $(i+1)$-րդ և i-րդ խափանումների միջև անխափան աշխատանքի տևողությունն է, n-ը խափանումների թիվն է որոշակի t ժամանակամիջոցում:

(3.23) բանաձևը գործածվում է այն դեպքերում, երբ $t_{\text{միջ}}$-ը որոշվում է մեկ նմուշի փորձարկումով, այսինքն` ժամանակից կախված չէ: $N_0$ նմուշների դեպքում կարելի է օգտվել հետևյալ բանաձևից`

$$\hat{t}_{\text{միջ.}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{միջ}\, i}}{N_0}, \quad (3.27)$$

եթե $N_0 \to \infty$, ապա $t_{\text{միջ}} \approx \hat{t}_{\text{միջ}}$:

Ընդհանուր դեպքում $t_{\text{միջ}}$-ը կախված է ժամանակից: Կարելի է ցույց տալ, որ այն կապված է խափանումների միջին հաճախականության հետ հետևյալ հարաբերակցությամբ.

$$t_{\text{միջ}}(t) = \frac{1}{\omega(t)}: \quad (3.28)$$

Հաշվի առնելով (3.24) առնչությունը` կարող ենք գրել

$$\lim_{t\to\infty} t_{\text{միջ}}(t) = T: \quad (3.29)$$

3.7 ՊԱՏՐԱՍՏԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑ

Վիճակագրական սահմանում. պատրաստականության գործակից անվանում են անխափան աշխատանքի գումարային ժամանակի հարաբերությունը անխափան աշխատանքի և վերականգնման ժամանակների գումարին, միևնույն օրացուցային ժամկետի:

Հաստատված (ստացիոնար) ռեժիմում փորձարկման մեջ գտնվող մեկ նմուշի արդյունքներով պատրաստականության գործակիցը` $\text{K}_{\text{պ}}$-ն որոշվում է հետևյալ բանաձևով`

$$\hat{K}_{\text{պ}} = \frac{t_{\text{ա}}}{t_{\text{ա}} + t_{\text{վ}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{ա}_i}}{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{ա}_i} + \sum_{i=1}^{n} t_{\text{վ}_i}}: \quad (3.30)$$

Համարիչն ու հայտարարը բաժանելով խափանումների (վերականգնումների) թվին, կստանանք

$$\hat{K}_{\text{պ}} = \frac{\hat{t}_{\text{միջ}}}{\hat{t}_{\text{միջ}} + \hat{\theta}_{\text{վ}}}, \qquad (3.31)$$

որտեղ՝ $\hat{\theta}_{\text{վ}}$-ն վերականգնման միջին տևողությունն է:

Հաշվի առնելով , որ $\hat{t}_{\text{միջ}}(t) = \frac{1}{\hat{\omega}(t)}$, կունենանք

$$\hat{K}_{\text{պ}} = \frac{1}{1 + \hat{\omega}(t) \cdot \hat{\theta}_{\text{վ}}} : \qquad (3.32)$$

Ընդհանուր դեպքում պատրաստականության գործակիցը կախված է ժամանակից:

Գտնենք $\lim K_{\text{պ}}(t)$, երբ $t \to \infty$

$$K_{\text{պ}} = \lim_{t\to\infty} K_{\text{պ}}(t) = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{1 + \omega(t) \cdot \hat{\theta}_{\text{վ}}} = \frac{1}{1 + \frac{\theta_{\text{վ}}}{T}},$$

որտեղից՝ $K_{\text{պ}} = \frac{T}{T + \theta_{\text{վ}}}$: (3.33)

<u>Հավանականային սահմանում:</u> (3.33)–ից հետևում է, որ պատրաստականության գործակիցը այն բանի հավանականությունն է, որ ժամանակի կամայական պահին օբյեկտը կգտնվի աշխատունակ վիճակում: Ասվածը ճիշտ է բավականաչափ մեծ t-երի դեպքում, շահագործման նորմալ փուլում (ստացիոնար կամ հաստատված), երբ $\hat{K}_{\text{պ}}$-ն ձեռք է բերում վիճակագրական կայունություն: Քանի որ $K_{\text{պ}}$-ն կախված $\theta_{\text{վ}}$-ից և $\omega(t)$-ից, ապա այն լիովին բնութագրում է օբյեկտի հուսալիությունը և օբյեկտի անխափան աշխատանքի ու վերականգնումների ժամանակի առնչությունը: Սակայն, պետք է նշել, որ միայն $K_{\text{պ}}$-ով դժվար է միարժեքորեն գնահատել օբյեկտի հուսալիությունը: $K_{\text{պ}}$-ն կարելի է օգտագործել միայն վերականգնելի օբյեկտների հուսալիությունը գնահատելու համար:

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Այսպիսով, չվերականգնվող օբյեկտների հուսալիությունը` կարելի է բնութագրել հետևյալ քանակական ցուցանիշներով` $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, T: Այս բնութագրերը կարող են օգտագործվել վերականգնվող օբյեկտների հուսալիության գնահատման համար մինչև առաջին խափանման պահը, ինչպես նաև այն դեպքում, երբ օբյեկտը չի ծերանում և չի մաշվում: Վերականգնելի օբյեկտների հուսալիությունը գնահատվում է $\omega(t)$-ով, $t_{\text{միջ}}(t)$-ով, $K_{\text{պ}}$-ով: Քանի որ համակարգի տարրերը մեծամասամբ չվերականգնվող օբյեկտներ են, ապա դրանց հուսալիությունը հարմար է գնահատել $\lambda(t)$ բնութագրով: Այս ընտրությունը բացատրվում և հիմնավորվում է հետևյալ հանգամանքներով.

1. Բազմաթիվ բարդ համակարգերի տարրերի խափանումների ուժգնությունը` $\lambda(t)$-ն նորմալ աշխատանքի ժամանակահատվածում հաստատուն է: Դա թույլ է տալիս, ի տարբերություն $f(t)$-ի և $P(t)$-ի, այդպիսի տարրերի հուսալիությունը գնահատել որոշակի թվով, և ոչ թե ֆունկցիայով:
2. Ունենալով տարրերի $\lambda(t)$ բնութագրերը` հեշտորեն կարելի է հաշվել ոչ միայն տարրերի, այլև ողջ համակարգի հուսալիության բոլոր բնութագրերը:
3. $\lambda(t)$-ն հեշտ է ստանալ փորձնական եղանակներով` կախված տարրերի տիպից, աշխատանքի ռեժիմներից, շահագործման պայմաններից, շրջապատող միջավայրի պարամետրերից և այլ գործոններից:

Տարբեր տարրերի համար կան աղյուսակներ, որտեղ բերված են $\lambda(t)$-ի կախումը նշված գործոններից:

4. ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՂ ԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ

Համակարգերի հուսալիության հաշվարկի մեթոդների ընտրությունը, ինչպես նաև դրանց վերանորոգման և պրոֆիլակտիկ սպասարկման գիտական կազմակերպման հարցերի լուծումը էականորեն կախված են անխափան աշխատանքի հավանականությունների բաշխման օրենքներից:

Հավանականությունների տեսության մեջ հայտնի են 50-ից ավելի բաշխման օրենքներ, սակայն հուսալիության տեսության մեջ կիրառություն են գտել դրանցից մոտ 10-ը: Մենք կդիտարկենք առավել լայն կիրառություն գտած հետևյալ օրենքները՝

1. Ցուցչային օրենք,
2. Վեյբուլի օրենք,
3. Հատած նորմալ օրենք,
4. γ - բաշխման օրենք,
5. Պուասոնի օրենք,

և որոշ օրենքների դեպքում կորոշենք հուսալիության քանակական ցուցանիշները:

4.1 ՑՈՒՑՉԱՅԻՆ ՕՐԵՆՔ

Ցուցչային օրենքի դեպքում t-ի բաշխման խտությունը (խափանումների հաճախականությունը) որոշվում է ցուցչային $f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t}$ ֆունկցիայով: Ցույց տանք, որ եթե անխափան աշխատանքի ժամանակը ենթարկվում է ցուցչային բաշխման օրենքին, ապա խափանումների ուժգնությունը հաստատուն մեծություն է՝ $\lambda(t)=const=\lambda$:

Հուսալիության քանակական ցուցանիշները որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով՝

$$P(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}=e^{-\lambda t}, \qquad (4.1)$$

$$q(t)=1-e^{-\lambda t}, \qquad (4.2)$$

$$f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t}\Rightarrow P(t)=1-F(t)=1-\int_0^t \lambda\cdot e^{-\lambda t}dt=1+e^{-\lambda t}\Big|_0^t=e^{-\lambda t}, \qquad (4.3)$$

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{P(t)}=\frac{\lambda\cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}}=\lambda, \qquad (4.4)$$

$$\mathrm{T}=\int_0^\infty e^{-\lambda t}dt=-\frac{1}{\lambda}e^{-\lambda t}\Big|_0^\infty=\frac{1}{\lambda}: \qquad (4.5)$$

$\omega(t)$-ն որոշենք՝ օգտվելով $\omega(P)=\dfrac{f(P)}{1-f(P)}$ առնչությունից.

$$\omega(\mathrm{P})=\frac{\int_0^{\infty} f(P)\cdot e^{-Pt}dt}{1-\int_0^{\infty} f(t)\cdot e^{-Pt}dt}=\frac{\int_0^{\infty} \lambda\cdot e^{-\lambda t}\cdot e^{-Pt}dt}{1-\int_0^{\infty} \lambda\cdot e^{-\lambda t}e^{-Pt}dt}=\frac{\lambda/(\lambda+P)}{1-\lambda/\lambda+P}=\frac{\lambda}{P}$$

$$\Rightarrow \omega(t)=\lambda=const=\frac{1}{T}: \quad (4.6)$$

Հարևան խափանումների միջև աշխատանքի միջին ժամանակը համընկնում է T-ի հետ՝

$$t_{\text{միջ.}}=\frac{1}{\omega(t)}=T \quad (4.7)$$

λ-ի հաստատուն լինելը բացատրվում է նրանով, որ օբյեկտում ծերացման և մաշվածության երևույթները լիովին բացակայում են:

$\omega(t)$-ի հաստատուն լինելը նշանակում է, որ Δt միջակայքում խափանումների թիվը միշտ հաստատուն է և կախված չէ ժամանակի առանցքի վրա նրա գտնվելու տեղից:

Նշված հանգամանքի շնորհիվ $(\lambda=\omega=const)$ անխափան աշխատանքի ժամանակի ցուցչային բաշխվածության դեպքում հուսալիության բերված ցուցանիշները $(P(t),\lambda(t),f(t),T)$ կիրառելի են նաև վերականգնելի օբյեկտների դեպքում:

Կարելի է ցույց տալ, որ ցուցչային բաշխման դեպքում անխափան աշխատանքի ժամանակի միջին քառակուսային շեղումը համընկնում է անխափան աշխատանքի միջին ժամանակի հետ՝ $\sigma[\tilde{t}]=T$:

Այս փաստը գործնականում օգտագործվում է անխափան աշխատանքի ժամանակի բաշխման օրենքի ցուցչային լինելու վերաբերյալ ենթադրության ստուգման համար: Եթե նշված ժամանակը բաշխված է ցուցչային օրենքով, ապա

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n}=\sqrt{\frac{\sum\left(t_i-\hat{\mathrm{T}}\right)^2}{n-1}}, \quad (4.8)$$

որտեղ՝ $\hat{\mathrm{T}}=\sum_{i=1}^{n} t_i/n$:

Ցուցչային օրենքի դեպքում պատրաստականության գործակիցը որոշվում է որպես՝

$$K_{\text{պ}}=\frac{T}{T+\theta_{\text{վ}}}=\frac{1}{1+\lambda\cdot\theta_{\text{վ}}}: \quad (4.9)$$

Պարզենք $K_{պ}$-ի հավանականային իմաստը: Այդ նպատակով որոշենք ժամանակի կամայական t պահին օբյեկտի՝ աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը՝ ենթադրելով, որ հարևան խափանումների միջև աշխատանքի տևողությունը և վերականգնման ժամանակը բաշխված են ցուցչային օրենքներով:

$P^*(t)$-ով նշանակենք t պահին օբյեկտի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը: Որոշենք $t+\Delta t$ պահին օբյեկտի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը՝ $P^*(t+\Delta t)$, որը հետևյալ երկու ենթադրությունների հավանականությունների գումարն է՝ $P^*(t+\Delta t)=P(\mathrm{H}_1)+P(\mathrm{H}_2)$

H_1 <u>ենթադրություն.</u> t պահին օբյեկտը գտնվում էր աշխատունակ վիճակում և Δt ժամանակահատվածում չի խափանվել: Այդ ենթադրության հավանականությունը փոքր $\lambda\Delta t$-ի դեպքում որոշվում է որպես՝

$$P(\mathrm{H}_1)=P^*(t)\cdot e^{-\lambda\Delta t}\approx P^*(t)(1-\lambda\Delta t): \tag{4.10}$$

H_2 <u>ենթադրություն</u>. t պահին օբյեկտը գտնվում էր խափանված (վերականգնման) վիճակում և Δt ժամանակահատվածում հասցրել է վերականգնվել: Այս ենթադրության հավանականությունը փոքր $\mu\Delta t$-ի դեպքում որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$P(\mathrm{H}_2)=\left[1-P^*(t)\right]\cdot\left[1-e^{-\mu\Delta t}\right]\approx\left[1-P^*(t)\right]\cdot\mu\Delta t: \tag{4.11}$$

Այսպիսով՝

$$P^*(t+\Delta t)=P^*(t)(1-\lambda\Delta t)+\mu\Delta t\left[1-P^*(t)\right]: \tag{4.12}$$

(4.12)-ի համապատասխան պարզեցումից հետո կունենանք.

$$\frac{P^*(t+\Delta t)-P^*(t)}{\Delta t}=\mu-(\lambda+\mu)P^*(t): \tag{4.13}$$

Եթե անցնենք սահմանի, երբ $\Delta t\to 0$, կստանանք՝

$$P^{`*}(t)=\mu-[\lambda+\mu]P^*(t) \tag{4.14}$$

դիֆերենցիալ հավասարումը, որի լուծումը $P^*(0)=1$ սկզբնական պայմանի դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝

$$P^*(t)=\frac{\mu}{\lambda+\mu}+\frac{\lambda}{\lambda+\mu}\cdot e^{-(\lambda+\mu)t}=\mathrm{K}_{պ}+\left(1-\mathrm{K}_{պ}\right)\cdot e^{-\frac{t}{\mathrm{K}_{պ}\cdot\theta}}: \tag{4.15}$$

Անցնենք (4.15)-ի սահմանի, երբ $t\to\infty$.

$$\lim_{t\to\infty}P^*(t)=\mathrm{K}_{պ}: \tag{4.16}$$

Այստեղից հետևում է, որ $K_պ$-ն իրոք ժամանակի կամայական պահին օբյեկտի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունն է, երբ $t \to \infty$, այսինքն՝ շահագործման հաստատված կամ ստացիոնար ռեժիմում: Շահագործման սկզբում $P^*(t) \neq K_պ$:

Բաշխման ցուցչային օրենքը դիտվում է ռադիոտարրերի և այնպիսի բարդ համակարգերի դեպքում, որոնց կազմում ընդգրկված են տարբեր «տարիք» ունեցող մեծ թվով տարրեր:

Այս օրենքին են հաճախ ենթարկվում նաև օբյեկտների վերականգնման ժամանակները:

4.2 ՎԵՅԲՈՒԼԻ ՕՐԵՆՔ

Եթե t-ն ենթարկվում է Վեյբուլի բաշխմանը, ապա խափանումների հաճախությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$f(t) = \lambda_0 t^{k-1} k e^{-\lambda_0 t^k}, \tag{4.17}$$

որտեղ՝ λ_0-ն բաշխման մասշտաբային պարամետրն է, իսկ k-ն կորի ձևի գործակից է, որը որոշում է նրա ոչ սիմետրիկությունը և շեղումը:

Այս բաշխման օրենքի դեպքում հուսալիության ցուցանիշները որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով.

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - \int_0^t \lambda_0 t^{k-1} k e^{-\lambda_0 t^k} dt = 1 + e^{-\lambda_0 t}\Big|_0^k = e^{-\lambda_0 t^k}, \tag{4.18}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda_0 t^{k-1} k e^{-\lambda_0 t^k}}{e^{-\lambda_0 t^k}} = \lambda_0 t^{k-1} k, \tag{4.19}$$

$$T = \int_0^\infty e^{-\lambda_0 t^k} dt = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)}{(\lambda_0)^{1/k}}, \tag{4.20}$$

որտեղ՝ $$\Gamma(Z) = \int_0^\infty e^{-x} x^{Z-1} dx :$$

Վեյբուլի օրենքը համընդհանուր օրենք է և այնպիսի օրենքների համախումբ է, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանում է k-ի որոշակի արժեքին: Օրինակ. $k=1$-ի դեպքում բաշխումը վերածվում է ցուցչայինի, իսկ $k=2$ դեպքում՝ Ռելեյի բաշխման:

Վեյբուլի բաշխումը կարելի է օգտագործել օբյեկտների հուսալիության նկարագրման համար նրանց շահագործման սկզբնական փուլում $(k<1)$: Այն հիմնականում օգտագործվում է մեխանիկական $(k>2)$ և որոշ էլեկտրոնավակուումային սարքերի $(k=1,\ 1-2)$ հուսալիության նկարագրման համար:

4.3 ՀԱՏԱԾ-ՆՈՐՄԱԼ ԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԵՆՔ

Քանի որ անխափան աշխատանքի տևողությունը ոչ բացասական մեծություն է, ապա նրա՝ որպես պատահական մեծություն նկարագրման համար սովորական նորմալ բաշխման օրենքի փոխարեն հուսալիության տեսության մեջ օգտագործվում է հատած նորմալ օրենքը:

Այս օրենքի դեպքում խափանումների հաճախականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$f(t)=\frac{Ce^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \tag{4.21}$$

որտեղ՝ T_1 և σ-ն նորմալ բաշխման պարամետրերն են: C-ն հաստատուն է, որը որոշվում է հետևյալ պայմանից.

$$\int_0^\infty f(t)dt=1 \Rightarrow \int_0^\infty \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}dt=1, \tag{4.22}$$

որտեղ՝

$$C=\frac{\sigma\sqrt{2\pi}}{\int_0^\infty e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}dt}=\frac{2}{1+\Phi\left(\frac{T_1}{\sigma\sqrt{2}}\right)}, \tag{4.23}$$

(4.23)-ում Φ-ը Լապլասի ֆունկցիան է՝

$$\Phi(u)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^u e^{-u^2}du: \tag{4.24}$$

Տեղադրելով C-ի արժեքը (4.21)-ում, որոշվում է $f(t)$-ն, որի օգնությամբ էլ՝ $P(t)$-ն.

$$P(t)=1-\int_0^{\infty} f(t)dt=1-\int_0^{\infty}\frac{2e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi\left[1+\Phi\left(\frac{T_1}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right]}}dt=\frac{1-\Phi\left(\frac{t-T_1}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{1+\Phi\left(\frac{T_1}{\sigma\sqrt{2}}\right)}: \quad (4.25)$$

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{P(t)}=\frac{2e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma\left[1-\Phi\left(\frac{t-T_1}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right]}: \quad (4.26)$$

Կարելի է ցույց տալ, որ անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը որոշվում է որպես՝

$$T=T_1+\frac{C\sigma}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{T_1^2}{2\sigma^2}}: \quad (4.27)$$

4.4 γ ԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԵՆՔ

γ բաշխման դեպքում խափանումների հաճախականությունը (բաշխման խտությունը) ունի հետևյալ տեսքը՝

$$f(t)=\lambda_0\frac{(\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)!}e^{-\lambda_0 t}, \quad (4.28)$$

որտեղ՝ $k=1,2,3,...$ բնութագրում է կորի անհամաչափությունը և շեղումը, λ_0-ն՝ բաշխման պարամետրն է:

Երբ $k\in N$, հուսալիության ցուցանիշները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$P(t)=1-\int_0^{t} f(t)dt=1-\frac{\lambda_0^k}{(k-1)!}\int_0^{t} t^{k-1}e^{-\lambda_0 t}dt=e^{-\lambda_0 t}\sum_{i=0}^{k-1}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \quad (4.29)$$

$$\lambda(t)=\frac{\lambda_0^k t^{k-1}}{(k-1)!\sum_{i=0}^{k-1}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}}, \quad (4.30)$$

$$T=\int_0^{\infty} P(t)dt=\frac{k}{\lambda_0}: \quad (4.31)$$

Եթե ունենք փոխարինումով պահուստավորում, և առանձին օբյեկտների անխափան աշխատանքի ժամանակները ենթարկվում են ցուցչային բաշխման, ապա ամբողջ պահուստավորված միացության անխափան աշխատանքի ժամանակը ենթարկվում է γ բաշխման՝ որի $k=m+1$ պարամետրը համընկնում է միացության մեջ գտնվող օբյեկտների քանակին:

4.5 ՊՈՒԱՍՈՆԻ ՕՐԵՆՔ

Այս օրենքի դեպքում բաշխման խտությունը, որը $[0;t]$ ժամանակահատվածում k խափանման հավանականությունն է, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_k(t)=\frac{(\lambda t)^k}{k!}e^{-\lambda t}: \qquad (4.32)$$

$[0;t]$ ժամանակահատվածում խափանումների միջին թիվը հավասար է λt -ի, իսկ միջին քառակուսային շեղումը՝ $\sqrt{\lambda t}$ -ի:

Եթե հարևան խափանումների միջև անխափան աշխատանքի ժամանակը ենթարկվում է λ պարամետրով ցուցչային բաշխման, ապա $[0;t]$ ժամանակահատվածում k խափանումների թիվը, որն ընդհատ պատահական մեծություն է, ենթարկվում է Պուասոնի բաշխման:

5.ԱՀ-ի ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ ԵՎ ՊԱՀՈՒՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

5.1 ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ

Ինչպես հայտնի է, ինֆորմացիայի մշակման և կառավարման ավտոմատացված համակարգը (ԱՀ) տեխնիկական միջոցների, ծրագրային ապահովման և սպասարկող անձնակազմի համախումբ: Դրա հետ կապված ԱԿՀ-ի հուսալիության վրա ազդող հիմնական գործոնները բաժանվում են հետևյալ երեք խմբերի՝ տեխնիկական, ծրագրային և շահագործման:

<u>Տեխնիկական գործոններ:</u> Սրանք այն գործոններն են, որոնք ազդում են տեխնիկական միջոցների վիճակի վրա: Տեխնիկական գործոնների թվին դասվում են՝

1). Օբյեկտի կառուցվածքը և աշխատանքային ռեժիմները:
2). Պահուստավորումը,
3). Վերահսկումը և վերանորոգումը,
4).Լրակազմող, այսինքն՝ համակարգը կազմող տարրերի բնութագրերը,
5). Անբարենպաստ ազդեցություններից պաշտպանվածությունը,
6). Տեխնոլոգիական գործընթացի որակը,
7).Շահագործման տեսակետից սարքավորման հարմարվածության աստիճանը:

Համառոտակի դիտարկենք նշված գործոնների էությունը և առանձնահատկությունները:

Օբյեկտի կառուցվածքը այն գործոններից է, որոնք էականորեն ազդում են նրա հուսալիության վրա: Իրոք, օբյեկտի կառուցվածքի ճիշտ ընտրության միջոցով կարելի է հասնել այն բանին, որ համակարգի առանձին մասերի խափանումները չհանգեցնեն ողջ համակարգի խափանմանը: Նշենք, որ շնորհիվ խափանումային իրավիճակներում կառուցվածքը վերափոխելու հատկության, համակարգը ձեռք է բերում տարբեր պայմաններին հարմարվելու ունակություն և դրանով իսկ ապահովում բարձր հուսալիություն և կենսունակություն:

Պահուստավորում: Պահուստավորումը ԱՀ-երի հիմնական տարրերի խափանումների դեպքում դրանք պահուստային միջոցներով փոխարինման ուղիով ԱՀ-ի հուսալիության բարձրացման ամենաարդյունավետ և առավել տարածված միջոցն է:

Վերահսկում: ԱՀ-ի կազմում եղած միջոցների տեխնիկական վիճակի վերահսկումը նրա աշխատունակության ապահովման հույժ անհրաժեշտ միջոցառում է: Միայն հավաստի և լրիվ վերահսկման դեպքում է հնարավոր հուսալիության կառավարումը, այսինքն՝

պահուստային տարրերի միացումը, կառուցվածքի վերափոխումը, համակարգի գործունեության գործընթացի կառավարումը:

Կոմպլեկտավորող տարրերի ռացիոնալ ընտրությունը և դրանց աշխատանքի օպտիմալ ռեժիմների ապահովումը նույնպես դասվում են հուսալիության վրա ազդող կարևորագույն գործոնների շարքը:

Եթե կոպլեկտավորող տարրերի քանակի աճը պայմանավորված է օբյեկտի կողմից կատարվող գործառույթների բարդությամբ, ապա դա հանգեցնում է նրա հուսալիության նվազմանը: Իսկ եթե նշված աճը ապարատուրային վերահսկման և պահուստավորման հետևանք է, ապա այն բարձրացնում է հուսալիությունը:

Անբարենպաստ ազդեցություններից տեխնիկական միջոցների պաշտպանումը ևս համարվում է ԱՅ-ի հուսալիության ապահովման ոչ պակաս կարևոր գործոն: Պաշտպանության հնարավոր միջոցներն են՝ հերմետիկացումը, էկրանացումը (մագնիսական և էլեկտրաստատիկ դաշտերից) աղմկակայունությունը, պաշտպանությունը փոշուց, խոնավությունից, սեյսմիկ ազդեցություններից և այլն:

Տեխնոլոգիական գործընթացի որակը կոմպլեկտավորող տարրերի հուսալիության նախահիմքն է: Տեխնոլոգիական հրահանգների և կարգապահության պահպանումը, առանձին գործողությունների ավտոմատացումը հնարավորություն են տալիս ստեղծել բարձր հուսալիությամբ օժտված տարրեր: Տեխնոլոգիական գործընթացների խափանումները պատճառ են հանդիսանում թաքնված թերություններով արտադրանքի թողարկման, որոնք շահագործման ընթացքում առաջ են բերում համակարգի ակնթարթային խափանումներ:

ԱՅ-ի հուսալիության վրա ազդող ոչ պակաս կարևոր գործոն է նաև նրա տեխնիկական միջոցների՝ շահագործման տեսակետից հարմարվածության աստիճանը: Օրինակ՝ եթե սարքավորումը պաշտպանված չէ օպերատորի ոչ ճիշտ գործողություններից, կամ կառավարման միջոցների անհաջող տեղադրությունը հանգեցնում է օպերատորի սխալ գործողություններին, ապա դա վերջին հաշվով նվազեցնում է ԱՅ-ի գործունեության հուսալիությունը և արդյունավետությունը: Մեծ նշանակություն ունի նաև սարքերի հարմարվածության աստիճանը՝ խափանված տարրերը, բլոկները նորով փոխարինելու տեսակետից:

5.2 ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐ

ԱՅ-երը և նրա ենթահամակարգերը ծրագրային-կառավարվող օբյեկտներ են: Այդ պատճառով դրանց աշխատունակությունը պայմանավորված է ինչպես տեխնիկական միջոցների, այնպես էլ ծրագրային միջոցների աշխատունակությամբ:

ԱՅ-ի ծրագրային ապահովման ստեղծումը մեծ դժվարություն ներկայացնող և հսկայական միջոցներ պահանջող հիմնահարց է:

Օրինակ՝ IBM/360 ԷՅՄ-ի օպերացիոն համակարգի ստեղծման արժեքը, որը պարունակում է մոտ 5 միլիոն հրամաններ, կազմում է 200 միլիոն ԱՄՆ դոլար, իսկ Windows 95-ի մշակման վրա ծախսվել են միլիարդավոր դոլարներ: Ժամանակակից ԱՅ-երը պարունակում են հարյուրավոր ինքնուրույն ծրագրեր, որոնց ստեղծումը և ստուգումը հսկայական ժամանակ և միջոցներ են պահանջում: Կառավարման օբյեկտի գործունեության ժամանակ ծագած հնարավոր իրավիճակների համար նախատեսված ծրագրային «երթուղիները» և ճյուղավորումների քանակը կարող է հասնել տասնյակ միլիոնների: Այդ հանգամանքը գործնականորեն անհնար է դարձնում բոլոր «երթուղիների» ստուգումը: Այս առումով նշենք, որ «Ապոլոն» ծրագրով դեպի լուսին նախատեսված բոլոր անհաջող թռիչքների պատճառը կառավարման համակարգի ծրագրային ապահովման սխալներն էին (10 օր տևողության թռիչքի ընթացքում «Ապոլոն 14»-ի ծրագրային ապահովման մեջ հայտնաբերվել է 18 սխալ): Եթե ժամանակակից ԱՅ-երում սխալներից պաշտպանվելու հատուկ միջոցներ չձեռնարկվեն, ապա նրանց անխափան աշխատանքի տևողությունը կկազմի մոտ 1 վայրկյան:

Ներկայումս հուսալիության տեսության մեջ ներմուծված է և գործնականում կիրառվում է ծրագրային ապահովման հուսալիություն հասկացությունը: Տարբերում են այդ հասկացության երկու հետևյալ կողմերը՝ օբյեկտի ծրագրային հուսալիություն և ծրագրային ապահովման հուսալիություն:

Օբյեկտի ծրագրային հուսալիությունը նրան տրված այն գործառույթների կատարման հատկությունն է, որոնք պայմանավորված են ծրագրային ապահովման որակով:

Ծրագրային ապահովման հուսալիությունը ծրագրային ապահովման հատկությունն է՝ կատարելու նրան ներկայացվող պահանջները: Այն բնութագրում է ծրագրային ապահովման որակական վիճակը (ծրագրի ճշտությունը, հուսալիությունը): Ծրագրային հուսալիության դերը հույժ կարևոր է հատկապես այն դեպքերում, երբ ծրագիրն ինքը ինքնուրույն արտադրանք է: Այսպիսի դեպքերում ծրագիրը կազմվում, ստուգվում և ենթարկվում է նույնպիսի հանձնման-ընդունման փորձարկումների, ինչպես՝ սովորական օբյեկտները:

Ծրագրային խափանումները սովորական խափանումների համեմատ ունեն մի շարք առանձնահատկություններ: Նշենք առավել կարևորները՝

1. Եթե սարքավորման խափանումները կախված են ժամանակից, ապա ծրագրային խափանումները կախված են այն հանգամանքից, թե

ինչ հավանականությամբ ծրագրի իրականացման ժամանակ կհանդիպեն սխալներ:

2. Ծրագրային խափանման հայտնաբերումից և վերացումից հետո այն հետագայում չի կրկնվի:

3. Ծրագրային խափանումների կանխագուշակումը շատ դժվար է:

4. Ծրագրային բոլոր խափանումները ակնթարթային բնույթի են:

5. Ծրագրային խափանման հավանականությունը կախված չէ ժամանակից, այլ որոշվում է այն բանի պայմանական հավանականությամբ, որ ծրագիրը սխալ է պարունակում տվյալ տեղամասում և, որ օբյեկտը կգործի ծրագրի այդ տեղամասի միջոցով: Ծրագրային ապահովման հուսալիությունը բարձրացնելու նպատակով այն անհրաժեշտորեն ենթարկվում է ստուգման և զանազան փորձարկումների:

5.3 ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐ

ԱՀ-ի շահագործման ընթացքում նրա հուսալիության վրա ազդում են հետևյալ գործոնները`

1. Օբյեկտի տեխնիկական և պրոֆիլակտիկ սպասարկման կազմակերպման ու իրականացման որակը:

2. Օբյեկտի խափանումների դեպքում նրա աշխատունակության ճիշտ ժամանակին վերականգնումը և վերականգնման լրիվությունը:

3. Պահուստային տարրերով և միջոցներով ապահովումը:

4. Կլիմայական բարենպաստ պայմանների ապահովումը:

ԱՀ-ի սպասարկման ազդեցությունը նրա հուսալիության և արդյունավետության վրա որոշվում է նրանով, որ ԱՀ-ն գործում է միայն մարդու առկայության դեպքում, որը օրգանապես ընդգրկվում է նրա կառուցվածքում: Նա աշխատանքի է նախապատրաստում օբյեկտը, վերահսկում, կանխարգելում և հայտնաբերում է խափանումները, ժամանակին արձագանքում է նրա ազդանշաններին: Եվ այդ բոլորը մարդը պետք է կատարի անհրաժեշտ ճշտությամբ և արագությամբ, հակառակ դեպքում հնարավոր են օբյեկտի գործունեության խախտումներ` հաճախ աղետալի հետևանքներով:

Նշենք, որ ԱՀ-ի խափանումների մինչև 40%-ը ծագում է սպասարկող անձնակազմի պատճառով: Ըստ սպասարկող անձնակազմի որակավորման ԱՀ-ի հուսալիությունը 10 անգամ կարող է նվազել կամ աճել: Այդ պատճառով ժամանակակից ԱՀ-երի նախագծման և փորձարկման ժամանակ հաշվի է առնվում նաև մարդ-օպերատորի գործունեության հուսալիությունը:

ԱՀ-ի հուսալիության ապահովման համար անհրաժեշտ է ձեռնարկել հետևյալ միջոցառումները:

ԱՅ-երի տեխնիկական միջոցների ստեղծման փուլում՝

- Կիրառել համակարգի օպտիմալ կառուցվածք, այդ թվում օպտիմալ պահուստավորում և վերահսկում, ինչպես նաև ստուգված ծրագրային ապահովում:
- Օգտագործել միայն այնպիսի լրակազմող տարրեր, որոնք կարող են ապահովել համակարգի տրված հուսալիությունը:
- Պաշտպանել տեխնիկական միջոցները շրջապատի վնասակար ազդեցությունից և ստեղծել նրա գործունեության համար բարենպաստ պայմաններ:
- Ստեղծել տեխնիկական միջոցների սպասարկման և դրանց աշխատունակության վերականգնման օպտիմալ պայմաններ:

Ծրագրային ապահովման ստեղծման ժամանակ՝

- Ժամանակին հայտնաբերել և վերացնել ծրագրային սխալները
- Ստեղծել այնպիսի ծրագրեր, որոնք հնարավորություն ընձեռեն օբյեկտին աշխատելու նույնիսկ սխալների առկայության դեպքում:
- Մշակել առավել լրիվ և օգտագործողի համար հարմար շահագործման հրահանգներ:
- Ավտոմատացնել ԱՅ-ի սպասարկման գործընթացը, նպատակ ունենալով առավելագույնս բացառել ձեռքով կատարվող գործողությունները:
- Անընդհատ վարժանքի և ուսուցման միջոցով բարձրացնել շահագործող անձնակազմի որակավորումը:

5.4 ՊԱՀՈՒՍՏԱՎՈՐՈՒՄԸ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Պահուստավորումը հուսալիության բարձրացման եղանակ է, որն իրականացվում է համակարգում ավելցուկային տարրեր կամ տրված գործառույթների կատարումն ապահովող այլ պահուստային միջոցներ նախատեսելով:

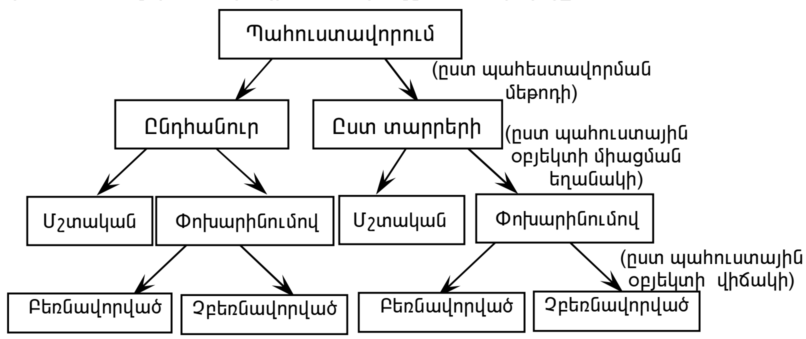
ԱՅ-ում կիրառվում են պահուստավորման զանազան տեսակներ, որոնցից առավել կարևորներն են.

- Կառուցվածքային,
- Գործառույթային,
- Ժամանակային,
- Տեղեկատվական պահուստավորումները:

1. *Կառուցվածքային պահուստավորում*: Այս դեպքում հիմնական օբյեկտին միացվում է մեկ կամ մի քանի նույնատիպ օբյեկտ, այնպես, որ հիմնական օբյեկտի խափանման դեպքում պահուստայինները սկսեն կամ շարունակեն կատարել նրա գործառույթները:

Ըստ պահուստավորման մեթոդի, պահուստային օբյեկտների միացման եղանակի և պահուստային օբյեկտների վիճակների տարբերում են հետևյալ դեպքերը՝

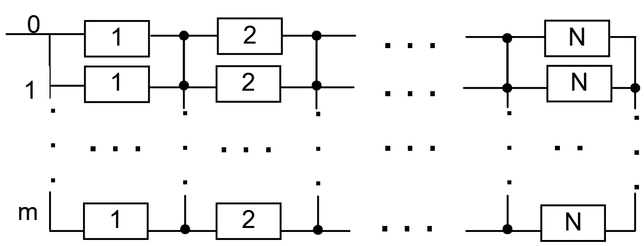
Ըստ տարրերի պահուստավորման դեպքում պահուստավորվում են համակարգի առանձին տարրերը, իսկ ընդհանուր պահուստավորման դեպքում ամբողջ համակարգը:



Նկ. 6. *Պահուստավորման մեթոդները և եղանակները*

Քննարկենք կառուցվածքային պահուստավորման եղանակները:

ա) Ըստ տարրերի մշտական պահուստավորում.



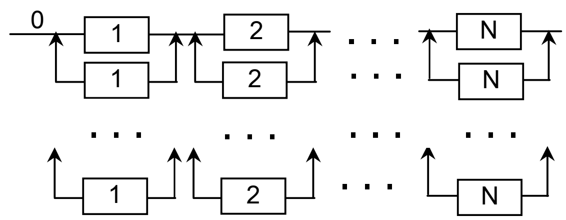
Նկ. 7 *Ըստ տարրերի մշտական պահուստավորման սխեման*

Այսպիսի պահուստավորումը հնարավոր է այն դեպքում, եթե պահուստային տարրը էականորեն չի ազդում հիմնական տարրի աշխատանքային ռեժիմների վրա:

Առավելությունն այն է նրանում, որ փոխանջատիչների կարիք չի զգացվում, տնտեսապես ավելի շահավետ է:

Թերությունը՝ պահուստային տարրի հուսալիությունը ծախսվում է հիմնականի հետ զուգընթաց:

բ) Ըստ տարրերի փոխարինումով պահուստավորում:

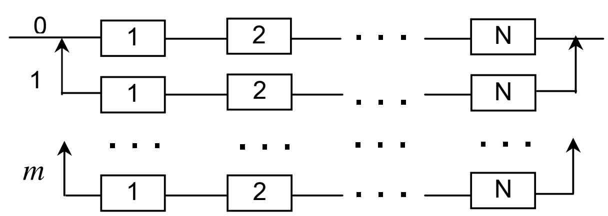


Նկ. 8 *Փոխարինումով պահուստավորման սխեման*

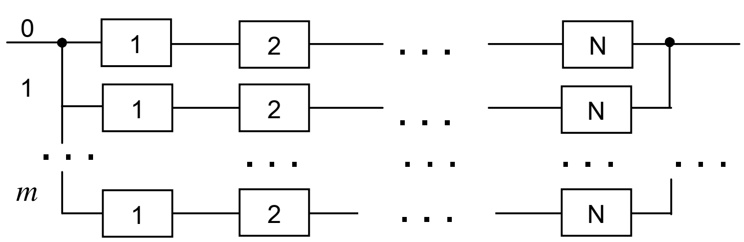
Այս դեպքում պահուստային տարրերը կարող են գտնվել տարբեր վիճակներում, որից և կախված է միացման ժամանակը: Այս եղանակի առավելությունն այն է, որ պահուստային տարրերը պահպանում են իրենց հուսալիությունը կամ էլ կարող են օգտագործվել այլ աշխատանք կատարելու համար:

Թերությունը՝ փոխանջատիչների առկայությունն է և միացման համեմատաբար մեծ տևողությունը:

գ) Ընդհանուր մշտական կամ փոխարինումով պահուստավորում.



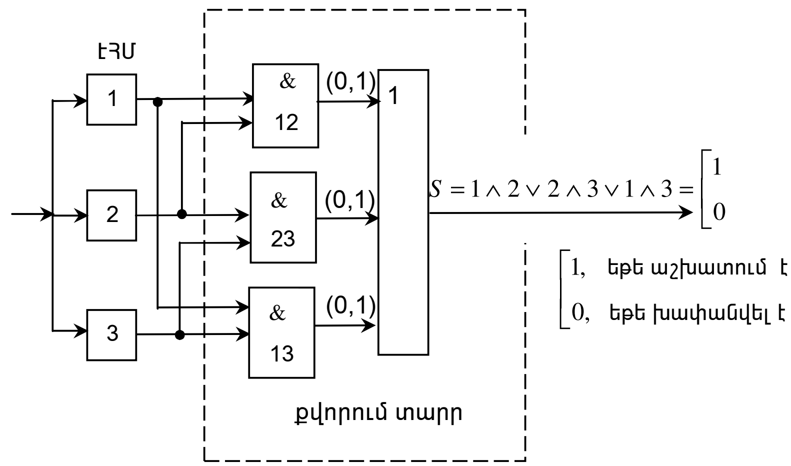
Նկ.9 *Ընդհանուր փոխարինումով պահուստավորման սխեման*



Նկ. 10 *Ընդհանուր մշտական պահուստավորման սխեման*

Այս եղանակը պակաս շահավետ է, քան ըստ տարրերի պահուստավորումը: Իրոք, ցանկացած տարրի խափանման դեպքում անհրաժեշտություն է առաջանում միացնել ամբողջ պահուստային համակարգը: Այս եղանակի միակ առավելությունն այն է, որ փոխանջատիչների թիվը փոքր է:

դ) Մաժորիտար պահուստավորում («քվեարկումով»):



Նկ.11 *2-ը 3-ից սկզբունքով քվեարկությամբ մաժորիտար պահուստավորում*

Այս եղանակը ենթադրում է լրացուցիչ հատուկ տարրի առկայություն: Այդ տարրը անվանում են մաժորիտար /տրամաբանական/ կամ քվորում տարր: Այն թույլ է տալիս համեմատել նույն գործառույթը կատարող մի քանի օբյեկտների ելքային ազդանշանները և համընկման դեպքում դրանք հաղորդել ելք:

Այս եղանակի առավելությունը ինֆորմացիոն-տրամաբանական սարքերի կողմից ինֆորմացիայի մշակման հավաստիության մեծացումն է:

2.Ֆունկցիոնալ պահուստավորում

Այս դեպքում օբյեկտի գործառույթները կարող են կատարվել տարբեր եղանակներով և միջոցներով: Օրինակ՝ ԱԿՅ-ում ինֆորմացիայի հաղորդման գործառույթը կարող է իրականացվել ռադիոկապուղիների, հեռագրի, հեռախոսի և կապի այլ միջոցներով: Պահուստավորման ժամանակ օբյեկտի գործունեության արդյունավետությունը գնահատելու համար կարելի է օգտագործել արդյունավետության գործակիցներ և տեխնիկական հուսալիության ցուցանիշների համախումբ $(P(t), T, K_{պ})$՝ օբյեկտի հնարավոր յուրաքանչյուր վիճակի համար:

3.Ժամանակային պահուստավորում:

Այս դեպքում օբյեկտի գործունեությունը այնպես է պլանավորվում, որ տրված գործառույթները կատարելու համար ստեղծվում է աշխատաժամանակի ավելցուկ: Օրինակ՝ ենթադրենք որևէ գործողություն կատարելու համար օբյեկտին անհրաժեշտ է t ժամանակ: Օբյեկտի աշխատանքը պլանավորելուց այդ գործողությունը կատարելու համար հատկացնում են $(t+t_{պ})$ ժամանակ, որտեղ $t_{պ}$ -ն պահուստային ժամանակն է: Այն կարող է օգտագործվել ինֆորմացիայի կրկնակի մշակման և հաղորդման կամ օբյեկտի խափանումները վերացնելու նպատակով:

$t_{պ}$-ի նախատեսումը թույլ է տալիս բարձրացնել օբյեկտի աշխատանքի հավաստիությունը և հուսալիությունը:

4.Ինֆորմացիոն պահուստավորում:

Դա ինֆորմացիայի հաղորդման, մշակման և արտապատկերման հուսալիության բարձրացման եղանակն է՝ ավելցուկային ինֆորմացիոն սիմվոլների ներմուծման միջոցով: Պահուստավորման այս եղանակի շարքին կարելի է դասել ինֆորմացիայի ավելցուկային կոդավորումը, /ուղղող և սխալը հայտնաբերող կոդերը/ և ինֆորմացիայի արտապատկերման այն եղանակները, որոնք թույլ են տալիս պահպանել օբյեկտի աշխատունակությունը և ինֆորմացիայի արտապատկերման հավաստիությունը՝ սիմվոլների աղավաղման դեպքում:

6. ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

Հաշվարկել համակարգի հուսալիությունը, նշանակում է նրա տարրերի հուսալիության ցուցանիշների տրված արժեքների դեպքում հաշվարկել հուսալիության ցուցանիշների արժեքները: Հուսալիության հաշվարկները լայնորեն կիրառվում են ինժեներական պրակտիկայում, ինչպես բարդ համակարգերի ստեղծման, այնպես էլ շահագործման փուլերում:

Գոյություն ունեն հուսալիության հաշվարկի բազմաթիվ մեթոդներ և եղանակներ: Մենք կքննարկենք հաշվարկի սկզբունքային հիմունքները և այն մեթոդները, որոնք առնչվում են ԱՀ-երի հուսալիության հաշվարկի հետ:

Հուսալիության հաշվարկը հիմնված է հաշվարկի կառուցվածքային սխեմայի և անալիտիկ կախվածությունների օգտագործման վրա: Այդ կախվածությունների և հաշվարկային բանաձևերի վրա դրվում են մի շարք սահմանափակումներ, որոնք ոչ բոլոր դեպքերում են ընդունելի: Այդ պատճառով հուսալիության ցուցանիշների արժեքները կրում են մոտավոր բնույթ:

Հուսալիության հաշվարկը դարձել է տեխնիկական համակարգերի նախագծման, ստեղծման և շահագործման ժամանակ կատարվող պարտադիր ինժեներական հաշվարկներից մեկը:

Էսքիզային նախագծման փուլում հուսալիության հաշվարկը կատարվում է հուսալիության սպասվելիք ցուցանիշների կանխագուշակման նպատակով:

Տեխնիկական նախագծման փուլում հուսալիության հաշվարկը օգտագործվում է համակարգը կազմող տեխնիկական միջոցների, ինչպես նաև պահուստավորման, վերահսկման և կանխագուշակման եղանակների ընտրության նպատակով, համակարգի կառուցվածքի, ծրագրային ապահովման և այլ գործոնների ընտրության հիմնավորման նպատակով: Այս փուլում հաշվարկները բազմաթիվ անգամ կրկնվում են կապված՝ համակարգի տարբերակների դիտարկման հետ:

Համակարգի փորձարկման փուլում հուսալիության հաշվարկը կատարվում է փորձարկվող համակարգի իրական և պահանջվող ցուցանիշների համապատասխանությունը ստուգելու նպատակով:

Համակարգի շահագործման փուլում հուսալիության հաշվարկները ուղղված են պահեստամասերի օպտիմալ թվի որոշմանը և պրոֆիլակտիկ սպասարկման պլանավորմանը:

Դիտարկենք ԱԿՀ-երի հուսալիության հաշվարկի համար առավել լայնորեն օգտագործվող մեթոդները:

6.1 ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՄԲ

6.1.1. ՉՎԵՐԱԿԱՆԳՆՎՈՂ ՕԲՅԵԿՏԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՆՄԻՋԱԿԱՆ ՀԱՇՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Դիտարկենք N տարրից բաղկացած, ըստ հուսալիության հաջորդաբար միացված չվերականգնվող համակարգ (ցանկացած տարրի խափանում հանգեցնում է ողջ համակարգի խափանմանը): Ընդ որում, ենթադրվում է, որ համակարգի տարրերի խափանումները միմյանցից անկախ են և ունեն ակնթարթային բնույթ: Եթե յուրաքանչյուր i-րդ տարրի անխափան աշխատանքի հավանականությունը տրված t ժամանակամիջոցի համար նշանակենք $P_i(t)$-ով, ապա համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը որոշվում է որպես տարրերի անխափան աշխատանքի հավանականությունների արտադրյալ՝

$$P_h(t)=\prod_{i=1}^{N}P_i(t)\text{:} \qquad (6.1)$$

Որոշենք համակարգի հուսալիության քանակական ցուցանիշները տարրերի անխափան աշխատանքի ժամանակի ցուցչային օրենքով բաշխման դեպքում՝

$$F_i(t)=1-e^{-\lambda_i t}\ ,$$

այսինքն՝ $$P_i(t)=1-F_i(t)=e^{-\lambda_i t}\ , \qquad (6.2)$$

որտեղ՝ λ_i-ն i-րդ տարրի խափանումների ուժգնությունն է: Այդ դեպքում համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը և հուսալիության մյուս ցուցանիշները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$P_h(t)=\prod_{i=1}^{N}e^{-\lambda_i t}=e^{-t\sum\limits_{i=1}^{N}\lambda_i}=e^{-\lambda_h t}\ , \qquad (6.3)$$

$$\lambda_h=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i\ , \qquad (6.4)$$

$$T_h=\frac{1}{\lambda_h}=\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{N}\lambda_i}\ , \qquad (6.5)$$

$$f_h(t)=\lambda_h e^{-\lambda_h t}=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i e^{-t\sum\limits_{i=1}^{N}\lambda_i}\text{:} \qquad (6.6)$$

Գործնականում բարձր հուսալի տարրերից կազմված համակարգերի հուսալիության հաշվարկի համար կարելի է օգտագործել հետևյալ բանաձևերը, որոնք $\lambda_h t<<1$ կամ $\max\limits_i\{q_i\}<<\frac{1}{N}$ պայմանի կատարման դեպքում, ստացվում են $e^{-\lambda_h t}$-ն վերածելով շարքի և սահմանափակվելով առաջին երկու անդամներով.

$$P_h(t)\approx 1-\lambda_h t \qquad (6.7)$$

$$f(t)\approx\lambda_h(1-\lambda_h t) \qquad (6.8)$$

Ընդ որում $\lambda_h t=0{,}2$ դեպքում թույլ տրված սխալը չի գերազանցում 3,5%-ը:

Այժմ քննարկենք մշտական պահուստավորված համակարգի հուսալիության հաշվարկը հետևյալ ենթադրությունների դեպքում.

1. Պահուստավորված համակարգի ցանկացած i-րդ տարրի անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ $P_i(t)=e^{-\lambda_i t}$

(անխափան աշխատանքի ժամանակը ենթարկվում է ցուցչային օրենքի);

2. Հիմնական և պահուստային համակարգերն ունեն միևնույն հուսալիությունը;
3. Պահուստավորված համակարգի տարրերի խափանումները միմյանցից անկախ են, իսկ խափանված տարրերի վերականգնումը համակարգի աշխատանքի ժամանակ հնարավոր չէ:

Հիմնական և յուրաքանչյուր պահուստային համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը որոշվում է (6.1) բանաձևով.

$$P_0(t)=\prod_{i=1}^{N}P_i(t):$$

Պահուստավորված համակարգի խափանման հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$q_h(t)=\prod_{i=1}^{m+1}q_0(t)=q_0^{m+1}(t)=\left[1-\prod_{i=1}^{N}P_i(t)\right]^{m+1}:$$

Այդ դեպքում պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_h(t)=1-q_h(t)=1-\left[1-\prod_{i=1}^{N}P_i(t)\right]^{m+1}=1-\left[1-\prod_{i=1}^{N}e^{-\lambda_i t}\right]^{m+1}=1-\left[1-e^{\lambda_0 t}\right]^{m+1},\quad(6.9)$$

որտեղ՝ $\lambda_0=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i$:

Որոշենք պահուստավորված համակարգի հուսալիության մյուս քանակական ցուցանիշները.

$$T_h=\int_0^{\infty}P_h(t)dt=\int_0^{\infty}\left[1-\left(1-e^{-\lambda_0 t}\right)\right]^{m+1}dt=\frac{1}{\lambda_0}\sum_{i=0}^{m}\frac{1}{i+1},\quad(6.10)$$

$$f_h(t)=q_h'(t)=\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t}\left(1-e^{-\lambda_0 t}\right)^m,\quad(6.11)$$

$$\lambda_h(t)=\frac{f_h(t)}{P_h(t)}=\frac{\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t}\left(1-e^{-\lambda_0 t}\right)^m}{1-\left(1-e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}}:\quad(6.12)$$

Բարձր հուսալի տարրերի դեպքում պահուստավորված համակարգի հուսալիության քանակական ցուցանիշները կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևերով.

$$P_h(t)\approx 1-(\lambda_0 t)^{m+1},\quad(6.13)$$

$$q_h(t)\approx(\lambda_0 t)^{m+1},\quad(6.14)$$

$$T_h \approx \frac{1}{\lambda_0}\sum_{i=0}^{m}\frac{1}{i+1}\,, \tag{6.15}$$

$$f_h(t) \approx \lambda_0^{m+1}(m+1)(1-\lambda_0 t)\cdot t^m\,, \tag{6.16}$$

$$\lambda_h(t) \approx \frac{(m+1)\lambda_0^{m+1}\cdot t^m}{\sum_{i=0}^{m}(\lambda_0 t)^i} \tag{6.17}$$

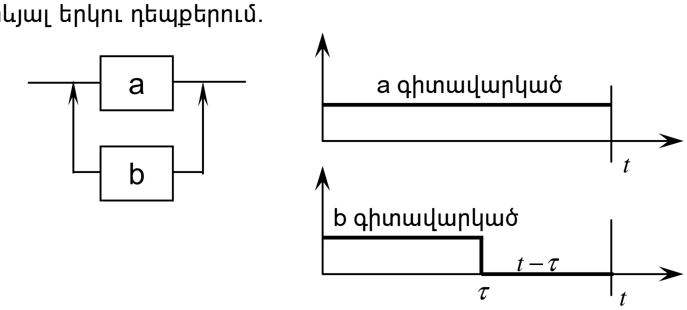
$$\lim_{t\to\infty} K_{\text{պ}} = \lim_{t\to\infty}\frac{1}{1+\omega_h(t)\cdot\theta_{\text{h}}} = \frac{1}{1+\dfrac{\theta_{\text{h}}}{T}} = \frac{1}{1+\dfrac{\lambda_0\theta_{\text{h}}}{\sum_{i=0}^{m}\dfrac{1}{i+1}}} \tag{6.18}$$

Հաշվարկենք փոխարինումով պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը հետևյալ պայմանների դեպքում.

1. Բոլոր պահուստային համակարգերը մինչև փոխարինման պահն ունեն միևնույն հուսալիությունը;
2. Փոխանջատող սարքերը բացարձակ հուսալի են;
3. Պահուստավորված համակարգի վերանորոգումը աշխատանքի ընթացքում հնարավոր չէ;
4. Պահուստավորված միացությունը ընդգրկում է մեկ հիմնական և m պահուստային համակարգեր:

Սկզբում քննարկենք այն պարզագույն դեպքը, երբ a համակարգը պահուստավորված է նույնանման b պահուստային համակարգով:

Որոշենք t ժամանակահատվածում պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ $P_{\text{h}}(t)$: Այդ համակարգը $[0;t]$ ժամանակահատվածում անխափան կաշխատի հետևյալ երկու դեպքերում.



Նկ. 12 *Փոխարինումով պահուստավորված միացության գործունեության լուսաբանումը*

1. a համակարգը t ժամանակահատվածում չի խափանվել (H_a գիտավարկած);

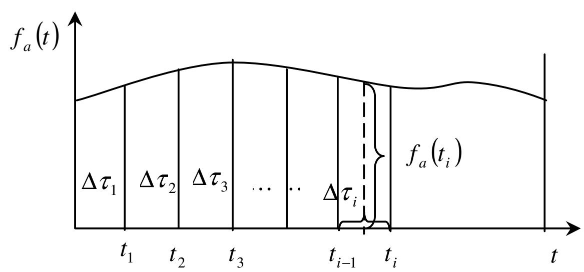
2. a համակարգը խափանվել է τ պահին և b համակարգը փոխարինելով նրան անխափան աշխատել է $t-\tau$ ժամանակահատվածում (H_b գիտավարկած):

Համաձայն լրիվ հավանականությունների բանաձևի, պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը t ժամանակահատվածում որոշվում է հետևյալ առնչությամբ`

$$P_{\text{h}}(t) = P_a(t) + P_{b/a}(t,\tau)\,, \tag{6.19}$$

որտեղ` $P_a(t)$-ն համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է $t$ ժամանակահատվածում, $P_{b/a}(t,\tau)$-ն` b համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է t ժամանակահատվածում, այն պայմանով, որ a համակարգը խափանվել է τ պահին:

Որոշենք $P_{\text{h}}(t)$ հավանականությունը: Դիցուք a համակարգի խափանումների հաճախականությունը` $f_a(t)$-ն, ունի այսպիսի բնութագիծ.



Նկ. 13 *Փոխարինումով պահուստավորված համակարգի խափանման հաճախականության գրաֆիկը*

$[0;t]$ ժամանակահատվածը բաժանենք $\Delta\tau_i = t_i - t_{i-1}$ երկարությամբ միջակայքերի:

a համակարգի խափանման հավանականությունը ցանկացած $\Delta\tau_i$-րդ միջակայքում որոշվում է հետևյալ բանաձևով`

$$q_{\text{h}}(t_i - t_{i-1}) = \int_0^{t_i} f_a(t)dt - \int_0^{t_{i-1}} f_a(t)dt\,:$$

Եթե $\Delta\tau_i \to 0$, ապա i-րդ միջակայքում $f_a(t)$-ն ընդունելով հաստատուն և հավասար $f_a(t_i)$-ի, $q_a(t_i - t_{i-1})$-ը մոտավոր կերպով որոշվում է որպես. $f_a(t_i)\cdot\Delta\tau_i$ արտադրյալ:

Պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը, երբ a համակարգը խափանվել է t_i պահին, որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$P_{b/a}(t,t_i) = q_a(t_i - t_{i-1})\cdot P_b(t,t_i) = f_a(t_i)\cdot\Delta\tau_i\cdot P_b(t,t_i),$$

որտեղ՝ $P_b(t,t_i)$-ն համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է $(t - t_i)$ ժամանակահատվածում, պայմանով, որ t_i պահին այն աշխատունակ էր:

Քանի որ a համակարգը կարող է խափանվել ցանկացած i-րդ միջակայքում (H_i տարրական գիտավարկած), ապա լրիվ հավանականությունների բանաձևի համաձայն պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_{b/a}(t,\tau) = \sum_{i=1}^{\tau/\Delta\tau_i} P(\mathrm{H}_i) = \sum_{i=1}^{\tau/\Delta\tau_i} P_{b/a}(t,t_i) = \sum_{i=1}^{\tau/\Delta\tau_i} f_a(t_i)\cdot\Delta\tau_i P_b(t,t_i):$$

Եթե անցնենք սահմանի, երբ $\Delta\tau_i \to 0$ կստանանք՝

$$P_{b/a}(t,\tau) = \int_0^t P_b(t,\tau)\cdot f_a(\tau)d\tau:$$

Տեղադրելով ստացված արտահայտությունը (6.19)-ի մեջ, կստանանք՝

$$P_{\mathrm{h}}(t) = P_a(t) + \int_0^t P_b(t,\tau)\cdot f_a(\tau)d\tau \qquad (6.20)$$

Ստացված բանաձևը կարելի է ընդհանրացնել m պահուստային համակարգերի դեպքում.

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \int_0^t P(t,\tau) f_m(\tau)d\tau, \qquad (6.21)$$

որտեղ $P_m(t)$-ն $(m-1)$ պատիկությամբ պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է t ժամանակամիջոցում, $P(t,\tau)$-ն մեկ պահուստային համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է $(t-\tau)$ ժամանակամիջոցում, այն պայմանով, որ մինչև τ պահը այն գտնվել է աշխատունակ վիճակում, $f_m(\tau)$-ն $(m-1)$ պատիկությամբ պահուստավորված համակարգի խափանումների հաճախականությունն է τ պահին:

Քանի որ $P(t,\tau)=1-q(t,\tau)$, պահուստավորված համակարգի համար կստանանք.

$$P_{m+1}(t)=P_m(t)+\int_0^t f_m(\tau)d\tau-\int_0^t q(t,\tau)f_m(\tau)d\tau:$$

Հաշվի առնելով, որ $\int_0^t f_m(\tau)d\tau=q_m(t)$, վերջնականորեն կստանանք

$$P_{m+1}(t)=1-\int_0^t q(t,\tau)f_m(\tau)d\tau \tag{6.22}$$

կամ $$q_{m+1}(t)=\int_0^t q(t,\tau)f_m(\tau)d\tau: \tag{6.23}$$

Քննարկենք փոխարինումով պահուստավորման դեպքում պահուստային համակարգերի հետևյալ վիճակները.

1.Պահուստային համակարգերը գտնվում են նույն աշխատանքային ռեժիմում, ինչ որ հիմնականը («ջերմ» կամ «տաք» վիճակ): Այդ դեպքում $q(t,\tau)=q(t)$, հետևապես`

$$q_{m+1}(t)=\int_0^t q(t)f_m(\tau)d\tau=q(t)\int_0^t f_m(\tau)d\tau=q(t)\cdot q_m(t)=\prod_{i=0}^{m}q_i(t): \tag{6.24}$$

2.Պահուստային համակարգերի հուսալիությունը սկսում է ծախսվել հիմնական համակարգի խափանումից հետո, այն փոխարինելու պահից սկսած («սառը» վիճակ), այսինքն $P(t,\tau)=P(t-\tau)$ և $q(t,\tau)=q(t-\tau)$:

Հաշվի առնելով վերոգրյալը, (6.21) բանաձևն ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$P_{m+1}(t)=P_m(t)+\int_0^t P(t-\tau)f_m(\tau)d\tau, \tag{6.25}$$

կամ $$q_{m+1}(t)=\int_0^t q(t-\tau)f_m(\tau)d\tau: \tag{6.26}$$

Գործնական հաշվարկների համար ավելի հարմար է օգտագործել հետևյալ բանաձևերը, որոնք ստացվում են (6.25)-ից մասերով ինտեգրման արդյունքում (կատարելով $P(t-\tau)=u$ և $f_m(\tau)d\tau=dv$ նշանակումները)

$$P_{m+1}(t)=P(t)+\int_0^t f(t-\tau)P_m(\tau)d\tau \qquad (6.27)$$

կամ
$$q_{m+1}(t)=q(t)-\int_0^t f(t-\tau)\cdot P_m(\tau)d\tau: \qquad (6.28)$$

Այժմ քննարկենք «սառը» պահուստավորված համակարգի հուսալիության հիմնական քանակական բնութագրերը հուսալիության ցուցչային օրենքի դեպքում, այսինքն, երբ $P_i(t)=e^{-\lambda 0t}$: Այդ դեպքում հիմնական և բոլոր պահուստային համակարգերի խափանումների հաճախականությունները կունենան հետևյալ տեսքը.

$$f_0(t)=\lambda_0 e^{-\lambda_0 t}, \quad \text{երբ } 0\le t\le \tau_0,$$

$$f_1(t)=\begin{cases}0, & \text{երբ } t\le\tau_0,\\ \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}, & \text{երբ } \tau_0\le t\le\tau_1,\end{cases}$$

$$\dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots$$

$$f_{m+1}(t)=\begin{cases}0, & \text{երբ } t\le\tau_m,\\ \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}, & \text{երբ } \tau_m\le t\le\tau_{m+1}.\end{cases}$$

որտեղ՝ λ_0-ն հիմնական կամ պահուստային ցանկացած համակարգի խափանումների ուժգնությունն է, τ_i-ն՝ $i-$րդ համակարգի խափանման պահն է՝ հաշված պահուստային համակարգի միացման պահից:

Որոշենք պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ օգտագործելով (6.27) անդրադարձ բանաձևը.

$$m=1,\ P_2(t)=P(t)+\int_0^t f(t-\tau)\cdot P_1(\tau)d\tau=$$

$$=e^{-\lambda_0 t}+\int_0^t \lambda_0\cdot e^{-\lambda_0(t-\tau)}\cdot e^{-\lambda_0\tau}d\tau=e^{-\lambda_0 t}(1+\lambda_0 t):$$

$$m=2,\ P_3(t)=P(t)+\int_0^t f(t-\tau)P_2(\tau)d\tau=e^{-\lambda_0 t}\left(1+\lambda_0 t+\frac{(\lambda_0 t)^2}{2!}\right):$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ ունենք m պահուստային համակարգեր, կստանանք՝

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \frac{(\lambda_0 t)^m}{m!} \cdot e^{-\lambda_0 t}, \qquad (6.29)$$

կամ

$$P_{\text{h}}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} \qquad (6.30)$$

Պահուստավորված համակարգի անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը, խափանումների հաճախականությունը և ուժգնությունը որոշվում են հետևյալ բանաձևերով

$$T_{\text{h}} = \int_0^{\infty} P_{\text{h}}(t)dt = \frac{m+1}{\lambda_0}, \qquad (6.31)$$

$$f_{\text{h}}(t) = \frac{\lambda_0^{m+1} t^m \cdot e^{-\lambda_0 t}}{m!}, \qquad (6.32)$$

$$\lambda_{\text{h}}(t) = \frac{\lambda_0^{m+1} \cdot t^m}{m! \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} : \qquad (6.33)$$

Պահուստավորման շնորհիվ ստացված շահումներն ըստ $P_{\text{h}}(t)$-ի, T_{h}-ի և f_{h}-ի ունեն հետևյալ տեսքը.

$$G_P = \sum_{i=0}^{m} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \qquad (6.34)$$

$$G_T = m+1, \qquad (6.35)$$

$$G_f = \frac{\lambda_0 t^m}{m!} : \qquad (6.36)$$

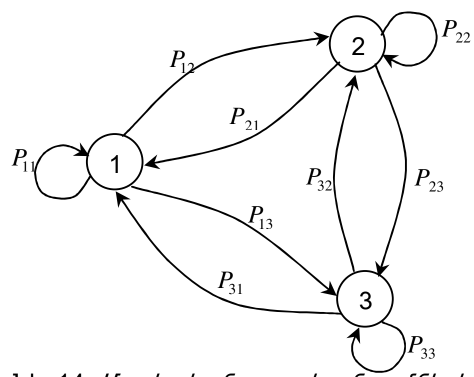
Ըստ ստացված արդյունքների, փոխարինումով պահուստավորումը բացառիկ արդյունավետ մեթոդ է ինչպես կարճատև, այնպես էլ տևական գործունեության համակարգերի դեպքում:

7. ՎԵՐԱԿԱՆԳՆԵԼԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՄԱՐԿՈՎՅԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՄԲ

Հուսալիության տեսակետից ցանկացած համակարգի համար կարելի է առանձնացնել հնարավոր վիճակների Z բազմություն: Ժամանակի ցանկացած t պահին համակարգը կարող է գտնվել որոշակի $z(t) \in Z$ վիճակում: Գործունեության աշխատանքի ընթացքում անհուսալիության հետևանքով համակարգը մի վիճակից անցնում է մյուսին: Ժամանակի ընթացքում համակարգի վիճակի փոփոխությունը պատահական գործընթաց է: Որպես պատահական գործընթացի բնութագիր հաճախ օգտագործվում է այն հավանականությունը, որ համակարգը ժամանակի t_S պահին գտնվելով z_S վիճակում, $t > t_S$ պահին կանցնի Z բազմությանը պատկանող վիճակներից որևէ մեկը $(z(t) \in Z)$: Այդ հավանականությունը նշանակվում է $P(t_S, z_S, t, z)$:

Այն պատահական գործընթացները, որոնց դեպքում նշված հավանականությունը կախված է միայն նախորդ վիճակից, կոչվում են մարկովյան (կամ առանց հիշողության) գործընթացներ:

Մարկովյան այն գործընթացները, երբ արգումենտը ընդունում է ընդհատ արժեքներ, կոչվում են մարկովյան շղթաներ: Հուսալիության տեսության մեջ առավել լայն տարածում են գտել մարկովյան շղթաները: Վերջավոր բազմությամբ մարկովյան շղթաների բնութագրման համար օգտագործվում է, այսպես կոչված, անցումների հավանականությունների մատրիցը` $\|P_{ij}(t_S)\|$: $P_{ij}(t_S)$-ը այն բանի հավանականությունն է, որ ժամանակի t_S պահին i վիճակում գտնվող համակարգը $t_S + 1$ պահին կանցնի j վիճակ: Եթե այն կախված չէ ժամանակից, ապա այդպիսի մարկովյան շղթան անվանում են համասեռ կամ ստացիոնար: Համասեռ մարկովյան շղթայի օրինակ կարող է հանդիսանալ համակարգի խափանումների և վերականգնումների գործընթացը, եթե խափանումների միջև ընկած ժամանակն ու վերականգնումների ժամանակը ենթարկվում են ցուցչային բաշխման, և հայտի հերթում սպասելու ժամանակը անսահմանափակ է: Հարմար է մարկովյան շղթաները ներկայացնել համապատասխան անցումների ուղղորդված գրաֆով (տես նկ.14),



$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix}:$$

Նկ. 14. *Մարկովյան շղթայի անցումների գրաֆը* որտեղ գագաթները համապատասխանում են համակարգի վիճակներին, իսկ աղեղները ցույց են տալիս անցումները: Աղեղների վրա նշվում են անցման հավանականությունները:

Անցումների գրաֆի հիման վրա կազմվում է դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ, որը նկարագրում է համակարգի վիճակների փոփոխության գործընթացը՝ այսինքն նրա հուսալիության մարկովյան մոդելն է: Այդ հավասարումների համակարգի լուծումը հնարավորություն է տալիս որոշել համակարգի հուսալիության բնութագրերը:

Այժմ ներկայացնենք դիֆերենցիալ հավասարումների տեսքով տրված մարկովյան մոդելի կիրառությունը պարզագույն օրինակի դեպքում:

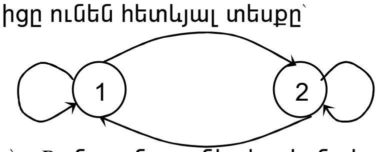
Ենթադրենք՝ ունենք վերականգնվող համակարգ, որի խափանումների առաջացման ժամանակը և վերականգնման ժամանակը ենթարկվում են համապատասխանաբար հետևյալ օրենքներին՝

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda dt}, \; G(t)=1-e^{-\mu dt}:$$

Սահմանենք համակարգի հետևյալ վիճակները՝

,,1” - աշխատունակ վիճակ, ,,2” - խափանված վիճակ:

Համակարգի անցումների գրաֆը և հավանականությունների մատրիցը ունեն հետևյալ տեսքը՝



$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{vmatrix}:$$

որտեղ՝ P_{ij}-ն այն բանի հավանականությունն է, որ t պահին i վիճակում գտնվող համակարգը, $t;[t+dt]$ ժամանակահատվածում կանցնի j վիճակ:

Որոշենք $\|P_{ij}\|$ մատրիցի տարրերը՝ հաշվի առնելով, որ dt-ն, λ-ն, μ-ն բավականաչափ փոքր են .

ա) $[t;t+dt]$ ժամանակահատվածում համակարգի խափանման հավանականությունը որոշվում է որպես $q(t,t+dt)=1-e^{-\lambda dt} \approx \lambda dt$, պայմանով, որ t պահին գտնվել է աշխատունակ վիճակում;

բ) $[t;t+dt]$ ժամանակատվածում համակարգի վերականգնման հավանականությունը կլինի μdt, պայմանով, որ t պահին գտնվել է խափանված վիճակում:

Այսպիսով, համակարգի հավանականությունների մատրիցի տարրերը որոշվում են որպես՝

$$P_{11} = 1 - \lambda dt \,, \qquad P_{21} = \mu dt \,,$$

$$P_{12} = \lambda dt \,, \qquad P_{22} = 1 - \mu dt :$$

Համակարգի վարքը նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարումները (մաթեմատիկական մոդելը) կարելի է կազմել՝ ելնելով հետևյալ դատողություններից. հավանականությունը, որ համակարգը $t+dt$ պահին կգտնվի աշխատունակ վիճակում, կարելի է որոշել որպես հետևյալ պատահարների հավանականությունների գումար՝

H_1 պատահար. համակարգը t պահին գտնվել է „1” վիճակում և $[t;t+dt]$ ժամանակահատվածում չի խափանվել,

H_2 պատահար. համակարգը t պահին գտնվել է „2” վիճակում, բայց $[t;t+dt]$ ժամանակահատվածում հասցրել է վերականգնվել: Հիշյալ երկու պատահարների հավանականությունների գումարը հենց $(t+dt)$ պահին համակարգի „1” վիճակում գտնվելու հավանականությունն է.

$$P_1(t+dt) = P(\mathrm{H}_1) + P(\mathrm{H}_2) = P_1(t)(1-\lambda dt) + P_2(t)\mu dt : \qquad (7.1)$$

Նման ձևով կարելի է գտնել $t+dt$ պահին „2” վիճակում գտնվելու հավանականությունը՝

$$P_2(t+dt) = P_1(t)\lambda dt + P_2(t)(1-\mu dt) \,, \qquad (7.2)$$

Պարզեցնելուց հետո, dt-ի բաժանելու ու սահմանի անցնելու դեպքում, երբ $dt \to 0$, կստանանք՝

$$\begin{aligned} &\lim_{dt\to 0}\frac{P_1(t+dt)-P_1(t)}{dt} = -P_1(t)\lambda + P_2(t)\mu = P_1(t), \\ &\lim_{dt\to 0}\frac{P_2(t+dt)-P_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) = P_2(t): \end{aligned} \qquad (7.3)$$

Եթե այս հավասարումների համակարգը լուծենք $P_1(t)$-ի և $P_2(t)$-ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu}\cdot e^{-(\lambda+\mu)t} \,, \qquad (7.4)$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} + \frac{\mu}{\lambda+\mu}\cdot e^{-(\lambda+\mu)t} : \qquad (7.5)$$

Եթե մարկովյան գործընթացը հաստատվել է, այսինքն $t \to \infty$, ապա կստանանք՝

$$\lim_{t\to\infty} P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = K_{\text{պ}} \,, \qquad (7.6)$$

$$\lim_{t\to\infty} P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} = 1 - K_{\text{պ}} : \qquad (7.7)$$

Այսպիսով, եթե պահանջվում է գտնել հաստատված վիճակում համակարգի „1” կամ „2” վիճակներում գտնվելու հավանականությունները, ապա դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը փոխարինելով հանրահաշվականի կարելի է լուծել և գտնել նշված վիճակների ստացիոնար (հաստատուն) հավանականությունները: Իրոք, եթե $t \to \infty$, ապա $P_1(t) \to P_1$ և $P_2(t) \to P_2$, իսկ $P_1'(t) \to 0$ և $P_2'(t) \to 0$: Այդ դեպքում (7.3)-ը կվերածվի գծային հավասարումների, որին ավելացնելով $P_1 + P_2 = 1$ հավասարումը, կստանանք՝

$$\begin{cases} 0 = -\lambda P_1 + \mu P_2\,, \\ 0 = \lambda P_2 - \mu P_2\,, \\ 1 = P_1 + P_2\,, \end{cases} \tag{7.8}$$

որի լուծումը ունի հետևյալ տեսքը.

$$P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}\,;\ P_2 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}\,; \tag{7.9}$$

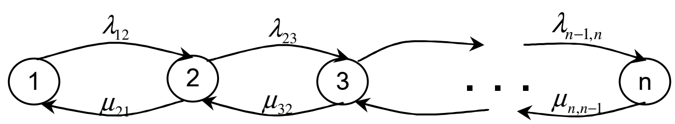
Գործնականում դիֆերենցիալ հավասարումների կազմման համար կիրառում են հետևյալ կանոնը.

Աջ կողմում գրվում է $P_k'(t)$, որտեղ՝ k-ն հերթական քննարկվող վիճակն է, իսկ ձախ կողմում՝ $\sum_{i=1}^{n} P_i(t)\frac{dP_{ik}}{dt}$ գումարը՝

$$P_k'(t) = \sum_{i=1}^{n} P_i(t)\frac{dP_{ik}}{dt}\,, \tag{7.10}$$

որտեղ՝ n-ը համակարգի հնարավոր վիճակների թիվն է:

Եթե համակարգի անցումների գրաֆն ունի հետևյալ տեսքը՝



Նկ. 15. *Համակարգի անցումների գրաֆը*

ապա հավասարումները կարելի է կազմել հետևյալ կանոնով.

Աջ կողմում գրվում է $P_k'(t)$, իսկ ձախ կողմում՝ այնքան անցումների գումար, ինչքան սլաքներ են կապված k վիճակի հետ: Յուրաքանչյուր անդամ սլաքին համապատասխանող λ_{ij} ուժգնության և այն վիճակի հավանականության արտադրյալն է, որից ելնում կամ ուր մտնում են սլաքներ: Ընդ որում, դեպի դուրս ուղղված սլաքների ուժգնությունը ընդունում են բացասական, իսկ մտնողներինը՝ դրական: Յուրաքանչյուր k վիճակի հավանականությունը որոշվում է հետևյալ

բանաձևով՝ $$P_k = P_1 \prod_{i=2}^{k} \frac{\lambda_{i-1,i}}{\mu_{i,i-1}} : \qquad (7.11)$$

7.1. ՎԵՐԱԿԱՆԳՆԵԼԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՏԱՐՐԵՐԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Դիտարկենք ըստ հուսալիության հաջորդաբար միացված a և b ենթահամակարգերից կազմված համակարգ:

Պարզության համար ընդունենք, որ երկու ենթահամակարգն էլ ունեն միևնույն λ և μ պարամետրերը:

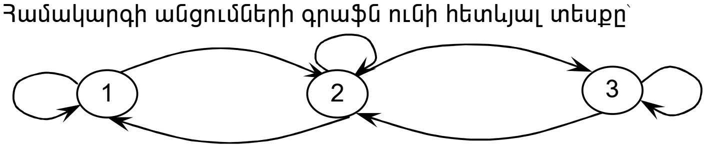
Առանձնացնենք համակարգի 3 վիճակ՝

„1”-երկու տարրերն էլ աշխատունակ են,

„2”- աշխատունակ է երկու տարրերից մեկը,

„3”-երկու տարրերն էլ խափանված են:

Համակարգի անցումների գրաֆն ունի հետևյալ տեսքը՝



Նկ. 16 *Համակարգի անցումների գրաֆը*

Ենթադրենք ունենք 1 վերականգնող բրիգադ: Գտնենք t պահին i վիճակում գտնվող համակարգի $[t, t+dt]$ ժամանակահատվածում j վիճակ անցնելու P_{ij} հավանականությունները.

$P_{11} = (1-\lambda dt)^2 = 1 - 2\lambda dt + 0$,

$P_{12} = \lambda dt(1-\lambda dt) + \lambda dt(1-\lambda dt) = 2\lambda dt$,

$P_{13} = (\lambda dt)^2 = 0$,

$P_{21} = \mu dt$,

$P_{22} = (1-\mu dt)(1-\lambda dt) = 1-(\lambda+\mu)dt + 0$,

$P_{23} = (1-\mu dt)\lambda dt = \lambda dt + 0$,

$P_{31} = (\mu dt)^2 = 0$,

$P_{32} = \mu dt$,

$P_{33} = 1 - \mu dt$:

Այսպիսով, անցումների հավանականությունների մատրիցը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\left\|P_{ij}\right\| = \begin{vmatrix} 1-2\lambda dt & 2\lambda dt & 0 \\ \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt \\ 0 & \mu dt & 1-\mu dt \end{vmatrix} \qquad (7.12)$$

(7.12) մատրիցի հիման վրա կազմենք համակարգի վիճակի փոփոխությունը նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարումները.

$$\begin{cases} P_1'(t) = -2\lambda P_1(t) + \mu P_2(t), \\ P_2'(t) = 2\lambda P_1(t) - (\lambda+\mu)P_2(t) + \mu P_3(t), \\ P_3'(t) = \lambda P_2(t) - \mu P_3(t), \\ 1 = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t): \end{cases} \qquad (7.13)$$

Հաստատված վիճակում գտնվող համակարգի համար վերը բերված հավասարումները կվերածվեն հանրահաշվականի.

$$\begin{cases} 0 = -2\lambda P_1 + \mu P_2, \\ 0 = 2\lambda P_1 - (\lambda+\mu)P_2 + \mu P_3, \\ 0 = \lambda P_2 - \mu P_3, \\ 1 = P_1 + P_2 + P_3: \end{cases} \qquad (7.14)$$

Լուծելով (7.14) հավասարումների համակարգը՝ կստանանք աշխատունակ վիճակում գտնվելու ստացիոնար հավանականությունը.

$$P_1 = \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2}:$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ ունենք n ենթահամակարգ և մեկ վերականգնող բրիգադ, համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_1 = \frac{X^n}{n!\sum \frac{x_j}{j!}} \ , \qquad (7.15)$$

որտեղ՝ $x = \dfrac{\mu}{\lambda}$:

Քննարկենք այն դեպքը, երբ ունենք երկու վերականգնող բրիգադ: Ակնհայտ է, որ անցումների հավանականություններից կփոխվեն միայն P_{32} -ը և P_{33} -ը:

$P_{32} = \mu dt + \mu dt = 2\mu dt$, $\qquad P_{33} = (1-\mu dt)(1-\mu dt) = 1 - 2\mu dt$

Անցումների հավանականությունների մատրիցը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} 1-2\lambda dt & 2\lambda dt & 0 \\ \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt \\ 0 & 2\mu dt & 1-2\mu dt \end{vmatrix}:$$

Հաստատված վիճակում համակարգի հավասարումների համակարգն ունի հետևյալ տեսքը.

$$\begin{cases} 0 = -2\lambda P_1 + \mu P_2 \\ 0 = 2\lambda P_1 - (\lambda+\mu)P_2 + \lambda P_3 \\ 0 = \mu P_2 - 2\mu P_3 \\ 1 = P_1 + P_2 + P_3 \end{cases} \qquad (7.16)$$

Լուծելով վերը բերված համակարգը կստանանք.

$$P_1 = \frac{\mu^2}{(\lambda+\mu)^2} = K_{պ}^2 :$$

Եթե ունենք n ենթահամակարգ և n բրիգադ, ապա համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելու ստացիոնար հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_1 = \frac{\mu^n}{(\lambda+\mu)^n} = K_{պ}^n :$$

7.2. ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՎՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՄՇՏԱԿԱՆ ՊԱՀՈՒՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Դիտարկենք պարզագույն դեպք, երբ ունենք մեկ հիմնական պահուստային համակարգ: Ընդունենք, որ հիմնական և պահուստային համակարգերն ունեն նույն հուսալիությունը (λ -ն և μ -ն):

Սահմանենք պահուստավորված համակարգի հետևյալ վիճակները`

„1”- երկու համակարգերն էլ աշխատունակ են,

„2”- համակարգերից մեկը աշխատունակ է, իսկ մյուսը` խափանված,

„3” - երկու համակարգերն էլ խափանված են:

Վերականգնումը կատարվում է 2 բրիգադների կողմից: Ակնհայտ է, որ պահուստավորված համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը որոշվում է որպես $P_1 + P_2$:

Անցումների հավանականությունների մատրիցը նույնն է, ինչ որ նախորդ խնդրի դեպքում`

$$\left\|P_{ij}\right\| = \begin{vmatrix} 1-2\lambda dt & 2\lambda dt & 0 \\ \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt \\ 0 & \mu dt & 1-\mu dt \end{vmatrix} \tag{7.17}$$

Պահուստավորված համակարգի հաստատված վիճակի համար կազմված հավասարումների համակարգի լուծումից կստանանք՝

$$P_1 = \frac{\mu^2}{(\lambda+\mu)^2} \ ; \quad P_2 = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda+\mu)^2} \ ;$$

$$K_{\text{հպ}} = P_1 + P_2 = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{(\lambda+\mu)^2} = 1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda+\mu}\right)^2 = 1 - (1 - K_{\text{պ}})^2 \, :$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ ունենք n համակարգ և n բրիգադ, պատրաստականության գործակիցը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$K_{\text{հպ}} = 1 - (1 - K_{\text{պ}})^n \, :$$

Մեկ վերանորոգող բրիգադի դեպքում անցումների հավանականությունների մատրիցն ունի (7.16)-ի տեսքը, որից ստացված հավասարումների համակարգի լուծումից կստանանք՝

$$K_{\text{հպ}} = P_1 + P_2 = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{\lambda^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2} \, :$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ ունենք n համակարգեր և 1 վերանորոգող բրիգադ, $K_{\text{հպ}}$ որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$K_{\text{հպ}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} \frac{x_j}{j!}} \, , \tag{7.18}$$

որտեղ՝ $x = \dfrac{\mu}{\lambda}$:

7.3. ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՎՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՓՈԽԱՐԻՆՈՒՄՈՎ ՊԱՀՈՒՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Այս դեպքում հնարավոր են համակարգի հետևյալ վիճակները՝

„1”-հիմնական համակարգը աշխատունակ է,

„2”-հիմնական համակարգը խափանվել է, գործում է պահուստայինը,

„3”-երկու համակարգերն էլ խափանվել են:

Ենթադրենք ունենք վերանորոգող 1 բրիգադ: Որոշենք անցման հավանականությունները՝

$P_{11} = 1-\lambda dt$, $P_{21} = \mu dt$, $P_{31} = (\mu dt)^2 = 0$,

$P_{12} = \lambda dt$, $P_{22} = (1-\lambda dt)(1-\mu dt) = 1-(\lambda+\mu)dt$, $P_{32} = \mu dt$,

$P_{13} = (\lambda dt)^2 = 0$, $P_{23} = (1-\mu dt)\lambda dt = \lambda dt$, $P_{33} = 1-\mu dt$,

և կազմենք անցումների հավանականությունների մատրիցը՝

$$\left\| P_{ij} \right\| = \begin{vmatrix} 1-\lambda dt & \lambda dt & 0 \\ \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt \\ 0 & \mu dt & 1-\mu dt \end{vmatrix} : \qquad (7.19)$$

(7.19) մատրիցի հիման վրա կազմենք հաստատված վիճակում գտնվող համակարգի վիճակի փոփոխությունը նկարագրող հանրահաշվական հավասարումները.

$$\begin{cases} -\lambda P_1 + \mu P_2 = 0 \\ \lambda P_1 - (\lambda+\mu)P_2 + \mu P_3 = 0 \\ \lambda P_1 - \lambda P_2 = 0 \\ P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases} \qquad (7.20)$$

Լուծելով ստացված հանրահաշվական հավասարումների համակարգը՝ կստանանք

$$P_1 = \frac{\mu^2}{\mu^2+\lambda\mu+\lambda^2} , \qquad P_2 = \frac{\lambda\mu}{\mu^2+\lambda\mu+\lambda^2} ,$$

$$K_{\text{հպ}} = P_1 + P_2 = \frac{\mu^2+\lambda\mu}{\mu^2+\lambda\mu+\lambda^2} :$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ ունենք n համակարգ և 1 բրիգադ, պահուստավորված միացության պատրաստականության գործակիցը որոշվում է ստորև բերված բանաձևով՝

$$K_{\text{հպ}} = 1 - \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} x_j} , \qquad (7.21)$$

որտեղ՝ $x = \dfrac{\mu}{\lambda}$:

8.ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆԱՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴԸ

8.1 ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

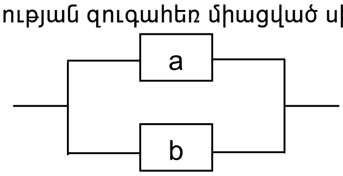
Քննարկվող մեթոդը մշակվել է վերջին տարիներին և ներկայումս շարունակում է զարգանալ: Այն հիմնվում է մաթեմատիկական տրամաբանության ապարատի կիրառման վրա, որը հնարավորություն է տալիս բուլյան ֆունկցիայի տեսքով ձևայնացնել բարդ կառուցվածք ունեցող համակարգերի աշխատունակության պայմանները և ստանալ նրանց հուսալիության հաշվարկի համար անհրաժեշտ բանաձևեր:

Հիշյալ ձևայնացման էությունը պարզելու նպատակով քննարկենք մաթեմատիկական տրամաբանության հետևյալ 6 հիմնական դրույթները:

1. Եթե որևիցե C ասույթի համար կարելի է պնդել, որ այն ճշմարիտ է, եթե ճշմարիտ են A կամ B ասույթները, ապա եզրակացնում են, որ C ասույթը հավասար է դիզյունկցիայի գործողությամբ իրար հետ կապված A և B ասույթներին՝ $C = A \vee B$:

Նմանապես, եթե համակարգի համար կարելի է պնդել, որ այն աշխատունակ է, եթե աշխատունակ են նրա a և b տարրերը, ապա եզրակացնում են, որ համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելը (c պատահարը) կապված է a և b տարրերի աշխատունակ վիճակներում գտնվելու a և b պատահարների հետ աշխատունակության հետևյալ տրամաբանական հավասարումով՝ $c = a \vee b$:

Դիզյունկցիայի գործողությունը կարելի է ներկայացնել a և b տարրերի ըստ հուսալիության զուգահեռ միացված սխեմայով.



Նկ.17 *Ըստ հուսալիության զուգահեռ միացման սխեման*

2.Եթե որևիցե C ասույթ ճշմարիտ է, եթե ճշմարիտ են A և B ասույթները, ապա այդ պայմանը ներկայացվում է հետևյալ կերպ՝

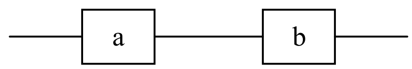
$$C = A \wedge B,$$

որտեղ՝ $\wedge$ - կոնյունկցիայի գործողության նշանն է:

Նմանապես, եթե համակարգը աշխատունակ է այն դեպքում, երբ միաժամանակ աշխատունակ են a և b տարրերը, ապա նրա աշխատունակ վիճակում գտնվելու c պատահարը a և b տարրերի աշխատունակ վիճակներում գտնվելու a և b պատահարների հետ կապված է աշխատունակության հետևյալ տրամաբանական հավասարումով.

$$c = a \wedge b = a \cdot b : \qquad (8.1)$$

Կոնյունկցիայի տրամաբանական գործողությունը ներկայացվում է a և b տարրերի ըստ հուսալիության հաջորդական միացման սխեմայով.



Նկ.18 *Ըստ հուսալիության հաջորդական միացման սխեման*

3. Եթե որևիցե A ասույթ ժխտվում է B ասույթով, ապա A-ն և B-ն կապված են ժխտման տրամաբանական գործողությամբ՝ $B = \overline{A}$:

Յուսալիության տեսության մեջ այս գործողությունը կիրառվում է այսպես. եթե a տարրի աշխատունակ վիճակում գտնվելը համարվի որպես a պատահար, ապա նրա անաշխատունակ վիճակում գտնվելը կհամարվի որպես $\overline{a}$ պատահար:

4. Դիզյունկցիայի, կոնյունկցիայի և ժխտման գործողությունները հուսալիության տեսության մեջ համարվում են հիմնական, քանի որ մնացած բոլոր տրամաբանական գործողությունները հանգեցվում են դրանց:

5. Տրամաբանական ֆունկցիաները կարելի է նվազարկել, այսինքն՝ այն ձևափոխել այնպես, որ ընդգրկվեն նվազագույն քանակությամբ անդամներ կամ նրանցում կրկնվող անդամներ չլինեն: Այդ նպատակով մաթեմատիկական տրամաբանության մեջ առաջարկվում են հետևյալ բանաձևերը՝

1) $a \cdot a = a$,	11) $\overline{(a \vee b)} = \overline{a} \cdot \overline{b}$,	
2) $a \vee a = a$,	12) $\overline{(a \cdot b)} = \overline{a} \vee \overline{b}$,	
3) $a \vee a \cdot b = a$,	13) $ab \vee a\overline{b} = a$,	
4) $1 \vee a = 1$,	14) $a \vee \overline{a}b = a \vee b$,	(8.2)
5) $a \vee b = b \vee a$,	15) $(a \cdot a) \vee (a \cdot b) = a$,	
6) $a \cdot b = b \cdot a$,	16) $a \cdot (a \vee b) = a$,	
7) $a \vee \overline{a} = 1$,	17) $(a \vee b)(a \vee c) = a \vee (b \cdot c)$,	
8) $a \vee 0 = a$,	18) $(a \cdot b) \vee (a \cdot c) = a(b \vee c)$,	
9) $a \cdot 1 = a$,	19) $F_{\text{տ}}(a,b,c) = a \cdot F_{\text{տ}1}(1,b,c,...) \vee \overline{a} \cdot F_{\text{տ}2}(0,b,c,...)$:	
10) $a \cdot \overline{a} = 0$,		

Տրամաբանական ֆունկցիայի՝ $F_{\text{տ}}$-ի ձևափոխումը այնպիսի տեսքի, որտեղ կրկնվող անդամներ չկան, անպայմանորեն անհրաժեշտ է հուսալիության հաշվարկների համար: Օրինակ, եթե $F_{\text{տ}} = a \cdot a$, ապա, երբ հուսալիության հաշվարկում a պատահարը փոխարինվի $P(a)$ հավանականությամբ, ապա սխալ թույլ կտրվի: Իրոք՝ $P(a \cdot a) = P(a)P(a) = P^2(a)$, երբ իրականում $F_{\text{տ}} = a \cdot a = a$ և հետևաբար $P(a \cdot a) = P(a)$:

Հատկապես ուշադրության է արժանի (8.2)-ի բանաձև 19-ը: Այն օգտագործվում է այնպիսի դեպքերում, երբ մյուս բանաձևերով անհնար է բացառել կրկնվող անդամները:

Օրինակ՝ տրված է $F_{\text{տ}} = (abc) \vee (dc) \vee (ac)$ ֆունկցիան: Ակնհայտ է, որ (8.2) բանաձևերով a և c անդամների կրկնության բացառումը անհնար է: Այդ պատճառով վերլուծենք $F_{\text{տ}}$-ն ըստ a փոփոխականի, համաձայն բանաձև 19-ի.

$$F_{\text{տ}} = aF_{\text{տ}_1} \vee \overline{a}F_{\text{տ}_2} = [a(1 \cdot b \cdot c) \vee (d \cdot c) \vee (1 \cdot c)] \vee [\overline{a}(0 \cdot b \cdot c) \vee (d \cdot c)(0 \cdot c)] \quad (8.3)$$

6. Աշխատունակության այն տրամաբանական ֆունկցիան, որի տրամաբանական գործողությունները փոխարինված են թվաբանական գործողություններով, կոչվում է թվաբանական տեսքով ներկայացված աշխատունակության ֆունկցիա կամ աշխատունակության թվաբանական ֆունկցիա: Տրամաբանական ֆունկցիաները կարելի է ձևափոխել թվաբանականի՝ օգտագործելով հետևյալ բանաձևերը (կանոնները)՝

$$a \wedge b = a \cdot b, \quad a \vee b = a + b - a \cdot b, \quad \overline{a} = 1 - a: \quad (8.4)$$

8.2. ՏՐԱՄԱԲԱՆԱՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ

Համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է.

1. Բառացիորեն ձևակերպել համակարգի աշխատունակության պայմանները և դրա հիման վրա կազմել համակարգի՝ ըստ հուսալիության կառուցվածքային սխեման:
2. Աշխատունակության պայմանների հիման վրա կազմել համակարգի աշխատունակության $F_{\text{տ}}$ տրամաբանական ֆունկցիան:
3. Անհրաժեշտության դեպքում ձևափոխել $F_{\text{տ}}$ ֆունկցիան՝ մինիմացնելով և բացառելով կրկնվող անդամները բանաձև (8.2)-երի օգնությամբ:
4. Աշխատունակության տրամաբանական ֆունկցիայից անցնել թվաբանականի բանաձևեր (8.4)-ի օգնությամբ:

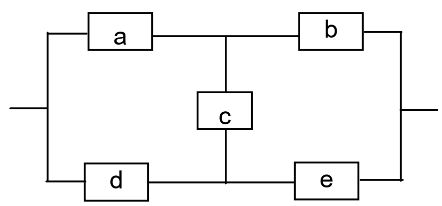
5. Աշխատունակության թվաբանական ֆունկցիայում պարզ պատահարները փոխարինել դրանց հավանականություններով:

6. Ստացված բանաձևում տեղադրել հավանականությունների թվային արժեքները և հաշվել համակարգի աշխատունակ վիճակում գտնվելու հավանականությունը:

Օրինակ՝ որոշել տվյալների հաղորդման համակարգի աշխատունակ վիճակի հավանականությունը, եթե a,b,d,e կապուղիներից յուրաքանչյուրի աշխատունակ վիճակի հավանականությունները հավասար են 0,9-ի, իսկ c կապուղունը՝ 0,8-ի:

Համակարգի աշխատունակության պայմանները հետևյալն են.

Համակարգը աշխատունակ է, եթե աշխատունակ են a-ն, c-ն և e-ն, կամ d-ն, c-ն և b-ն, կամ a-ն և b-ն, կամ d-ն և e-ն (a,b,c,d,e-ի ավելացումը ավելորդ է, քանի որ այն բացառվելու է մինիմացման դեպքում): Ըստ հուսալիության կառուցվածքային սխեման ունի այսպիսի տեսք՝



Նկ 19. *Համակարգի ըստ հուսալիության կառուցվածքային սխեման*

Ակնհայտ է, որ (8.2) բանաձևերով կրկնվող անդամների բացառումը անհնար է: Այդ պատճառով վերլուծենք $F_{տ}$ ֆունկցիան 19-րդ բանաձևի համաձայն, ըստ c տարրի.

$$F_{տ} = \left[c \cdot F_{տ1}(a,b,1,d,e)\right] \vee \left[\bar{c} F_{տ2}(a,b,0,d,e)\right] =$$

$$= c\left[(a \cdot b) \vee (a \cdot e) \vee (d \cdot e) \vee (d \cdot b)\right] \vee \bar{c}\left[(a \cdot b) \vee (d \cdot e)\right]$$

Կիրառենք (8.2) բանաձևերը և պարզեցնենք ստացված ֆունկցիան՝ $ab \vee ae \vee de \vee db = (a \vee d) \cdot (b \vee e)$,

կստանանք՝ $F_{տ} = c\left[(a \vee d) \cdot (b \vee e)\right] \vee \bar{c}\left[ab \vee de\right]$

Համակարգի աշխատունակության $F_{տ}$ տրամաբանական ֆունկցիայից անցնենք թվաբանական ֆունկցիայի՝ օգտագործելով (8.4) բանաձևերը.

$$F_{թ} = c\left[(a + d - a \cdot d) \cdot (b + e - b \cdot e)\right] + (1 - c)\left[a \cdot b + d \cdot e - a \cdot b \cdot d \cdot e\right]$$

Փոխարինելով a,b,c,d,e պատահարները դրանց հավանականություններով, կստանանք՝

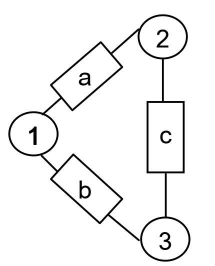
$$P = P_c\left[(P_a + P_d - P_a \cdot P_d)(P_b + P_e - P_b \cdot P_e)\right] + (1 - P_c)(P_a P_b + P_d \cdot P_e - P_a \cdot P_b \cdot P_d \cdot P_e) = 0{,}917:$$

9. ԲԱՐԴ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

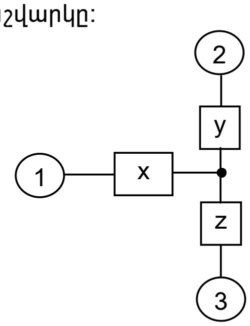
9.1 ԲԱՐԴ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔ ՈՒՆԵՑՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

ԱՀ-երի հուսալիության հաշվարկի ժամանակ առաջանում են լուրջ դժվարություններ՝ կապված նրա կառուցվածքի բարդության հետ: Այդ պատճառով բարդ կառուցվածքով համակարգի հուսալիության հաշվարկից առաջ, հնարավորության դեպքում, անհրաժեշտ է ձևափոխել նրա կառուցվածքը՝ այն պարզեցնելու և հաշվարկի տեսակետից ավելի հարմար դարձնելու նպատակով: Նշենք, որ այդ առումով ամենահարմար կառուցվածքը տարրերի հաջորդական կամ զուգահեռ-հաջորդական միացումն է: Այս հանգամանքի հետ կապված, հուսալիության տեսության մեջ ձևավորվել է մի ինքնուրույն գիտական ուղղություն, որը կրում է համակարգերի կառուցվածքային վերլուծություն անվանումը: Այդ ուղղության շրջանակներում օգտագործվում են մաթեմատիկական տրամաբանություն, գրաֆների տեսություն և այլն: Մաթեմատիկական տրամաբանության մեջ ապացուցվում է, որ ցանկացած տրամաբանական գործողություն կարող է փոխարինվել դիզյունկցիայով, կոնյունկցիայով և ժխտմամբ: Քանի որ նշված տարրական գործողություններին համապատասխանում են տարրերի զուգահեռ և հաջորդական միացումները, ապա ցանկացած բարդ կառուցվածք կարելի է ներկայացնել զուգահեռ–հաջորդական միացումների համախմբի տեսքով:

Նշենք որոշ կարևոր դրույթներ և հանձնարարականներ, որոնց վրա հիմնվում է ԱՀ-երի հուսալիության հաշվարկը:



Նկ. 20 *«Եռանկյունաձև» սխեմա*



Նկ.21 *«Աստղաձև» սխեմա*

1. «եռանկյունաձև» կառուցվածքի ձևափոխումը «աստղաձև» կառուցվածքի: Տրված է «եռանկյունաձև» կառուցվածք, որն

անհրաժեշտ է ձևափոխել «աստղաձևի», որպեսզի «աստղը» համարժեք լինի «եռանկյանը», անհրաժեշտ է, որ համարժեք լինեն «եռանկյան» և «աստղի» աշխատունակության հավասարումները.

$$a \vee bc = xy\,; \quad b \vee ac = xz\,; \quad c \vee ab = yz\,; \qquad (9.1)$$

որտեղ` a, b, c, x, y, z պատահարներ են, որոնց համապատասխան համապատասխան տարրերը գտնվում են աշխատունակ վիճակում:

(9.1)–ից հետևում է, որ 1-2, 1-3 և 2-3 շղթաների աշխատունակ վիճակների հավանականությունները պետք է միմյանց հավասար լինեն, ինչպես եռանկյան, այնպես էլ աստղի համար`

$$\begin{cases} P_a + P_b P_c - P_a P_b P_c = P_x P_y \\ P_b + P_a P_c - P_a P_b P_c = P_x P_z \\ P_c + P_a P_b - P_a P_b P_c = P_y P_z \end{cases} : \qquad (9.2)$$

Եթե $P_a = P_b = P_c = P_\Delta$ և $P_x = P_y = P_z = P_\lambda$, ապա (9.2)–ը կունենա այսպիսի տեսք`

$$P_\Delta + P_\Delta^2 - P_\Delta^3 = P^2\,;$$

որտեղից`

$$P_\lambda = \sqrt{P_\Delta + P_\Delta^2 - P_\Delta^3}\,:$$

Օրինակ` որոշել կամրջակային սխեմայի աշխատունակ վիճակի հավանականությունը, եթե յուրաքանչյուր տարրի աշխատունակ վիճակի հավանականությունը հավասար է 0,8-ի:

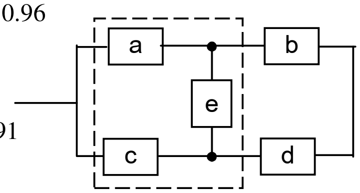
a, b, c, տարրերից բաղկացած «եռանկյունաձև» կառուցվածքը ձևափոխենք «աստղի»`

$$P = \sqrt{P + P^2 - P^3} = P_x = P_y = P_z = 0.96$$

$$F_{\text{տ}} = x\{yb \vee zd\}$$

$$F_{\text{բ}} = x\{yb + zd - ybzd\}$$

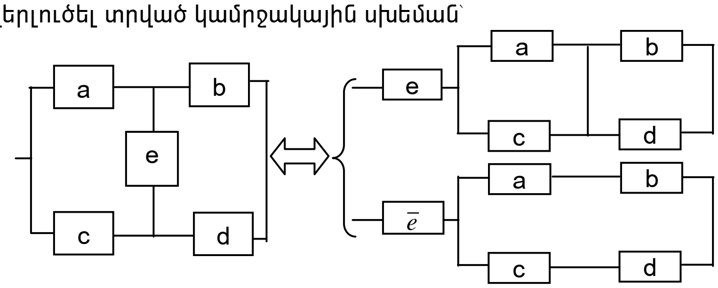
$$P_{\text{h}} = P_x \cdot (P_y P_b + P_z P_d - P_y P_b P_z P_d) = 0.91$$



ԱՀ-երի բարդ կառուցվածքը պարզեցնելու նպատակով օգտագործվում է նաև կառուցվածքը ըստ բանալիային կամ հիմնական տարրի վերլուծման մեթոդը:

Այս մեթոդի էությունն այն է, որ տրված բարդ կառուցվածքը փոխարինվում է երկու ավելի պարզ կառուցվածքների համախմբությամբ այնպես, որ այդ կառուցվածքների աշխատունակ վիճակների հավանականությունների գումարը հավասար է լինում սկզբնական կառուցվածքի աշխատունակ վիճակի հավանականությանը՝ համաձայն լրիվ հավանականության բանաձևի:

Առանց քննության առնելու մեթոդի տեսական հիմունքները, ցույց տանք նրա էությունը հետևյալ օրինակով: Ենթադրենք՝ անհրաժեշտ է վերլուծել տրված կամրջակային սխեման՝



Նկ.22. *Համակարգի բարդ կառուցվածքի վերլուծումը ըստ բանալիային e տարրի*

Պահանջվում է այն վերլուծել 2 բաղադրիչ սխեմաների: Որպես «բանալիային» կամ «վերլուծման տարր» ընտրենք e տարրը: Ենթադրենք e տարրը գտնվում է աշխատունակ վիճակում: Այդ դեպքում նրա փոխարեն սխեմայում կարելի է դնել մշտական կապ: Բայց այդ դեպքում սխեմային հաջորդաբար չպետք է միացվի e տարրը, քանի որ սխեմայի աշխատունակության պայմանական՝ «այսինքն բոլոր տարրերը աշխատունակ են» հավանականությունը տվյալ դեպքում որոշվում է e-ի աշխատունակ վիճակի հավանականությամբ: Բայց e տարրը կարող է գտնվել նաև խափանված վիճակում: Այդ դեպքում նրա տեղում պետք է միացվի $\bar{e}$ տարրը: Ըստ բանալիային տարրի բարդ համակարգի կառուցվածքի վերլուծման կանոնը կարելի է ձևակերպել այսպես.

1. սկզբնական կառուցվածքում ընտրվում է ամենաշատ կապեր ունեցող x տարրը՝ որպես բանալիային:

2. x տարրի տեղում սկզբնական կառուցվածքում դրվում է մշտական կապ՝ կարճ միացում, իսկ սխեմային հաջորդաբար միացվում է x տարրը: Արդյունքում ստացվում է առաջին կառուցվածքը:

3. x տարրը սկզբնական սխեմայից հանվում է, այսինքն՝ նրա կապը մյուսների հետ խզվում է և ստացված սխեմային հաջորդաբար միացվում՝ $\bar{x}$ տարրը: Արդյունքում ստացվում է երկրորդ կառուցվածքը:

4. Հաշվարկվում են 2 կառուցվածքների աշխատունակ վիճակների հավանականությունները՝ P_1 և P_2-ը:

5. Որոշվում է սկզբնական կառուցվածքի աշխատունակ վիճակի հավանականությունը՝ որպես $P_1 + P_2$:

9.2 ԲԱՐԴ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Բարդ տեխնիկական համակարգը փոխադարձաբար կապված, կառուցվածքային տեսակետից իրարից անկախ տարրերի համախումբ է, որն օժտված է կառուցվածքը փոփոխելու հատկությամբ և տրված գործառույթները տարբեր աշխատունակության վիճակներում իրականացնելու ունակությամբ: Մեկ կամ մի քանի տարրերի խափանումները չեն հանգեցնում այդպիսի համակարգերի խափանմանը, այլ նվազեցնում են նրա գործունեության որակը: Բարդ տեխնիկական համակարգերի համար խափանման հասկացությունը անիմաստ է դառնում, այդ պատճառով նրանց հուսալիության գնահատման համար մտցվում է գործունեության արդյունավետություն հասկացությունը, որի գնահատումը կատարվում է հատուկ ֆունկցիոնալների՝ արդյունավետության ցուցանիշների միջոցով:

Արդյունավետությունը համակարգի հատկությունների համախումբ է, որը որոշում է նրա պիտանիությունը ըստ նշանակության օգտագործման դեպքում:

Արդյունավետության ցուցանիշը համակարգի այնպիսի թվային բնութագիր է, որը գնահատում է համակարգի հարմարավետության աստիճանը իր գործառույթները կատարելու տեսակետից: Որպես արդյունավետության ցուցանիշներ կարող են օգտագործվել ինքնարժեքը, արտադրողականությունը, շահույթը, հուսալիության բնութագրերը և այլն: Որպես համակարգի գործունեության արդյունավետության ցուցանիշ օգտագործվում է հետևյալ մեծությունը, որը կոչվում է արդյունավետության պահպանման գործակից՝

$$K_{\text{ա.պ.}} = \frac{E}{E_0}, \tag{9.3}$$

որտեղ՝ E-ն համակարգի արդյունավետության ցուցանիշն է՝ հաշվի առնելով տարրերի հուսալիությունը, E_0-ն համակարգի արդյունավետության ցուցանիշն է տարրերի բացարձակ հուսալիության դեպքում:

Տարրերի անհուսալիության ազդեցությունը համակարգի արդյունավետության վրա գնահատելու նպատակով հարմար է օգտագործել ազդեցության գործակիցը՝

$$K_i = \frac{E_i}{E_0}, \tag{9.4}$$

որտեղ՝ E_i-ն համակարգի գործունեության արդյունավետության ցուցանիշն է, երբ տարրերը բացի i-րդից բացարձակ հուսալի են:

Պետք է նշել, որ համակարգի արդյունավետության ցուցանիշը պարզ համակարգերի համար համընկնում է անխափան աշխատանքի հավանականության հետ:

Իրոք՝

$$K_{\text{ա.պ.}} = \frac{E}{E_0} = \frac{E_0 \cdot P(t)}{E_0} = P(t): \quad (9.5)$$

Բարդ համակարգերի արդյունավետության գնահատումը չափազանց աշխատատար և դժվարին խնդիր է: Նպատակահարմար է այն գնահատելու դեպքում դիտարկել համակարգերի 2 դաս՝

1. Կարճատև գործունեության համակարգեր, որոնց աշխատանքի տևողությունը այնքան կարճ է, որ համակարգն իր վիճակն այդ ընթացքում գործնականորեն չի կարող փոխել:
2. Տևական գործունեության համակարգեր, որոնց գործունեության ժամանակաընթացքում մեծ հավանականությամբ հնարավոր են վիճակի փոփոխություններ:

Քննարկենք կարճատև գործունեության համակարգերի արդյունավետության գնահատման մեթոդը հետևյալ պարզագույն օրինակով:

Ենթադրենք ունենք 3 տարրից բաղկացած բարդ համակարգ, որոնց խափանումները միայն նվազեցնում են համակարգի գործունեության որակը: Ընդ որում, տարրերի հնարավոր վիճակների թիվը հավասար է 2-ի՝ աշխատունակ վիճակ և խափանված վիճակ: Այդ դեպքում ժամանակի ցանկացած պահին համակարգը կարող է գտնվել հետևյալ $2^3 = 8$ վիճակներից որևէ մեկում՝

S_0՝ համակարգի 3 տարրերն էլ գտնվում են աշխատունակ վիճակում:

S_1՝ խափանվել է 1-ին տարրը, իսկ մնացած 2-ը գտնվում են աշխատունակ վիճակում:

S_2՝ խափանվել է 2-րդ տարրը, իսկ 1-ը և 3-ը գտնվում են աշխատունակ վիճակում:

S_3՝ խափանվել է 3-րդ տարրը, 1-ը և 2-ը գտնվում են աշխատունակ վիճակում:

S_{12} խափանվել են 1 և 2 տարրերը:

S_{13} խափանվել են 1 և 3 տարրերը:

S_{23} խափանվել են 2 և 3 տարրերը:

S_{123} 3 տարրն էլ խափանվել են :

Նշված վիճակներում համակարգի արդյունավետության ցուցանիշները հետևյալն են՝ E_0, E_1, E_2, E_3, E_{12}, E_{13}, E_{23}, E_{123}:

Ակնհայտ է, որ վերը նշված արժեքները P_0, P_1, P_2, P_3, P_{12}, P_{13}, P_{23}, P_{123} հավանականություններով ընդունող $\tilde{E}$ մեծությունը ընդհատ պատահական մեծություն է, ուստի համակարգի արդյունավետության ցուցանիշը որոշվում է որպես նրա մաթեմատիկական սպասում:

$$M[E]=[E_0P_0+E_1P_1+E_2P_2+E_3P_3+E_{12}P_{12}+E_{13}P_{13}+E_{23}P_{23}+E_{123}P_{123}] \quad (9.6)$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ համակարգը բաղկացած է n տարրերից, բանաձևը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$M[E]=E_0P_0+\sum_{i=1}^{n}E_iP_i+\sum_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{n}E_{ij}P_{ij}+\sum_{\substack{i\neq j,..m=1\\ i<j<...<m}}^{n}E_{ij}P_{i1}..mP_{ij}..m+E_{12}..nP_{12}..n: \quad (9.7)$$

Եթե համակարգի խափանումները միմյանցից անկախ են, ապա կարող ենք գրել, որ

$$P_0=\prod_{i=1}^{n}P_i=\prod_{i=1}^{n}(1-q_i),\ P_i=q_i\prod_{\substack{k=i\\ k\neq i}}^{n}P_k,\ P_{ij}=q_{ij}\prod_{\substack{k=1\\ k\neq i,j}}^{n}P_k: \quad (9.8)$$

Եթե $\max_i\{q_i\}<<1/n$, ապա արտահայտությունների մեջ անտեսելով 2 և ավելի q պարունակող անդամներ, կստանանք՝

$$M[\tilde{E}]=E_0(1-\sum_{i=1}^{n}q_i)+\sum_{i=1}^{n}q_{ij}\cdot E\approx E_0-\sum_{i=1}^{n}q_i(E_0-E_i): \quad (9.9)$$

Ստացված բանաձևով $M[\tilde{E}]$-ի որոշման դեպքում թույլ տրված սխալը մոտավորապես կարելի է գնահատել հետևյալ բանաձևով՝

$$\delta=\frac{n(n-1)}{2}[\max q_i]\cdot E_0:$$

Վերականգնվող համակարգի համար q_i-ն որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$q_i=\frac{\lambda_i}{\lambda_i+\mu_i}: \quad (9.10)$$

Ակնհայտ է, որ ստացված առնչությունը ճիշտ է ցանկացած t–ի համար:

$$K_{\text{ա.պ}}(t)=\frac{\left[E_0-\sum_{i=1}^{n}q_i(t)(E_0-E_i)\right]}{E_0}: \quad (9.11)$$

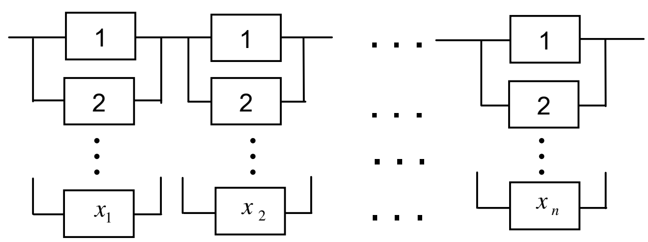
Տնական համակարգերի արդյունավետության գնահատումը հիմնականում իրականացվում է նմանակային մոդելավորման մեթոդով:

10.ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄ

Ինչպես նշել ենք, պահուստավորումը հնարավորություն է տալիս համեմատաբար ցածր հուսալիություն ունեցող տարրերից կառուցել պահանջվող, բավականին բարձր հուսալիությամբ օժտված համակարգ: Սակայն վերջինս անպայմանորեն հանգեցնում է այդ համակարգերի քաշի, չափերի և արժեքի մեծացմանը: Այդ պատճառով գործնականում ծագում են հետևյալ 2 տիպի հուսալիության օպտիմալ խնդիրները.

1.Մաքսիմացնել համակարգի հուսալիությունը՝ հաշվի առնելով նրա տարրերի գումարային քաշի, չափերի և արժեքի վրա դրված սահմանափակումները:

2.Մինիմացնել համակարգի տարրերի գումարային քաշը, չափերը և արժեքը՝ նրա տրված հուսալիության դեպքում:



Նկ. 23 *Պահուստավորված համակարգի կառուցվածքային սխեման ըստ հուսալիության*

Դրված խնդիրները մաթեմատիկորեն ներկայացնելու նպատակով դիտարկենք հետևյալ ըստ հուսալիության հաջորդաբար միացված n թվով ենթահամակարգից բաղկացած համակարգը, որոնցից յուրաքանչյուրի խափանումը հանգեցնում է ողջ համակարգի խափանմանը (գործունեության դադարեցմանը): Յուրաքանչյուր i-րդ ենթահամակարգը ներառում է (x_i+1) թվով տարրեր, որոնցից մեկը հիմնական է, իսկ մյուսները՝ պահուստային:

Համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ ենթահամակարգերի և նրանց տարրերի խափանումների անկախության վերաբերյալ ենթադրության դեպքում որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_Հ = \prod_{i=1}^{n} P_i \,, \qquad (10.1)$$

որտեղ՝ P_i-ն i-րդ ենթահամակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունն է:

Ենթադրենք հայտնի է յուրաքանչյուր ենթահամակարգի անխափան աշխատանքի հավանականության կախումը որևիցե մեթոդով պահուստավորված միացության տարրերի թվից՝ այսինքն՝ հայտնի է $P_i(x_i)$ ֆունկցիան, որտեղ x_i-ն պահուստային տարրերի քանակն է:

Համաձայն բանաձև (10.1)-ի, համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը որոշվում է որպես.

$$P(x) = \prod_{i=1}^{n} P_i(x_i) \,, \tag{10.2}$$

որտեղ՝ $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$:

Հաշվի առնելով (10.2) առնչությունը, հուսալիության օպտիմալ խնդիրները կարելի է մաթեմատիկորեն ձևակերպել հետևյալ ձևով.

$$\begin{cases} \max\limits_{x_i} P(x) = \prod\limits_{i=1}^{n} P_i(x_i), \\ C(x) \le C^* \text{ կամ } W(x) \le W^* \text{ կամ } G(x) \le G^*, \end{cases} \tag{10.3}$$

$$\begin{cases} \min\limits_{x_i} C(x) \text{ կամ } \min\limits_{x_i} W(x) \text{ կամ } \min\limits_{x_i} G(x), \\ \prod\limits_{i=1}^{n} P_i(x_i) \ge P^*, \end{cases} \tag{10.4}$$

որտեղ՝ $C(x)$-ը, $W(x)$-ը, $G(x)$-ը համապատասխանաբար համակարգի արժեքի, քաշի և չափի կախվածություններն են x վեկտորից, իսկ C^*-ն, W^*-ն և G^*-ն այդ ֆունկցիաների տրված արժեքներն են, P^*-ն՝ համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականության տրված արժեքն է:

Օպտիմալ պահուստավորման առաջադրված խնդիրները կարելի է լուծել մի քանի մեթոդներով: Դրանցից ամենապարզը հնարավոր տարբերակների դիտարկման մեթոդն է: Այդ մեթոդի էությունն այն է, որ քննարկվում են x վեկտորի հնարավոր այն արժեքները, որոնք առաջին խնդրի դեպքում բավարարում են ա) պայմանին, իսկ երկրորդ խնդրի դեպքում՝ բ) պայմանին: Այնուհետև x վեկտորի թույլատրելի արժեքներից ընտրվում է այն $x_{\text{օպտ.}}$ վեկտորը, որի դեպքում առաջին խնդրի համար $P(x)$-ը լինի առավելագույնը, իսկ երկրորդ խնդրի համար $C(x)$-ը լինի նվազագույնը:

Հարկ է նշել, որ չնայած իր պարզությանը, քննարկվող մեթոդը հաշվարկների ծավալի կտրուկ մեծացման պատճառով հնարավոր չէ կիրառել մեծ թվով ենթահամակարգերից բաղկացած համակարգերի դեպքում:

Ընդհանուր դեպքում հուսալիության առաջադրված խնդիրների լուծման նպատակով ներկայումս հաջողությամբ օգտագործվում են գործույթների հետազոտման մի շարք մեթոդներ՝ Լագրանժի անորոշ բազմապատկիչների դասական մեթոդը, ուռուցիկ և դինամիկ ծրագրավորման մեթոդները:

Քննարկենք առաջին խնդրի լուծումը մշտական, ըստ տարրերի պահուստավորման դեպքում, Լագրանժի անորոշ բազմապատկիչների մեթոդով: Այդ դեպքում համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը, արժեքը, քաշը և չափերը որոշվում են ստորև բերված առնչություններով.

$$\begin{cases} P(x) = \prod_{i=1}^{n} \left[1-(1-P_i)^{x_i}\right] & (10.5) \\ C(x) = \sum_{i=1}^{n} C_i x_i, \quad W(x) = \sum_{i=1}^{n} W_i x_i, \; G(x) = \sum_{i=1}^{n} G_i x_i & (10.6) \end{cases}$$

Այդ դեպքում (10.3) խնդիրը կձևակերպվի հետևյալ կերպ.

$$\begin{cases} \max P(x) = \prod_{i=1}^{n} \left[1-(1-P_i)^{x_i}\right] \\ C(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i C_i \le C^* \end{cases} \qquad (10.7)$$

Այս տեսքով խնդիրն անալիտիկորեն լուծելը գործնականորեն հնարավոր չէ: Պարզեցնենք $P(x)$-ի արտահայտությունը՝ փոխարինելով այն մոտավոր արտահայտությամբ և դնելով հետևյալ լրացուցիչ պայմանը՝

$$\max\left\{q_i^{x_i}\right\} << \frac{1}{n}, \qquad (10.8)$$

$$P(x) = \prod_{i=1}^{n} (1-q_i^{x_i}) = 1 - \sum_{i=1}^{n} q_i^{x_i} \; : \qquad (10.9)$$

Այդ դեպքում ընդունելով, որ $P(x)$-ը անընդհատ ֆունկցիա է և երկու անգամ դիֆերենցելի, խնդիրը լուծելու համար կիրառենք Լագրանժի անորոշ բազմապատկիչների մեթոդը: Այդ դեպքում խնդիրը վերածվում է $(n+1)$ անհայտով $(n+1)$ հավասարումների համակարգի լուծմանը:

$P(x)$ ֆունկցիայի համար Լագրանժի ֆունկցիան կգրվի հետևյալ տեսքով.

$$1-\sum_{i=1}^{n} q_i^{x_i} - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} C_i x_i - C^*\right), \tag{10.10}$$

(10.10) ֆունկցիայի մաքսիմումը գտնելու համար դիֆերենցենք այն ըստ x_i-ի և λ-ի.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial x_i}\left[1-\sum\limits_{i=1}^{n} q_i^{x_i} - \lambda\left(\sum\limits_{i=1}^{n} C_i x_i - C^*\right)\right]=0, & (10.11) \\ \sum\limits_{i=1}^{n} C_i x_i - C^* = 0: & (10.12) \end{cases}$$

Դիֆերենցումից հետո (10.11) հավասարումներից յուրաքանչյուրը ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$-q_i^{x_i}\ln q_i - \lambda C_i = 0 \Rightarrow q_i^{x_i} = \frac{\lambda C_i}{-\ln q_i} = \lambda a_i, \tag{10.13}$$

որտեղ՝ $a_i = -\dfrac{C_i}{\ln q_i}$, այստեղից՝

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i}\ln \lambda a_i = \frac{1}{\ln q_i}\ln\lambda + \frac{1}{\ln q_i}\ln a_i : \tag{10.14}$$

x_i-ն տեղադրելով (10.12)-ի մեջ և պարզեցնելով՝ կստանանք.

$$\sum_{i=1}^{n} C_i\left(\frac{\ln\lambda}{\ln q_i} + \frac{\ln a_i}{\ln q_i}\right) = C^* \tag{10.15}$$

$$-\ln\lambda\sum_{i=1}^{n} a_i - \sum_{i=1}^{n} a_i \ln a_i = C^*,$$

որտեղից՝

$$\ln\lambda = -\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n} a_i}\left(C^* + \sum_{i=1}^{n} a_i \ln a_i\right) \tag{10.16}$$

Տեղադրելով $\ln\lambda$-ի ստացված արտահայտությունը (10.12)-ի մեջ՝ կստանանք

$$x_i = -\frac{1}{\ln q_i}\left[\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} a_i}\left(C^* + \sum_{i=1}^{n} a_i \ln a_i\right) - \ln a_i\right] \tag{10.17}$$

2.Այժմ նույն պայմանների դեպքում լուծենք (10.4) խնդիրը, որի մաթեմատիկական դրվածքն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{cases} \min C(x) = \min\limits_{x_i} \sum_{i=1}^{n} C_i x_i, \\ \sum_{i=1}^{n} q_i^{x_i} = Q^*, \end{cases} \tag{10.18}$$

որտեղ՝ $Q^* = 1 - P^*$ (համակարգի խափանման հավանականության տրված արժեքն է):

$C(x)$ ֆունկցիայի համար կազմենք Լագրանժի ֆունկցիան և դիֆերենցենք այն ըստ x_i-ի.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\sum_{i=1}^{n} C_i x_i + \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} q_i^{x_i} - Q^*\right)\right]: \tag{10.19}$$

Դիֆերենցման արդյունքում կստանանք հետևյալ հավասարումների համակարգը.

$$\begin{cases} C_i + \lambda q_i^{x_i} \ln q_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} q_i^{x_i} = Q^* \end{cases} \tag{10.20}$$

Առաջին հավասարումից որոշվում է.

$$q_i^{x_i} = -\frac{C_i}{\ln q_i} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{a_i}{\lambda}: \tag{10.21}$$

Այդ դեպքում երկրորդ հավասարումը ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{Q^*}: \tag{10.22}$$

Տեղադրելով λ-ի արժեքը (10.21)-ի մեջ և լուծելով ստացված հավասարումը x_i-ի նկատմամբ՝ կստանանք

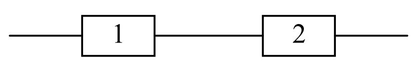
$$x_i = -\frac{1}{\ln q_i}\left(\ln \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{Q^*} - \ln a_i \right):$$

11.ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՆՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Հուսալիության հաշվարկի և հետազոտման անալիտիկական մեթոդները արդյունավետ կերպով կիրառվում են համեմատաբար պարզ համակարգերի համար՝ դրանց նախագծման փուլերում անհրաժեշտ մոտավոր, կողմնորոշիչ հաշվարկների ժամանակ: Ժամանակակից բարդ համակարգերի, մասնավորապես ԱՀ-երի հուսալիության ու գործունեության արդյունավետության գնահատումը և համակողմանի հետազոտումը հիմնականում իրականացվում է հավանականային (վիճակագրական) մոդելավորման մեթոդով: Այս մեթոդը, որը հաշվողական տեխնիկայի բուռն զարգացման շնորհիվ վերջին տասնամյակներում լայն կիրառում է ստացել, ներկայումս համարվում է բարդ համակարգերի հետազոտման ամենաարդյունավետ, իսկ որոշ դեպքերում գործնականորեն միակ մեթոդը:

Քննարկենք հուսալիության գնահատման և հետազոտման նպատակով նմանակային մոդելավորման կիրառման հատկանշական առանձնահատկությունները հետևյալ պարզագույն օրինակով:

Դիցուք տրված է երկու՝ ըստ հուսալիության հաջորդաբար միացված տարրերից բաղկացած համակարգ:



Նկ.24 *Համակարգի ըստ հուսալիության կառուցվածքը*

1-ին տարրի անխափան աշխատանքի ժամանակը բաշխված է α և β պարամետրերով Վեյբուլի օրենքով, իսկ 2-րդինը՝ μ և σ պարամետրերով նորմալ օրենքով.

$$F_1(t) = 1 - e^{-\alpha t^{\beta}} ,$$

$$F_2(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt :$$

Պահանջվում է որոշել համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը տրված t ժամանակի համար և անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը:

Սկզբում դրված խնդիրը փորձենք լուծել անալիտիկ մոդելավորման մեթոդով:

Համաձայն խնդրի պայմանի, տարրերից յուրաքանչյուրի անխափան աշխատանքի հավանականությունն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$P_1(t)=1-F_1(t)=e^{-\alpha \cdot t^{\beta}},$$

$$P_2(t)=1-F_2(t)=1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}dt:$$

Համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականությունը՝ խափանումների անկախության պայմանի դեպքում որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P_h(t)=P_1(t)P_2(t)=e^{-\alpha \cdot t^{\beta}}\int_0^t\left(1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}\right)dt, \qquad (11.1)$$

իսկ անխափան աշխատանքի միջին ժամանակը՝ որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$T_h=\int_0^{\infty}P_h(t)dt=\int_0^{\infty}\left[e^{-\alpha t^{\beta}}\int_0^t\left(1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t-\mu)}{2\sigma^2}}\right)dt\right]dt: \qquad (11.2)$$

Դրված խնդրի անալիտիկական լուծումը լուրջ դժվարություն է ներկայացնում ենթաինտեգրալային արտահայտությունների բարդության պատճառով:

Այժմ դիտարկենք առաջադրված խնդրի լուծումը վիճակագրական նմանակային մոդելավորման մեթոդով: Այդ նպատակով նախապես քննարկենք դրված խնդրի լուծումը վերը նկարագրված համակարգի n նմուշների բնական վիճակագրական փորձարկումների միջոցով, որի ընթացքում արձանագրվում է փորձակվող յուրաքանչյուր i-րդ նմուշի խափանման t_i պահը: Փորձարկումները շարունակվում է մինչև վերջին նմուշի խափանումը: Համակարգի n նմուշների անխափան աշխատանքի ժամանակների $\{t_i : i=\overline{1,n}\}$ բազմությունից առանձնացնենք նրա այն ենթաբազմությունը՝ $\{t_k : k=\overline{1,m}\}$, որի t_k տարրերը մեծ են կամ հավասար տրված t ժամանակի արժեքից:

Եթե փորձարկվող համակարգի նմուշների թիվը բավականաչափ մեծ է, ապա բավարար ճշտությամբ ստորև բերված հայտնի բանաձևերով կարելի է որոշել $P_h(t)$ և T_h մեծությունների վիճակագրական գնահատականները.

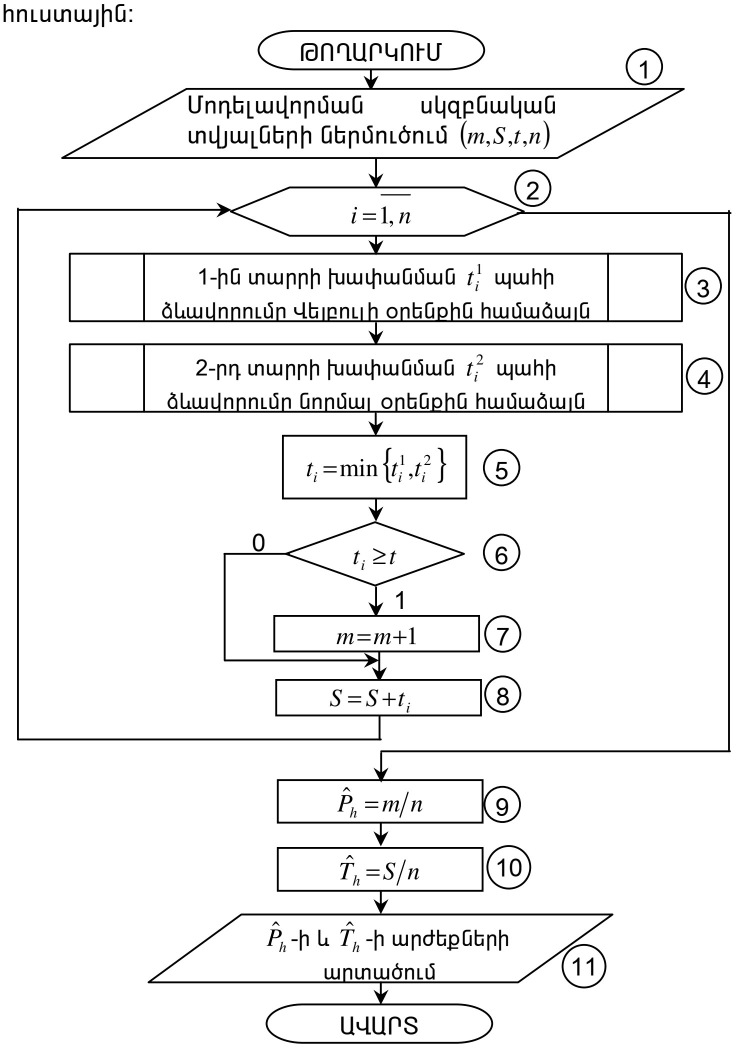
$$\hat{P}_h(t)=\frac{m}{n}, \qquad \hat{T}_h=\sum_{i=1}^{n}\frac{t_i}{n}:$$

Դրված խնդրի լուծման համար նախատեսված հավանականային նմանակային մոդելը մոդելավորում է նկարագրված վիճակագրական փորձարկումների գործընթացին նման մի ձևայնացված գործընթաց, որի մոդելավորող ալգորիթմի բլոկ-սխեման բերված է նկ. 25-ում:

Մոդելավորող ալգորիթմը գործում է հետևյալ կերպ. ալգորիթմի թողարկումից հետո 1-ին օպերատորը համակարգի i-րդ նմուշի խափանման $t_i>t$ պահերի քանակը հաշվառող m փոփոխականին և n նմուշների խափանման պահերի (անխափան աշխատանքի ժամանակի) ընդհանուր գումարը հաշվառող S փոփոխականին վերագրում է 0, իսկ t փոփոխականին՝ որոշակի արժեքներ: 2-րդ օպերատորը կազմակերպում է 3-8 օպերատորների $i=\overline{1,n}$ ցիկլային աշխատանքը: 3-րդ և 4-րդ օպերատորները ձևավորվում են 1-ին և 2-րդ տարրերի անխափան աշխատանքների t_i^1 և t_i^2 ժամանակահատվածները i-րդ նմուշի փորձարկման ընթացքում, 5-րդ օպերատորը որոշում է համակարգի i-րդ նմուշի անխափան աշխատանքի t_i ժամանակահատվածը՝ որպես $\min\{t_i^1,t_i^2\}$, 6-րդ օպերատորը ստուգում է այդ ժամանակահատվածի տրված t-ից մեծ լինելու պայմանը, և պայմանի կատարման դեպքում ավելացնում է $[0,t]$ ժամանակահատվածում համակարգի անխափան աշխատած նմուշների թիվը հաշվառող m փոփոխականի արժեքը 1-ով, իսկ 8-րդ օպերատորը ավելացնում է անխափան աշխատանքի ընդհանուր ժամանակի գումարը հաշվառող S փոփոխականի արժեքը t_i-ով: Համակարգի n նմուշների փորձարկումների ավարտից հետո 9-րդ և 10-րդ օպերատորները որոշում են $[0,t]$ ժամանակահատվածում համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականության $\hat{P}$ և անխափան աշխատանքի միջին ժամանակի $\hat{T}$ գնահատականները, իսկ 11-րդ օպերատորը իրականացնում է դրանց արտածումը և կառավարումը փոխանցում մոդելավորման ավարտն ապահովող օպերատորին:

Քննարկված մոդելավորող ալգորիթմը կարող է օգտագործվել համակարգի անխափան աշխատանքի հավանականության՝ $P_h(t)$ ֆունկցիայի աղյուսակավորման համար, եթե 6 և 7 օպերատորները փոխարինվեն $P_h(t)$ ֆունկցիայի հիստագրի կառուցումն իրականացնող օպերատորներով:

Այժմ քննարկենք համանման խնդիր պահուստավորված միացության դեպքում: Ենթադրենք 1-ին տարրը հիմնական է, 2-րդը` պահուստային:



Նկ. 25 *Համակարգի փորձարկումների ձևայնացված գործընթացի մոդելավորող ալգորիթմի բլոկ-սխեմա*

Դժվար չէ համոզվել, որ 5-րդ օպերատորը մշտական պահուստավորման դեպքում որոշվում է համակարգի անխափան աշխատանքի ժամանակը` $t_i$-ին որպես $\max\{t_i^1, t_i^2\}$, իսկ փոխարինումով պահուստավորման դեպքում` որպես $(t_i^1 + t_i^2)$ գումար:

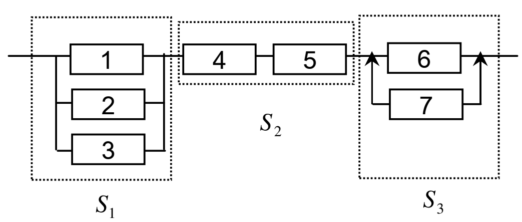
Քննարկվող օրինակներում վիճակագրական նմանակային մոդելավորումը հանգում է հետևյալին.

ա) 1-ին և 2-րդ տարրերի անխափան աշխատանքի ժամանակների բաշխման օրենքներին համապատասխան խափանումների առաջացման վիճակագրական փորձարկումների գործընթացի բազմակի վերարտադրում,

բ) ըստ տրված հայտանիշի համակարգի խափանումների առաջացման արձանագրում, այսինքն` մոդելավորման ընթացքում վիճակագրական տվյալների կուտակում: 1-ին խնդրի դեպքում համակարգի խափանումների առաջացման հայտանիշը` 1-ին կամ 2-րդ կամ էլ 2 տարրերի միաժամանակյա խափանումն է, իսկ 2-րդ խնդրի դեպքում` երկու տարրերի միաժամանակյա խափանումն է,

գ) մոդելավորման ընթացքում կուտակված տվյալների մշակում` կիրառական վիճակագրության բանաձևերի օգնությամբ:

Ընդհանուր դեպքում 5-րդ օպերատորի կողմից իրականացվող գործողությունը որոշելու նպատակով անհրաժեշտ է կազմել ըստ հուսալիության համակարգի կառուցվածքային սխեման, որն ընդունված է անվանել համակարգի հուսալիության մոդելավորման կառուցվածքային սխեմա, տրոհել այն զուգահեռ և հաջորդական կառուցվածքներ պարունակող մասերի և աստիճանաբար խոշորացնելով` ստանալ համակարգի անխափան աշխատանքի ժամանակի կախվածությունը տարրերի անխափան աշխատանքի ժամանակներից նկարագրող առնչությունը, որը և իրականացնում է 5-րդ օպերատորը: Օրինակ` ենթադրենք հետազոտվող համակարգի հուսալիության մոդելավորման կառուցվածքային սխեման ունի նկ. 26-ում պատկերված տեսքը`



Նկ. 26 *Համակարգի ըստ հուսալիության կառուցվածքային սխեման*

Անխափան աշխատանքի ժամանակը S_1 միացության համար որոշվում է $t_i^{1,2,3}=\max\{t_i^1,t_i^2,t_i^3\}$, S_2 միացության համար՝ $t_i^{4,5}=\min\{t_i^4,t_i^5\}$ և S_3 միացության համար՝ $t_i^{6,7}=t_i^6+t_i^7$ առնչություններով: Այսպիսով, համաձայն կառուցվածքային սխեմայի, համակարգի անխափան աշխատանքի ժամանակների $t_i^k\left(k=\overline{1,7}\right)$ հիման վրա ողջ համակարգի անխափան աշխատանքի ժամանակի որոշման ալգորիթմը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$t_i=\min\{t_i^{1,2,3},t_i^{4,5},t_i^{6,7}\}=\min\{\max\{t_i^1,t_i^2,t_i^3\},t_i^4,t_i^5,\left(t_i^6+t_i^7\right)\}:$$

Քննարկված պարզագույն օրինակների ընդհանրացումը թույլ է տալիս առանձնացնել հուսալիության մոդելավորման հասկացությունները, բնութագրական առանձնահատկությունները, մոդելավորման փուլերը և մոդելի բաղադրամասերը: Համառոտակի քննարկենք դրանց էությունը և դերը:

Մոդելավորման կառուցվածքային սխեման՝ համակարգի աշխատունակության տրամաբանական պայմանների (ֆունկցիայի) գրաֆիկական ներկայացումն է: Ի տարբերություն համակարգի աշխատունակության տրամաբանական ֆունկցիայի, մոդելավորման կառուցվածքային սխեման կարող է ընդգրկել կրկնվող տարրեր:

Մոդելավորման կառուցվածքային սխեման հիմք է ծառայում տարրերի խափանված և աշխատունակ վիճակների հիման վրա համակարգի խափանված և աշխատունակ վիճակների որոշման համար, որը և իրականացնում է մոդելավորող ալգորիթմի 5-րդ օպերատորը:

Ընդհանուր դեպքում հուսալիության մոդելավորող ալգորիթմն իրականացնում է հետևյալ գործողությունները.

1.Համակարգի տարրերի վիճակների հաստատում անխափան աշխատանքի և վերականգնման ժամանակների բաշխման օրենքների համաձայն:

2.Մոդելային իրադարձությունների (խափանում, վերականգնում և այլն) հերթի հաստատում դրանց առաջացման ժամանակի պահերի վերաբերյալ ինֆորմացիայի հիման վրա:

3.Առաջնային իրադարձությունների՝ տարրերի խափանումների և վերականգնումների հետևանքով առաջացած համակարգային արդյունարար իրադարձությունների վերլուծություն: Օրինակ, տարրերի միաժամանակյա խափանումների արդյունքում համակարգի խափանման փաստի արձանագրում:

4. Համակարգի մոդելավորման արդյունքների մշակում՝ հուսալիության ցուցանիշների որոշում, հիստագրերի կառուցումը և այլն:

Անհրաժեշտ է նկատի ունենալ, որ վիճակագրական նմանակային մոդելավորման արդյունքում որոնվող մեծությունների գնահատականները որոշվում են որոշակի սխալով, որը ինչպես բնափորձերի դեպքում, պայմանավորված է մոդելավորվող պատահական գործընթացի իրացումների n թվի սահմանափակությամբ: Ինչպես հայտնի է «Համակարգերի մոդելավորման» դասընթացից, իրացումների թիվը, որոնվող մեծությունների ճշտությունը և հավաստիությունը միմյանց հետ կապված են հետևյալ կերպ: Ճշտության բարձրացումը, այսինքն վստահելի միջակայքի նեղացումը՝ հավաստիության տրված հավանականության դեպքում, պահանջում է իրացումների թվի ավելացում: Վստահելի հավանականության բարձրացումը՝ ճշտության, այսինքն վստահելի միջակայքի, պահպանման դեպքում նույնպես պահանջում է իրացումների թվի ավելացում, ինչը կհանգեցնի մեքենայական ժամանակի աճին: Այդ պատճառով անհրաժեշտ է ձգտել ճշտության և հավաստիության լավագույն փոխզիջման:

Այդպիսի փոխզիջման արդյունքում ձևավորված պահանջներից են.

1.Իրացումների սահմանափակությամբ պայմանավորված միջին քառակուսային սխալը չպետք է գերազանցի այլ գործոններով պայմանավորված միջին քառակուսային սխալի կեսը:

2.Որոնվող P հավանականությունը չպետք է գերազանցի հետևյալ սահմանները.

$$P=\hat{P}\pm 2\sqrt{\frac{\hat{P}\left(1-\hat{P}\right)}{n}},$$

կամ $$\varepsilon^2=\left(P-\hat{P}\right)^2=\frac{4\hat{P}\left(1-\hat{P}\right)}{n}, \qquad (11.3)$$

որտեղ՝ $\hat{P}$-ն պատահարի հաճախությունն է (վիճակագրական գնահատականը), ε-ը P հավանականության $\hat{P}$ գնահատականի որոշման դեպքում թույլ տրված սխալն է: Այդ դեպքում իրացումների պահանջվող $n_{պ}$ թիվը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$n_{պ}=\frac{4\hat{P}\left(1-\hat{P}\right)}{\varepsilon_{թ}^2}, \qquad (11.4)$$

որտեղ՝ $\varepsilon_{թ}$-ն $\hat{P}$-ի որոշման թույլատրելի սխալն է:

3.n իրացման արդյունքում $\tilde{x}$ պատահական մեծության որոնվող $M[\tilde{x}]$ մաթեմատիկական սպասումը չպետք է գերազանցի հետևյալ սահմանները (վստահելի միջակայքը).

$$M[\tilde{x}]=\bar{x}\pm 2\sigma_x/\sqrt{n},$$

կամ $$\varepsilon^2 = \left(M\left[\tilde{x}\right] - \bar{x}\right)^2 = \frac{4\sigma_x^2}{n}\text{:} \qquad (11.5)$$

որտեղ՝ $\bar{x}$-ը n իրացումների արդյունքում որոշված $M\left[\tilde{x}\right]$-ի վիճակագրական գնահատականն է, իսկ ε-ը նրա որոշման ժամանակ թույլ տրված սխալը: Այդ դեպքում, տրված $\varepsilon_{\text{թ}}$ թույլատրելի սխալի համար պահանջվող իրացումների $n_{\text{պ}}$ թիվը որոշվում է հետևյալ բանաձևով. $$n_{\text{պ}} = 4\sigma_x^2 \cdot \varepsilon_{\text{թ}}\text{:} \qquad (11.6\ )$$

Հուսալիության նմանակային մոդելավորման գործնական փորձը ցույց է տալիս, որ որպես հետազոտման մեթոդ, այն ունի ստորև նշված արժանիքները:

1.Հնարավորություն է ընձեռում հետազոտել ցանկացած բարդության համակարգերի հուսալիությունը, արդյունավետությունը՝ հաշվի առնելով բազմաթիվ գործոնների համակողմանի ազդեցությունը:

2.Անհրաժեշտություն չի ծագում կազմել տարրերի հուսալիությունից համակարգի հուսալիության կախումը նկարագրող անալիտիկական արտահայտություններ:

3.Հնարավորություն է ընձեռում հեշտորեն հաշվի առնել հետազոտվող համակարգի տարրերի անխափան աշխատանքի ժամանակի և վերականգնման ժամանակի զանազան բաշխման օրենքներ:

4.Հնարավոր է որոշել հուսալիության ցուցանիշների ոչ միայն միջին արժեքները, այլ նաև դիսպերսիաների ու դրանց վստահելի միջակայքերը, հավանականային բնութագրերի ֆունկցիաների վիճակագրական գնահատականները (հիստագրերը):

5.Հնարավորություն է տալիս հետևել համակարգի խափանումների առաջացման և վերականգնումների գործընթացին:

Նշված առավելությունների հետ մեկտեղ հուսալիության վիճակագրական նմանակային մոդելավորումն ունի մոդելավորման այդ մեթոդին բնորոշ թերությունները.

1.Պահանջում են բավականին բարձր որակավորում ունեցող, նմանակային մոդելավորման, ալգորիթմների մշակման և ծրագրերի կազմման ոլորտում մեծ փորձ ու գործնական հմտություն ունեցող մասնագետներ:

2.Պահանջում է արդիական արագագործ և բազմապրոցեսորային հաշվողական տեխնիկա՝ նմանակային մոդելի քոմփյութերային իրականացման համար:

3.Նույնիսկ արագագործ արդիական հաշվողական տեխնիկայի կիրառման պարագայում հետազոտման բարձր ճշտություն ապահովելու համար պահանջում է զգալի մեքենայական ժամանակ:

Այդուհանդերձ բարդ համակարգերի մոդելավորման և հուսալիության հետազոտման այլ մեթոդների համադրումն ու վերլուծությունը թույլ են տալիս եզրակացնելու, որ վիճակագրական մոդելավորումը՝ համակցված հետազոտման անալիտիկական մեթոդների հետ, ներկայումս ԱՀ-երի հուսալիության ամենաարդյունավետ և հեռանկարային համարվող մեթոդն է:

12.ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾԱԿԱՆ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ

ԱՀ-երի հուսալիությունը էապես կախված է նրանց շահագործման կազմակերպումից: Շահագործման փուլում ԱՀ-երի հուսալիության վրա ազդող կարևորագույն գործոններն են.

- կանխարգելիչ սպասարկման պարբերականությունը և խորությունը,
- պահեստամասերի, նյութերի և գործիքների որակը և բավարարությունը,
- շահագործման հրահանգների հիմնավորվածությունը և լրիվությունը,
- սպասարկող անձնակազմի որակավորումը և շահագործման հրահանգների կատարման ճշտությունը,
- սպասարկման կազմակերպումը (օպերատորների ընտրությունը, վարժանքը, աշխատակարգը և այլն):

12.1 ԿԱՆԽԱՐԳԵԼԻՉ ՍՊԱՍԱՐԿՈՒՄ

Կանխարգելիչ (պրոֆիլակտիկ) սպասարկումը՝ խափանումների հավանականության նվազմանը ուղղված կանխարգելիչ միջոցառումների, տեխնիկական զննումների, կարգաբերումների, լարքի, լրակազմող տարրերի փոխարինման համակարգ է: Այն իրականացվում է խափանումների առաջացման կանխարգելման և շահագործման ընթացքում վերահսկող միջոցներով չհայտնաբերվող կամ շահագործման ընթացքում ծագած, թաքնված խափանումների բացահայտման նպատակով:

Կանխարգելիչ սպասարկման պլանավորման ընթացքում լուծվում է երկու հարց՝ կապված սպասարկման պարբերության և սպասարկման ընթացքում կատարվող զննումների ցանկի որոշման հետ: Կանխարգելիչ միջոցառումների ազդեցությունը հուսալիության ցուցանիշների վրա նկարագրող անալիտիկական արտահայտությունների բացակայության պատճառով, կանխարգելիչ միջոցառումների պլանավորումը, դրանց ժամկետների, ծավալի, բովանդակության որոշումը իրականացվում է շատ մոտավոր բանաձևերի օգնությամբ:

Կանխարգելիչ սպասարկման ռազմավարությունը, որը մշակվում է ԱՅ-երի խափանումների և վերականգնումների օրինաչափությունների վերաբերյալ ունեցած նախնական, մոտավոր տեղեկությունների հիման վրա, պետք է ճշգտրվի դրանց շահագործման ընթացքում ստացված վիճակագրական տվյալների օգնությամբ: Կանխարգելիչ միջոցառումների ժամկետները և ստուգման ենթակա հանգույցների, բլոկների ցանկը անհրաժեշտ է որոշել՝ ելնելով խափանումների բնույթից: Եթե խափանումները տեղի են ունենում նույն ուժգնությամբ և կրում են ակնթարթային բնույթ, ապա անիմաստ է աշխատող մեքենամասերը և հանգույցները փոխարինել նորով, քանի որ փոխարինումը որոշ դեպքերում կարող է հանգեցնել նույնիսկ հուսալիության նվազման: Այս դեպքում կանխարգելման միջոցառումները պետք է ուղղված լինեն հուսալիության վրա բացասաբար ազդող միջավայրային և այլ գործոնների ազդեցության չեզոքացմանը:

Եթե խափանումները կրում են աստիճանական բնույթ՝ այսինքն հետևանք են մաշվածության, ծերացման և պարամետրերի աստիճանական փոփոխության, ապա ԱՅ-ի հուսալիությունը կարելի է էապես բարձրացնել՝ իրականացնելով նրա բլոկների, հանգույցների, բաղադրամասերի և մեքենամասերի պլանային փոխարինում: Եթե ճշգրտորեն հայտնի են դրանց ծառայության ժամկետները, ապա փոխարինումն անհրաժեշտ է իրականացնել ծառայության թույլատրելի ժամկետի սահմաններում: Հակառակ դեպքում անհրաժեշտ է շահագործման ընթացքում կուտակված վիճակագրական տվյալների հիման վրա, ելնելով պարամետրերի կրիտիկական արժեքների մեծությունից, որոշել հանգույցների և բլոկների փոխարինման կոնկրետ ժամկետները:

Այսպիսով, կանխարգելիչ միջոցառումների պլանավորման ռազմավարության մշակումը էապես կախված է ԱՅ-երի խափանումների բնույթից, հուսալիությանը ներկայացվող պահանջներից և տնտեսական նպատակահարմարությունից:

Սարքավորման կանխարգելիչ սպասարկումը կարող է կազմակերպվել աշխատակարգային (ռեգլամենտային), օրացուցային և համակցված:

Աշխատակարգային սպասարկման դեպքում, կանխարգելիչ միջոցառումներն իրականացվում են այն ժամանակ, երբ համակարգի պարամետրերը հասնում են որոշակի ռեգլամենտավորված ցուցանիշների: Սպասարկման այս տեսակը կիրառվում է այն դեպքերում, երբ հայտնի է աշխատունակության ու տեխնիկական որոշ պարամետրերի (հոսանքի լարման, ուժի, դիմադրության, ունակության, ինդուկցիայի և այլն) միջև կապը:

Եթե ԱՅ-ի աշխատունակությունը որոշվում է նրա պահպանման կամ շահագործման ժամանակով, ապա անկախ նրա վիճակից, որոշակի օրացուցային ժամկետներում իրականացվում է օրացուցային կանխարգելիչ սպասարկում:

Գործնականում աշխատունակության կախումը ԱՅ-ի տեխնիկական պարամետրերից և օգտագործման ժամկետներից սովորաբար կամ հայտնի չի լինում, կամ էլ շատ մոտավոր բնույթ է կրում: Այդ պատճառով լայն կիրառում է գտել համակցված կանխարգելիչ սպասարկման մեթոդը: Կանխարգելիչ սպասարկման ճիշտ կազմակերպումը էապես կախված է վերահսկվող պարամետրերի ընտրությունից:

Քննարկենք ռեգլամենտային և օրացուցային սպասարկման դեպքում վերահսկվող պարամետրերի ընտրության վերաբերյալ հանձնարարականներ: Պարամետրերի ընտրությունը կատարվում է համակարգի կողմից իրականացվող $F_1, F_2, \ldots, F_K$ գործառույթների վերլուծությունից: Ընդհանուր դեպքում համակարգի R աշխատունակությունը՝ որպես պատահար, ներկայացվում է որպես $F_1, F_2, \ldots, F_K$ գործառույթների՝ այսինքն՝ տարրական պատահարների, արտադրյալով.

$$R = F_1 \wedge F_2 \wedge \ldots \wedge F_K : \tag{12.1}$$

Իր հերթին յուրաքանչյուր F_i գործառույթի իրականացումը բարդ պատահար է, որը որոշվում է որպես $C_1, C_2, \ldots, C_n$ պատահարների արտադրյալ՝

$$F_i = C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots \wedge C_n , \tag{12.2}$$

որտեղ՝ C_i-ն պարամետրի թույլատրելի սահմաններում գտնվելու պարամետր է:

Յուրաքանչյուր պարամետրի թույլատրելի սահմաններում գտնվելը կախված է մեկ կամ մի քանի տարրերի աշխատունակությունից:

Պարամետրերի վերահսկման առկայության դեպքում համակարգում տրված t ժամանակահատվածում անսարքությունների բացակայության հավանականությունը, որոշվում է որպես՝

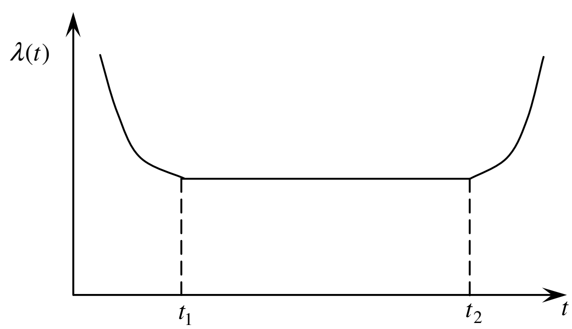
$$P(t) = \prod_{i=1}^{m} P_i \prod_{j=1}^{n} P_j \tag{12.3}$$

որտեղ՝ P_i-ն տրված t ժամանակամիջոցում վերահսկվող i-րդ տարրի անսարքության որոնման և նրա աշխատունակության վերականգնման հավանականությունն է, իսկ P_j-ն t ժամանակամիջոցում j-րդ չվերահսկվող պարամետրի՝ թույլատրելի սահմաններից դուրս չգալու հավանականությունն է:

Վերահսկելի պարամետրերի ընտրման դիտարկված պարզագույն դեպքի հիմքում ընկած գաղափարը կարելի է ընդհանրացնել և կիրառել բարդ համակարգերի համար:

Համառոտակի այդ գաղափարի էությունը այն է, որ վերահսկելի պարամետրերի և տարրերի ընտրությունը պետք է իրականացվի օպտիմալ ուղղությամբ, այսինքն, որոշակի հերթականությամբ՝ հաշվի առնելով յուրաքանչյուր ստուգման արդյունքում ստացված տեղեկատվությունը:

Օրացուցային սպասարկումը իրականացվում է խափանումների ծագման օրինաչափությունների հետազոտման հիման վրա: Դիցուք ԱՅ-ի խափանումների ուժգնությունը, որը որոշվել է նրա շահագործման ընթացքում ստացված տվյալների մշակման արդյունքում, ժամանակից կախված ունի նկ. 27-ում բերված տեսքը:



Նկ. 27 *ԱՅ-ի շահագործման ընթացքում խափանումների ուժգնության փոփոխության գրաֆիկը*

Ինչպես հայտնի է, $\lambda(t)$-ի գրաֆիկը բաժանվում է երեք միջակայքի $[0;t_1)$, $[t_1,t_2]$ և $[t_2,\infty[$:

$[0;t_1)$ տեղամասում խափանումների նվազումը պայմանավորված է համակարգի փորձարկման միջոցով թաքնված, գործարանային թերությունների բացահայտմամբ և թրեյնինգով, $[t_1,t_2]$ տեղամասում, որտեղ բացակայում են մաշվածության և ծերացման երևույթները, t-ն ենթարկվում է ցուցչային բաշխման: $[t_2,\infty[$ միջակայքում գերակշռում են մաշվածության և ծերացման երևույթները: Այս միջակայքում t-ն ենթարկվում է նորմալ բաշխման: Ակնհայտ է, որ հուսալիության ապահովմանն ուղղված կանխարգելիչ սպասարկումը պետք է իրականացնել սկսած t_1 պահից: Քանի որ $[t_1, t_2]$ միջակայքում t-ն ենթարկվում է ցուցչային բաշխման, ապա կանխարգելիչ սպասարկման իրականացման $t_{կս}$ պահը նպատակահարմար է որոշել` ելնելով խափանման հավանականության թույլատրելի $q_{թ}$ արժեքից, այսինքն` հետևյալ պայմանից (տես նկ.22).

$$q = 1 - e^{\lambda t_{կս}} \le q_{թ}$$

որտեղից` $t_{կս} \le -\ln(1 - q_{թ})/\lambda$ (12.4)

$t > t_2$ միջակայքում, որտեղ t-ն սովորաբար ենթարկվում է նորմալ բաշխման, կանխարգելիչ սպասարկման իրականացման $t_{կս}$ պահը որոշվում է կրկին ելնելով $q_{թ}$ արժեքից.

$$q = 1 - e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma(t)}} \le q_{թ}: \qquad (12.5)$$

Քանի որ (12.5) անհավասարությունը անալիտիկորեն հնարավոր չէ լուծել, ապա $t_{կս}$ մեծությունը որոշվում է ԱՅ-ի մինչև մաշվածքային խափանման միջին T ժամանակի և միջին քառակուսային $\sigma(t)$ շեղման միջոցով` հետևյալ բանաձևով.

$$t_{կս} = T - n\sigma(t), \qquad (12.6)$$

որտեղ` $n$-ը $q_{թ}$-ից կախված, աղյուսակավորված մեծություն է (տես` աղյ.12.1):

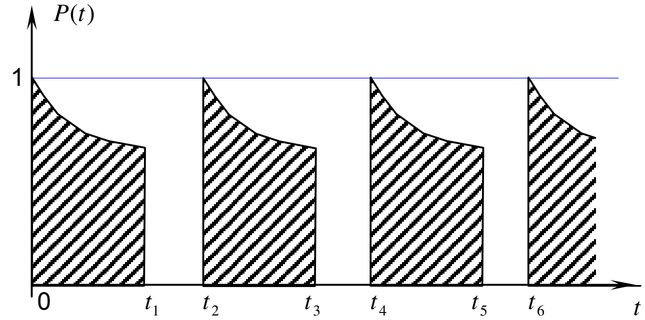
Աղյուսակ 12.1 *n-ի կախումը $q_{թ}$-ից*

$q_{թ}$	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2
n	2.53	2.32	6.05	1.96	1.88	1.75	1.64	1.55	1.48	1.4	1.34	1.28

Կանխարգելիչ սպասարկման օպտիմալ պլանավորմանն ուղղված համապիտանի (ունիվերսալ) հանձնարարականներ չկան: Որոշ դեպքերում նպատակահարմար է միշտ միևնույն ժամկետում իրականացնել ամբողջ համակարգի սպասարկումը: Այլ դեպքերում նպատակահարմար է իրականացնել համակարգի առանձին տարրերը և բլոկները` ապահովելով համակարգի անընդհատ աշխատանքը, թեկուզ և նրա ոչ լրիվ կազմով:

Եթե ԱՅ-ի գործառութային խնդիրների կատարմանը հատկացվում է որոշակի ժամանակ, ապա կանխարգելիչ սպասարկումը պետք է պլանավորել համակարգի կողմից իրականացվող գործառույթների ընդմիջման ժամանակահատվածներում:

Պարզագույն դեպքում, երբ կանխարգելիչ միջոցառումների արդյունքում հաջողվում է հայտնաբերել բոլոր անսարքությունները, ԱՅ-ի կանխարգելիչ սպասարկման ազդեցության հետևանքով նրա անխափան աշխատանքի հավանականության՝ $P(t)$-ի փոփոխությունը կարելի է ներկայացնել նկ.28-ում բերված տեսքով.



Նկ. 28 $P(t)$ *-ի փոփոխության գրաֆիկը կանխարգելիչ սպասարկման դեպքում*

Այդ դեպքում սպասարկման ավարտի t_2, t_4, t_6 պահերին համակարգի $P(t)$-ի արժեքը մոտենում է 1-ին:

Յարկ է նշել, որ ընդհանուր կանխարգելիչ սպասարկման իրականացումը, որը զգալի ծախսեր է պահանջում, նվազեցնում է համակարգի գործունեության արդյունավետության բնութագրի տեխնիկական օգտագործման գործակցի արժեքը, իսկ մյուս կողմից բարձրացնում է հուսալիությունը՝ վերականգնելով նրա լրիվ աշխատունակությունը և կանխարգելելով որոշ խափանումներ: Կանխարգելիչ սպասարկման ազդեցությունը համակարգի գործառութային հուսալիության վրա կարելի է ներկայացնել հետևյալ բանաձևով.

$$R(t)=\mathrm{K}_{\text{տօ}}(t)\cdot P(\Delta t), \tag{12.7}$$

որտեղ՝ $R(t)$-ն $[0, t]$ ժամանակահատվածում համակարգի կողմից տրված գործառույթները կատարելու հավանականությունն է, $\mathrm{K}_{\text{տօ}}(t)$-ն $[0, t]$ միջակայքում իրականացված կանխարգելիչ սպասարկման արդյունքում ապահովված համակարգի տեխնիկական օգտագործման գործակցի արժեքն է, $P(\Delta t)$-ն $[t, t+\Delta t]$ ժամանակահատվածում համակարգի կողմից տրված գործառույթի կատարման հավանականությունն է: Ընդ որում՝

$$t=t_{\text{կս}}+\Delta t\ ,$$

$$K_{\text{տօ}}(t)=\Delta t/t\ ,$$

որտեղ՝ $t_{\text{կս}}$-ը սպասարկման տևողությունն է:

Որքան փոքր է Δt-ն և մեծ է կանխարգելիչ սպասարկման տևողությունը, այնքան փոքր է $K_{\text{տօ}}$ գործակիցը և մեծ է $P(\Delta t)$ հավանականությունը:

Սովորաբար $K_{\text{տօ}}$-ի արժեքը դժվարություն չի ներկայացնում, քանի որ $t_1,t_2,t_3...$ ժամանակի պահերը տրվում են կանխարգելիչ սպասարկման պլանավորման դեպքում: $P(\Delta t)$-ի արժեքի որոշումը պահանջում է հատուկ ուսումնասիրություններ: Առաջին մոտավորությամբ, ԱՅ-ի նորմալ շահագործման փուլում ($[t_1,t_2]$ ժամանակահատվածում) $P(\Delta t)$-ն կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$P(\Delta t)=e^{-\lambda_0\Delta t}\ , \qquad (12.8)$$

որտեղ՝ λ_0-ն տվյալ ծավալով իրականացված կանխարգելիչ սպասարկման արդյունքում ապահովված խափանումների ուժգնությունն է, իսկ Δt-ն՝ ըստ նշանակության համակարգի օգտագործման տևողությունն է:

Բանաձև (12.8)-ով $P(\Delta t)$-ի որոշման դժվարությունը պայմանավորված է λ_0-ի փոփոխությամբ, որի բնույթը ոչ միշտ է հնարավոր կանխատեսել:

Ըստ վերը քննարկված պարզագույն օրինակի, ԱՅ-երի կանխարգելիչ միջոցառումներն ունեն իրենց և՛ դրական, և՛ բացասական կողմերը: Սպասարկող անձնակազմի անհարկի միջամտությունը ԱՅ-երի գործունեությանը կարող է հանգեցնել ոչ թե խափանումների ուժգնության նվազմանը, այլ նրա աճին:

Գործնականում հաճախ պահանջվում է կանխարգելիչ սպասարկում իրականացնել ոչ թե ամբողջ համակարգի, այլ նրա առանձին տարրերի կամ ենթահամակարգերի նկատմամբ: Նման դեպքում անհրաժեշտ է ստեղծել անընդհատ գործող ծրագրային կամ ապարատային վերահսկման այնպիսի համակարգ, որը կարողանա ապահովել ինչպես համակարգի վիճակի բավականանչափ խոր անընդհատ հսկողություն, այնպես էլ խափանված տարրերի արագ վերականգնում: Ակնհայտ է, որ նման համակարգի առկայության պարագայում կանխարգելիչ սպասարկման խնդիրները կտրուկ նվազում են, և սպասարկման հիմնական նպատակը ոչ թե խափանումային իրավիճակների որոշումն է, այլ կանխարգելիչ միջոցառումների իրականացումը (ռեսուրսը սպառած տարրերի հեռացում, կարգաբերում, լարք և այլն):

12.2 ԱՅ-ԵՐԻ ՊԱՀԵՍՏԱՄԱՍԵՐԻ ԹՎԱՔԱՆԱԿԻ ՊԼԱՆԱՎՈՐՈՒՄ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿ

Շահագործման ընթացքում ԱՅ-երի բնականոն գործունեության ապահովման նպատակով անհրաժեշտ է համալրել համակարգը պահուստային գործիքներով, պահեստամասերով և փոխարինվող կոմպլեկտավորող բաղադրամասերով (տարրերով, հանգույցներով, բլոկներով և այլն): Նշված հավաքածուն ընդունված է անվանել պահուստային գործիքներ և բաղադրամասեր կամ համառոտ` ՊԳԲ: Պահեստամասերի թվաքանակը կախված է խափանումների ուժգնությունից (λ) ՊԳԲ-ի համալրման ժամանակից (t_h), վերականգնման աստիճանից և մատակարարման կազմակերպումից: Ակնհայտ է, որ ինչքան մեծ է λ-ն և t_h-ն, այնքան մեծ է ԱՅ-ի շահագործման ընթացքում պահանջվող պահեստամասերի թիվը: Խափանումների պուասոնյան հոսքի դեպքում, որը դիտվում է անխափան աշխատանքի ժամանակի կամ հարևան խափանումների միջև աշխատանքի ժամանակի բաշխման ցուցչային օրենքի ժամանակ, m խափանումների հանդես գալու հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_m(t)=\frac{(\lambda t)^m}{m!}e^{-\lambda t} \tag{12.9}$$

(12.9)-ի հիման վրա t ժամանակամիջոցում K-ից ոչ ավել խափանումների հանդես գալու հավանականությունը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$P_{m\le K}(t)=\sum_{m=0}^{K}\frac{(\lambda t)^m}{m!}; \tag{12.10}$$

Հետևապես հավանականությունը, որ t ժամանակամիջոցում տեղի ունեցող խափանումների թիվը մեծ կլինի K-ից, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_{m>K}(t)=1-P_{m\le K}(t)=\sum_{K+1}^{\infty}\frac{(\lambda t)^m}{m!}e^{-\lambda t}; \tag{12.11}$$

Սովորաբար, $P_{m>K}(t)$ արժեքները տրվում են աղյուսակով: Պահեստամասերի բավարարության աստիճանը չափվում է այն բանի հավանականությամբ, որ խափանված տարրերի քանակը մեծ կլինի ՊԳԲ-ում առկա պահեստամասերի քանակից: Օրինակ, եթե ՊԳԲ-ում առկա է 2 տարր, իսկ t_h ժամանակահատվածում երկուսից ավելի խափանումների հավանականությունը 0,1 է, ապա ՊԳԲ-ի բավարարության աստիճանը կկազմի 0,9-ը: Գործնականում ապահովվում է բավարարության աստիճանի 09-ից մինչև 0,99-ի հավասար արժեք:

Այժմ դիտարկենք պահեստամասերի քանակի հաշվարկը չվերականգնվող օբյեկտների դեպքում, որի խափանումների հոսքը պուասոնյան է: Այս դեպքում ՊԳԲ-ում մշտապես պետք է գտնվեն այնպիսի թվով փոխարինող պահեստամասեր, որոնք բավարար տրված հավանականությամբ ապահովեն համակարգի աշխատանքը ՊԳԲ-ի համալրման տրված t_h ժամանակահատվածում:

Այսպիսով, պահեստամասերի թվի հաշվարկի համար անհրաժեշտ սկզբնական տվյալներն են. փոխարինվող բաղադրամասերի խափանումների ուժգնությունը՝ λ_0, համակարգում փոխարինվող բաղադրամասերի թիվը՝ N, ՊԳԲ-ի համալրման ժամանակը՝ t_h և ՊԳԲ-ի բավարարության հավանականությունը $P_{\text{բ}}$:

Պահեստամասերի թվի որոշումը իրականացվում է հետևյալ հերթականությամբ.

1. Որոշվում է համակարգի գումարային խափանումների ուժգնության և t_h-ի արտադրյալը.

$$\lambda_\Sigma \cdot t_h = \lambda_0 \cdot N \cdot t_h$$

2.Որոշվում է t_h ժամանակամիջոցում $i=0,1,2,\ldots,m$ խափանումների առաջացման հավանականությունը հետևյալ բանաձևով.

$$P_i(t_h)=\frac{(\lambda_\Sigma t_h)^i}{i!}e^{-\lambda_\Sigma t_h}, \; i=0,1,2,\ldots,m$$

3.Հաշվարկվում է t_h ժամանակամիջոցում K-ից ոչ պակաս թվով խափանումների առաջացման հավանականությունը.

$$P_{m\le K}(t_h): \qquad (12.12)$$

4.Որոշվում է t_h ժամանակահատվածում K-ից ավելի խափանումների առաջացման հավանականությունը, որպես

$$P_{m>K}(t_h)=1-P_{m\le K}(t_h):$$

5.Դասավորում են $P_{m>K}(t_h)$ հավանականությունները նվազման կարգով և, ելնելով $P_{m>K}(t_h)$-ի արժեքից, ընտրում պահեստամասերի նվազագույն K թվաքանակ, որի դեպքում ՊԳԲ-ի անբավարարության հավանականությունը՝ $P_{աբ}=1-P_{բ}$, փոքր լինի տրվածից:

Օրինակ, դիցուք համակարգի համար $\lambda_{\Sigma}\cdot t_{h}=3$: Կազմենք հետևյալ աղյուսակը.

Աղյուսակ 12.2.

K	5	6	7	8	9	10
$P_{m>K}$	0.185	0.084	0.034	0.012	0.004	0.001

Ենթադրենք ՊԳԲ-ի բավարարության տրված հավանականությունը՝ $P_{բ}=0{,}99$ $\left(P_{աբ}=1-0{,}99=0{,}01\right)$: Աղյուսակից անկհայտորեն երևում է, որ տրված հավանականությունից փոքր հավանականություն ապահովվում է $K=8$-ից մեծ արժեքների դեպքում: Հետևապես $K\geq 9$, որը և ապահովում է $P_{աբ}<0{,}01$ պայմանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1.Р б, н, н Н.А., Лог, коверо тностные методы , сследован, надежност, структурно—сложных с, стемх — Мх Рад, о , св зь, 1984х

2хНеч, поренко ВхИх, С2рук2урный анал, з с, с2емх — Совхрад, о, 1987х

3хПоловко АхМх Основы 2еор, , надежнос2, х— МхНа3ка, 1964, 446 сх

4хПоловко АхМх, Мал, ков ИхМх Сборн, к задач по 2еор, , надежнос2, х — Мх Совхрад, о, 1972 — 406 сх

5хДр3ж, н, н ГхВх Надежнос2ь ав2ома2, з, рованных с, с2емх — Мх Энерг, , 1977—536 сх

6хЮхГх3арен, н, МхДх3быркo, БхПх Креденцер , дрх Надежнос2ь , эффек2, внос2ь АСУэ — К, ев: Теэн, ка, 1975ф 368сэ

7эЛзПзГлаз3нов, ВзПзГрабовецк, й, ОзВзЩербаковэ Основы 2еор, , надежнос2, ав2ома2, ческ, э с, с2ем 3правлен, э — Лэ Энергоа2ом, зда2, 1984ф 208сэ

8зНадежноЯ2ь АСУ /Под редэ ЯэАзХе2аг3рова/э — МэВ/ Яша школа, 1979э

9зУшаков ИзАэ, Ме2од/ , ЯЯледован, эффек2, вноЯ2, ф3нкц, он, рован, 2еэн, чеЯк, э Я, Я2емэф Мэ Знан, е, 1976э

10зГэАзГол, нкев, чэ Пр, кладна 2еор, надежноЯ2, э — Мэ В/ Яша школа, 1985ф 168Яэ

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

	Առաջաբան	3
	Ներածություն	4
1.	**Հուսալիության տեսության հիմնական հասկացությունները և սահմանումները**	6
1.1	Համակարգ և տարր	6
1.2	Հուսալիության հասկացությունը և սահմանումը	6
2.	**Հուսալիության որակական ցուցանիշները**	8
2.1	Անխափանությունը, վերանորոգելիությունը, երկարակեցությունը և պահպանելիությունը որպես հուսալիության որակական բնութագրեր	8
2.2	Ինֆորմացիայի հավաստիությունը	9
3.	**Հուսալիության քանակական ցուցանիշները**	10
3.1	Անխափան աշխատանքի հավանականություն	10
3.2	Խափանումների հաճախականություն	13
3.3	Խափանումների միջին հաճախականություն	15
3.4	Խափանումների ուժգնություն	15
3.5	Անխափան աշխատանքի միջին ժամանակ	17
3.6	Հարևան խափանումների միջև անխափան աշխատանքի միջին ժամանակ	19
3.7	Պատրաստականության գործակից	20
	Ամփոփում	22
4.	**Հուսալիության տեսության մեջ օգտագործվող բաշխման օրենքները**	22
4.1	Ցուցչային օրենք	23
4.2	Վեյբուլի օրենք	26
4.3	Հատած-նորմալ բաշխման օրենք	27
4.4	γ-բաշխման օրենք	28
4.5	Պուասոնի օրենք	29
5.	**ԱՀ-ի հուսալիության վրա ազդող գործոնները և պահուստավորման եղանակները**	30
5.1	Հուսալիության վրա ազդող գործոնները	30
5.2	Ծրագրային գործոններ	31
5.3	Շահագործման գործոններ	33
5.4	Պահուստավորումը ավտոմատացված համակարգերում	34
6.	**Ավտոմատացված համակարգերի հուսալիության հաշվարկի տեսական հիմունքները և ճարտարագիտական մեթոդները**	38
6.1	Համակարգերի հուսալիության հաշվարկը հավանականությունների տեսության կիրառությամբ	39
6.1.1	Չվերականգնվող օբյեկտի հուսալիության հաշվարկը հավանականությունների անմիջական հաշվման մեթոդով	39
7.	**Վերականգնելի համակարգերի հուսալիության հաշվարկը**	47

մարկովյան շղթաների տեսության կիրառությամբ
7.1 Վերականգնելի համակարգերի հուսալիության հաշվարկը տարրերի հիմնական միացության դեպքում 52
7.2 Վերականգնվող համակարգերի հուսալիության հաշվարկը ընդհանուր մշտական պահուստավորման դեպքում 54
7.3 Վերականգնվող համակարգերի հուսալիության հաշվարկը ընդհանուր փոխարինումով պահուստավորման դեպքում 55
8. Համակարգի հուսալիության հաշվարկի տրամաբանահավա-նականային մեթոդը 55 57
8.1 Հուսալիության հաշվարկի տրամաբանական հիմունքները 57
8.2 Տրամաբանահավանականային մեթոդով հուսալիության հաշվարկի մեթոդիկան 59
9. Բարդ համակարգերի հուսալիության և արդյունավետության հաշվարկի մեթոդները 61
9.1 Բարդ կառուցվածք ունեցող համակարգերի հուսալիության հաշվարկը տրամաբանահավանականային մեթոդով 61
9.2 Բարդ համակարգերի գործունեության արդյունավետության գնահատումը 64
10. Հուսալիության օպտիմալացում 67
11. Ավտոմատացված համակարգերի հուսալիության գնահա-տումը և հետազոտումը նմանակային մոդելավորման մեթոդով 72
12. Ավտոմատացված համակարգերի շահագործողական հուսալիության հիմնական հարցերը 80
12.1 Կանխարգելիչ սպասարկում 80
12.2 ԱՀ-երի պահեստամասերի թվաքանակի պլանավորում և հաշվարկ 87
Գրականություն 90