

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті

М. А. Джаманбаев

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ СЕНІМДІЛІГІ

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі оқу құралы ретінде
ұсынған

Алматы 2014

ЖОК 621.311(075.8)
ББК 31.2.я73
Ж24

Ж 24 Джаманбаев М. А. Электр энергетика жүйелерінің сенімділігі: Оқу құралы.
– Алматы: ҚазҰТУ, 2014. – 165 б.

Сурет – 61. Кесте – 28. Библиогр. тізімі – 16 атау.

ISBN 978-601-228-602-1

«Электр энергетика жүйелерінің сенімділігі» пәніне арналған оқу құралында қарастырылған мәселелер: ықтималдылық теориясынан және математикалық статистикадан қысқаша мағлұматтар; сенімділік теориясында кездесетін негізгі терминдер мен анықтамалар; қалыпқа келтірілмейтін және қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділік көрсеткіштері; күрделі жүйелердің сенімділігін есептеу тәсілдері; сенімділік сынақтарының түрлері, сынақ жоспарлары және жүйелерді сенімділік сынақтарынан өткізу; эксплуатациялық сенімділіктің негізгі мәселелері.

Сонымен қатар, оқу құралында теориялық материалдарды нысықтауға арналған практикалық жаттығулар мен статистикалық өңдеу жұмыстарын орындауға арналған тапсырмалар қарастырылған.

Оқу құралы электр энергетика мамандығы бойынша оқитын студенттер мен магистранттарға арналған. Сонымен қатар, оқу құралы сенімділік мәселелерімен айналысып жүрген басқа да мамандықтардың студенттері мен магистранттарының білімдерін жетілдіруге ықпал етеді.

ЖОК 621.311(075.8)
ББК 31.2.я73

Пікір жазғандар:

Шакенов Қ.Қ. – физ-мат. ғыл. докт., профессор, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

Хисаров Б.Ж. – техн. ғыл. канд., профессор, АЭЖБУ;

Хидолда Е. – техн. ғыл. канд., доцент, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2014 жылғы жоспары бойынша басылды

ISBN 978-601-228-602-1

© Джаманбаев М.А., 2014
© ҚазҰТУ, 2014 ж.

КІРІСПЕ

Техникалардың дамуы әдетте олардың сенімділігімен өте тығыз байланысып жатыр. Қазіргі таңда күрделі жүйелердің пайда болуларына байланысты, сенімділік ғылымының мәртебесі одан ары арта түскендігі белгілі.

Сенімділік ғылымы – техникалық жүйелердің істен шығу себептерін, істен шығу оқиғаларының таралу заңдылықтарын, сенімділікті бағалау және есептеу тәсілдерін, сонымен қатар жүйелерді сенімділік сынағынан өткізу мәселелері мен олардың сенімділіктерін жоғарылату жолдарын қарастыратын ғылым.

Жүйелердің сенімділігін зерттеудің алғашқы қадамы 20 ғасырдың 50 жылдары басталды десек те болады /7/. Зерттеудің негізінде радиоэлементтердің сенімділігі туралы статистикалық деректерді жинақтау және қарапайым радиоэлектрондық құрылғылардың сенімділігін есептеуге арналған қарапайым теңдеулерді құру жатты.

Сенімділік ғылымының дамуы түрлі бағыттарда жүрді. Бұл бағыттардың негізгілеріне жататындары:

- Сенімділік теориясының математикалық негіздерін жетілдіру;
- Сенімділік туралы статистикалық деректерді жинақтау және оларды өңдеу тәсілдерін дамыту. Мұндай қадамның нәтижесінде сенімділіктің статистикалық теориясының негізі қаланды;
- Сенімділіктің физикалық теориясының дамуы. Бұл бағытта істен шығу оқиғаларының физикалық себеп-салдарына көп көңіл бөлінді (материалдардың физикалық қартаюы, беріктілік теориясы т.с.с. факторлар).

Бұл орайда, сенімділік ғылымына Совет ғалымдары өздерінің зор үлестерін қосты. Атап айтсақ, академиктер А.И. Берг және Н.Г. Бруевич сенімділік мәселелерінің негізін қалаушылардың бірі болды. Сенімділіктің математикалық теориясының дамуына академик Б.В. Гнеденко, А.Д. Соловьев және Ю.К. Беяев өз үлестерін қосты. Совет ғылымы ордасының корреспондент мүшесі Б.С. Сотсков өзінің шәкірттерімен сенімділіктің физикалық теориясын дамытты.

Қазіргі таңда сенімділік ғылымы түрлі салаларда кеңінен қолдана бастады. Солардың ішінде электр энергетикалық жүйелердің сенімділігін айтуға болады. Сенімділік ғылымын түрлі салаларда қолдану сенімділіктің қолданбалы теориясының дамуына әкеп соқты.

Электр энергетикалық жүйелердің негізгі атқаратын функциясы – тұтынушыларға дер кезінде, сапалы түрде және қажетті мөлшерде электр

қуатын жеткізу болып табылады. Әдетте жүйелер жұмыстарына кері әсер етуші түрлі қозу факторлардың нәтижесінде, жүйе өзіне тиесілі міндетті қажетті деңгейде атқара бермейді. Осыған орай, қазіргі кезде электр энергетикалық жүйелердің сенімділігін жоғарылатудың көптеген тәсілдері пайда болды. Мысалға:

- Қысқа тұйықталудың алдын ораушы түрлі релелік қорғауыштар;
- Автоматты түрде қайталап қосу құрылғылары;
- Резервтегі жүйені (элементті) автоматты түрде іске қосу;
- Жиіліктің, қуаттың, кернеудің күрт өзгерулерінен сақтандырушы түрлі қорғауыш құрылғылар;
- Жылу электр станциясындағы генераторды автоматты синхронизациялау және автоматты түрде жіберу – тоқтату операциялары;
- Желі сымдарына қатқан мұзды қысқа тұйықтау тогымен еріту т.с.с.

Әдетте энергожүйелердің бірігуі жүйелі түрде орын алатын апаттардың үлесін жоғарылатады. Сонымен қатар, үлкен энергожүйелерді басқару процестері де күрт қиындап кетеді. Сондықтан, істен шығу оқиғаларының алдын орау шараларын ұйымдастыру және жүйелердің басқаруға бейімділігін арттыру үлкен жүйелер сенімділігінің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

Электр энергетика жүйелер сенімділігінің қолданбалы теориясының дамуы көптеген пәндерге тәуелді болып келеді. Солардың ішінде – «Электр тораптары мен жүйелері», «Энергетикалық жүйелердің режимдері», «Электр жүйелеріндегі өтпелі процестер», «Энергетикадағы экономия», «Өнеркәсіпті ұйымдастыру, басқару және жоспарлау» пәндерін атап өтуге болады.

1. ЫҚТИМАЛДЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНАН ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ СТАТИСТИКАДАН ҚЫСҚАША МАҒЛҰМАТТАР

1.1. Оқиғалар және олардың ықтималдылықтары

Кездейсоқ құбылыстардың заңдылығын зерттейтін математикалық ғылымды – *ықтималдылық теориясы* деп атайды. Төменде ықтималдылық теориясы ғылымында кездесетін негізгі анықтамалар мен түсініктемелер келтірілген.

Элементар оқиға деп, әрбір тәжірибе кезінде орын алатын фактілерді (нәтижелерді) айтамыз. Мысалға, монетаны лақтыру кезіндегі гербтің (Г) немесе цифрдің (Ц) түсулері. Элементар оқиғалардың барлық жиынтығы толық оқиғалар кеңістігін құрайды. Тәжірибе кезінде оқиғалар кеңістігінде ең болмағанда бір элементар оқиға орын алады.

Оқиға деп, қандайда бір қойылатын талаптарды немесе шарттарды қанағаттандыратындай тәжірибе нәтижелерін айтады. Мысалға, монетаны үш рет қайталап тастау кезіндегі гербтің үш рет пайда болуы $A = \{ГГГ\}$, немесе цифрдің екі рет пайда болулары $A = \{ГЦЦ, ЦГЦ, ЦЦГ\}$.

Ақиқат оқиғалар деп, кез келген тәжірибеде міндетті түрде орын алатын оқиғаларды айтады. Мысалға, алты қырлы ойын тасын тастау кезіндегі 1- санынан кем емес ұпайлардың орын алуы.

Мүмкін емес оқиғалар деп, тәжірибе кезінде еш уақытта орын алмайтын оқиғаларды айтады. Мысалға, алты қырлы ойын тасын бір рет тастау кезіндегі 7- ұпайдың түсуі.

Қарама-қарсы оқиғалар деп, A – оқиғасы орындалған жағдайдағы,

$\bar{A}$ оқиғаның орындалмауын түсінеміз. Әдетте A және $\bar{A}$ оқиғалары толық оқиғалар кеңістігін Q құрайды, яғни

$$A + \bar{A} = Q$$

Тәуелді (тәуелсіз) оқиғаларда, бір оқиғаның орын алуы екінші оқиғаның орын алуына әсерін тигізеді (тигізбейді).

Егерде A оқиғасының ықтималдылығын $P(A)$ деп белгілесек, онда оқиғалар ықтималдылықтарының мәндері:

Ақиқат оқиғалар үшін $P(A) = 1$

Мүмкін емес оқиғалар үшін $P(A) = 0$

Қарама-қарсы оқиғалар үшін $P(A) + P(\bar{A}) = 1$

Оқиғалар қосындысының ықтималдылықтары

A және B оқиғаларының қосындысы $(A + B)$ деп, ең болмағанда бір оқиғасының орын алуын түсінеміз. Бұл түсінікті оқиғалар саны екіден көп болған жайда да қолдануға болады. Мысалға, ойын тасының жұп санды ұпайларының - 2 немесе 4 немесе 6 пайда болуы үш оқиғаның қосындысы ретінде қарастыруға болады.

Егер бір оқиғаның орындалуы екінші оқиғаның орындалу мүмкіндігіне бөгет жасамаса, онда мұндай оқиғалар қосындысының ықтималдылығы жалпы түрде келесі формуламен анықталады:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i,j} P(A_i A_j) + \sum_{i,j,k} P(A_i A_j A_k) - \dots \\ \dots + (-1)^{n-1} P(A_i A_j A_k \dots A_n) \quad (1.1.1)$$

мұндағы A_i – элементар оқиғалар.

Мысалға, A, B және A, B, C оқиғалары үшін ықтималдылық былайша есептеледі:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

$$P(A + B + C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(A) P(B) P(C)$$

Егер бір оқиға екінші оқиғаның орындалу мүмкіндігін туғызбаса (яғни, тәжірибе кезінде екі оқиға бір мезетте орындалмаса), онда мұндай оқиғалар ортақ элементтері жоқ жиынтықтарға жатады да, ықтималдылығы келесі формуламен анықталады:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad (1.1.2)$$

Мысалға, A, B және A, B, C оқиғалары үшін ықтималдылық былайша есептеледі:

$$P(A + B) = P(A) + P(B)$$

$$P(A + B + C) = P(A) + P(B) + P(C)$$

A және B оқиғаларының көбейтіндісі (AB) деп, екі оқиғаның да орын алуларын түсінеміз. Мысалға, екі монетаны лақтыру кезіндегі бірінші монетадағы гербтің пайда болуы A оқиғасы десек, ал екінші монетадағы гербтің пайда болуы B оқиғасы десек, онда AB оқиғасы деп, гербтің екі монетада да пайда болу оқиғасын түсінеміз. Бір мезетте орындалмайтын оқиғалар мүмкін емес оқиғаларды құрайды да, оқиғалар көбейтіндісі – нөлге тең.

Ықтималдылықтарды көбейту формуласы

Өзара тәуелді оқиғалар үшін

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = P(AB) = P(A_1) P(A_2/A_1) P(A_3/A_1 A_2) \dots P(A_n/A_1 A_2 \dots A_{n-1}) \quad (1.1.3)$$

мұндағы $P(A_2/A_1)$ – шартты ықтималдылық (A_1 және A_2 оқиғалары өзара тәуелді). Шартты ықтималдылық деп, A_1 оқиғасы орындалған жағдайдағы A_2 оқиғасының орын алу ықтималдылығын түсінеміз.

Төменде 2 – оқиға үшін ықтималдылықтардың көбейтіндісі келтірілген.

$$P(AB) = P(A) P(B/A) = P(B) P(A/B)$$

Тәуелсіз оқиғалар үшін

$$P(B/A) = P(B)$$

Сондықтан, тәуелсіз оқиғалар көбейтіндісінің ықтималдылығы келесі формуламен анықталады:

$$P(AB) = P(A) P(B)$$

Жалпы жағдайда

$$P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (1.1.4)$$

мұндағы – A_i тәуелсіз оқиғалар

Бақылау сұрақтары.

1. Элементар оқиға мен оқиғаның араларындағы ерекшелік.
2. Оқиғалардың қандай түрлерін білесіңдер?
3. Оқиғалар қосындысының және көбейтіндісінің ықтималдылықтарын қалайша есептейді?
3. Ықтималдылық теориясы қандай құбылысты зерттейді?

1.2. Кездейсоқ шамалар және олардың таралым заңдылықтары

Кездейсоқ шама деп, тәжірибе кезінде алынатын кездейсоқ (алдын ала білуге болмайтын) нәтижелерді (сандық мәндерді) айтады. Кездейсоқ шамалар өз кезегінде дискретті (мысалға, белгілі уақыттағы объектінің істен шығу сандары) немесе үздіксіз (мысалға, объектінің істен шыққанға дейінгі аралықтағы жұмыс істеу уақыты) болып бөлінеді.

Кездейсоқ шамалардың мәндерімен сол мәндердің орын алу ықтималдылықтарының араларындағы байланысты тағайындайтын ара қатысты *кездейсоқ шамалардың таралым заңдылығы* деп атайды. Дискретті кездейсоқ шамалар үшін таралым заңдылығын кесте көмегімен бейнелеу ыңғайлы болып келеді (1.2.1-кесте).

1.2.1-кесте

Дискретті кездейсоқ шаманың таралым кестесі

Дискретті кездейсоқ шама X	x_1	x_2		x_n
Кездейсоқ шаманың ықтималдылығы P	p_1	p_2		p_n

Әдетте

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1$$

Кездейсоқ шамалардың сипаттамалары ретінде *таралым функциясы* (таралымның интегралдық заңдылығы) және *таралым тығыздығы* (таралымның дифференциалдық заңдылығы) деген ұғымдар қолданылады.

Кездейсоқ шамалардың *таралым функциясы* $F(x)$ былайша беріледі:

$$F(x) = P(X < x) \quad (1.2.1)$$

Бұл өрнек кездейсоқ шаманың X қандай да бір x айнымалысынан кем екендігінің ықтималдылығын сипаттайды, яғни таралым функциясы ықтималдылықтардың таралым заңдылығын тағайындайды десе де болады.

Таралым функциясының қасиеттері.

$$1) \quad 0 \leq F(x) \leq 1$$

2) $F(+\infty) = 1$, себебі $X < +\infty$. Бұл оқиға шынайы оқиғасына жатады да, ықтималдылығы $P(X < +\infty) = 1$

3) $F(-\infty) = 0$, себебі $X < -\infty$ болуы мүмкін емес. Бұл оқиға мүмкін емес (орындалмайтын) оқиғасына жатады да, ықтималдылығы $P(X < -\infty) = 0$

4) Егер $x_2 > x_1$ болса, онда $F(x_2) \geq F(x_1)$, яғни таралым функциясы монотонды кемімейді.

Кездейсоқ шамалардың таралым тығыздығы $f(x)$ таралым функциясының туындысы арқылы былайша анықталады:

$$f(x) = \frac{d}{dx} F(x) \quad (1.2.2)$$

Таралым тығыздығының қасиеті: $f(x)$ функциясының минус шексіздіктен плюс шексіздікке дейінгі алып жатқан аудан мөлшері 1-ге тең:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1;$$

Сенімділік теориясында кездейсоқ шамалардың негізінен келесі таралым заңдылықтары кеңінен қолданысқа ие болған. Дискретті кездейсоқ шамалар үшін: биномиалдық заңдылық және Пуассон заңдылығы n санының биномиалдық таралу заңдылығы (m тәуелсіз сынақтағы A оқиғасының орын алуы):

$$p_m^n = C_m^n p^n (1-p)^{m-n}; \quad (1.2.3)$$

мұндағы $C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}$.

Таралым қасиеттері:

1) Оқиға саны n бүтін және оң сан;

2) Оқиға санының математикалық күтімі mp ;

3) Оқиға санының орта квадраттық ауытқуы $\sigma = \sqrt{mp(1-p)}$.

Сынақ саны ұлғайған жағдайда биномиалдық таралым қалыпты таралымға ұмтылады.

Пуассон заңдылығы – кездейсоқ оқиғаның n_i сандарының τ уақыттағы таралымы:

$$p_n(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^n}{n!} e^{-\lambda \tau} \quad (1.2.4)$$

мұндағы λ -кездейсоқ оқиға қарқыны.

Таралым қасиеттері:

1) τ уақыттағы оқиғалар санының математикалық күтімі $\lambda \tau$;

2) оқиға санының орта квадраттық ауытқуы $\sigma = \sqrt{\lambda \tau}$.

Пуассон таралымының ерекшелігі – математикалық күтім мен дисперсияның өзара теңдігі. Бұл заңдылық белгілі уақыт аралығындағы жүйеде бір, екі, үш, т.с.с. істен шығу оқиғаларының орын алу ықтималдылығын анықтауда қолданылады.

Үздіксіз кездейсоқ шамалар үшін: экспоненциалдық заңдылық, қалыпты заңдылық (Гаусс заңдылығы), Вейбулла заңдылығы, гамма – таралымы, логарифмді – қалыпты заңдылық және χ^2 таралымы кеңінен қолданылады.

Бақылау сұрақтары.

1. Кездейсоқ шамалар, кездейсоқ шамалардың таралым заңдылығы.
2. Интегралдық және дифференциалдық таралым заңдылықтарының араларындағы өзара байланыс.
3. Интегралдық және дифференциалдық таралым заңдылықтарының негізгі қасиеттері.
4. Сенімділік теориясында кездейсоқ шамалардың қандай таралым заңдылықтары кеңінен қолданысқа ие болған?

1.3. Математикалық статистика элементтері

X кездейсоқ шамасының мүмкін болатын барлық мәндерін бас жиынтық деп, n рет тәжірибе жүргізгенде пайда болған X шамасының $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ мәндерін *статистикалық қатар* деп атайды.

Қатар элементтерін өсу тәртібі бойынша орналастырғаннан кейін шыққан $X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_n$ қатарын *вариациялық қатар* деп, ал оның элементтерін *варианттар* деп атайды.

Вариациялық қатарды график түрінде кескіндеудің екі жолы бар: *полигон немесе гистограмма салу*.

Полигонды салу үшін алдын ала кесте толтырылуы қажет. Вариациялық қатардағы әртүрлі варианттарды кестенің бірінші жолына (немесе бағанға) орналастырады. Кестенің екінші жолына (немесе бағанға) қайталану сандары n_i немесе салыстырмалы жиілік ω_i жазылады:

$$\omega_i = \frac{n_i}{n} \quad (1.3.1)$$

мұндағы n_i – i -ші варианттың қайталану саны, n – тәуелсіз тәжірибелер саны. Мысал ретінде төмендегі келтірілген кестелерді алуға болады.

Қайталану санының n_i статистикалық таралым заңдылығының мысалы 1.3.1- кестеде көрсетілген.

1.3.1-кесте

Қайталану санының статистикалық таралым заңдылығы

X	x_1	x_2	x_3		x_k
n_i	n_1	n_2	n_3		n_k

мұндағы x_i – кездейсоқ шамалар

Әдетте

$$\sum_{i=1}^k n_i = n$$

Салыстырмалы жиіліктің статистикалық таралым заңдылығы 1.3.2- кестеде келтірілген

1.3.2-кесте

Салыстырмалы жиіліктің статистикалық таралым заңдылығы

X	x_1	x_2	x_3		x_k
ω_i	ω_1	ω_2	ω_3		ω_k

мұндағы

$$\sum_{i=1}^k \omega_i = 1$$

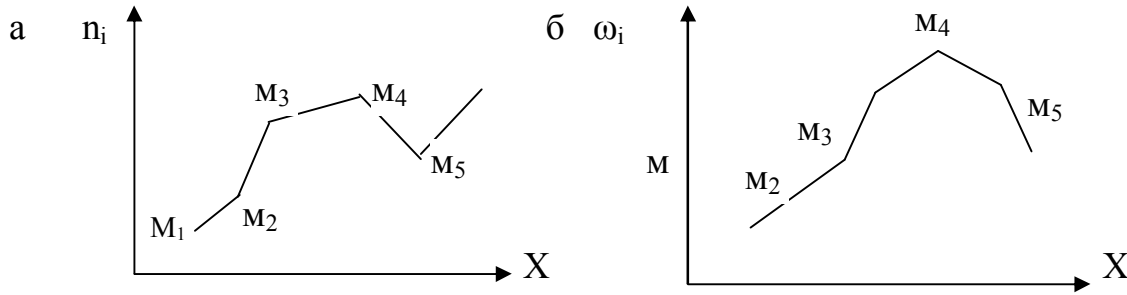
Бірінші кесте бойынша график салсақ, полигон деп аталатын фигура шығады (1.3.1а – сурет). Жиілік полигоны деп, $M_1(x_1, n_1)$,

$M_2(x_2, n_2)$ $M_k(x_k, n_k)$ нүктелерін қосатын кесінділер жиынтығын айтады.

Салыстырмалы жиілік полигоны деп, $M_1(x_1, \omega_1)$, $M_2(x_2, \omega_2)$ $M_k(x_k, \omega_k)$ нүктелерін қосатын кесінділер жиынтығын айтады (1.3.1б – сурет).

Кей жағдайларда полигонның орнына гистограмма тұрғызылады. Ол үшін алғашқы n статистикалық қатар k интервалдарға бөлінеді. Интервалдар санын жуықтап келесі формула арқылы табуымызға болады.

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg n \quad (1.3.2)$$



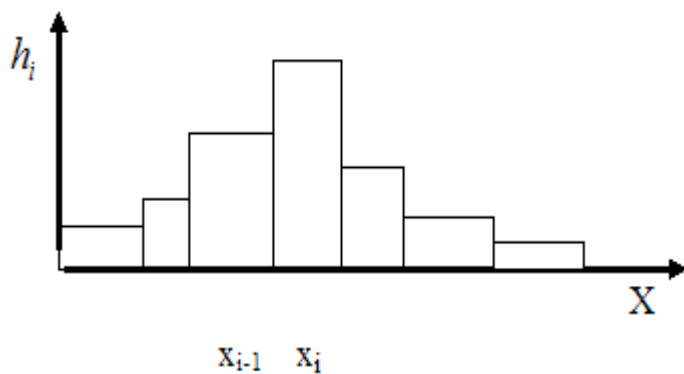
1.3.1-сурет

a – жиілік полигоны; б – салыстырмалы жиілік полигоны

Абсцисса өсіне интервалдар орналастырылып, әр интервалдарға биіктігі $h_i = \frac{n_i}{\Delta_i}$ (немесе $h_i = \frac{\omega_i}{\Delta_i}$) тең (мұндағы $\Delta_i = t_i - t_{i-1}$ интервал ұзындығы) тік төртбұрыштар тұрғызылады. Төртбұрыш ауданы жиілікті немесе салыстырмалы жиілікті береді. Гистограмма ауданы төртбұрыштар аудандарының қосындысына тең болып келеді де, сан жағынан n -ге тең, ал салыстырмалы жиілік үшін 1-ге тең. Гистограмма мысалы - 1.3.2-суретте көрсетілген.

Тәжірибені n рет жүргізгеннен кейін пайда болған $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ мәндерінің ортасы деп арифметикалық ортаны айтады. Арифметикалық ортаны $\bar{x}$ деп белгілесек, онда

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.3.3)$$



1.3.2-сурет.
Гистограммаға мысал

Таңдама элементтерінің орта шамадан қаншалықты шашырағанын сипаттау үшін дисперсия ұғымы енгізіледі. Таңдаманың дисперсиясын D әрпімен белгілейді де, мәні былайша анықталады:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 \quad (1.3.4)$$

Көп жағдайларда дисперсия мен қатар орта квадраттық ауытқу σ деген ұғым қолданылады. Дисперсия мен орта квадраттық ауытқудың араларында келесі байланыс жатыр:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (1.3.5)$$

Бақылау сұрақтары.

1. Жиілік және салыстырмалық жиілік ұғымдары.
2. Полигон және гистограмма ұғымдары.
3. Гистограмманы тұрғызу тәртібі.
4. Статистикалық қатардың арифметикалық ортасы қалай есептеледі?
5. Дисперсия ұғымы.
6. Орта квадраттық ауытқу мен дисперсия араларындағы байланыс.

1.4. Таралым туралы гипотезаны тексеру

Әдетте статистикалық таралымды аналитикалық қисықпен аппроксимациялау барысында, олардың араларында біраз алшақтық туындайды. Бұл алшақтық екі жағдайға байланысты туындауы мүмкін: өңделетін статистикалық мәліметтердің аз мөлшерде болуынан немесе алынған аппроксимациялаушы аналитикалық қисық статистикалық қатарды өте нашар сипаттайды. Пайымдалған таралым түрін тексеру келісім критерийлері арқылы жүзеге асырылады. Келісім критерийі таралымның алға тартылған гипотезаға қайшы келмейтіндігінің ықтималдылығын бағалайды. Төменде сенімділік теориясында жиірек қолданылатын критерийлер қарастырылған.

Пирсонның келісім критерийі (χ^2 – критерийі).

Бұл критерийде эмпирикалық $F^*(t)$ және теориялық $F(t)$ таралым заңдылықтарының араларындағы алшақтық дәрежесі χ^2 шамасы арқылы бағаланады. χ^2 шамасы келесі формула бойынша есептеледі.

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (1.4.1)$$

мұндағы k - интервалдар саны, n_i - i -ші интервалдағы жиілік, n – таңдаманың жалпы саны, p_i - i -ші интервалға түсудің теориялық ықтималдылығы.

Пайымдалған гипотезаны тексеру үшін, алдын ала тағайындалған сенімділік деңгейі бойынша $(1 - \alpha)$, $(k-1)$ еркіндік дәрежесіне сәйкес келетін χ_{α}^2 таралымының мәнін анықтаймыз (мұндағы α – маңыздылық деңгейі, әдетте 0,1; 0,05; 0,01; 0,001 қатарынан таңдалады, ал a – теориялық таралымдағы бағаланатын параметрлердің сандары).

$$P\{\chi_0^2 \geq \chi_\alpha^2\} = \alpha \quad (1.4.2)$$

Егер табылған нәтижелер келесі шартты $\chi^2 > \chi_\alpha^2$ қанағаттандырса, онда эмпирикалық және теориялық таралымдардың арасындағы алшақтықтың маңызы жоғары, сол себептен сәйкестік гипотезасын қолдануға болмайды деген шешім қабылданады. Бұл жағдайда, дұрыс шешімді қабылдамай тастау қателігі α мәнінен әрқашанда кіші болады. Егер келесі шарт $\chi^2 \leq \chi_\alpha^2$ орындалса, онда статистикалық мәліметтер таралымы біздің пайымдауымызға қайшы келмейді деген шешім қабылданады.

Пирсон критерийін қолдану барысында келесі шарттарды ұстану қажет.

$n_i \geq 5$ және $n \geq 50$

Колмогоровтың келісім критерийі.

Бұл критерийді қолдану барысында эмпирикалық және теориялық таралым заңдылықтарының араларындағы алшақтық дәрежесі $F^*(t_i)$ және $F(t_i)$ функцияларының араларындағы максимальдық айырым k арқылы бағаланады, яғни

$$k_i = \max | F^*(t_i) - F(t_i) | \quad (1.4.3)$$

Критерийді қолдану келесі кезеңдерден тұрады.

$F^*(t_i)$ функциясының интервалдар шекарасындағы мәндерін анықтау:

$$F^*(t_i) = \sum_1^i p_i \quad (1.4.4)$$

$F(t_i)$ функциясының интервалдар шекарасындағы мәндері аналитикалық функция арқылы анықталады.

Келесі кезеңде функциялар айырымдарының абсолюттік мәндерін есептейді. Есептелген мәндердің іштерінен максимальдық мәнді $k_{i \max}$ тауып (1.4.3 формуласы), келесі шама есептеледі $\lambda_0 = k_{i \max} \sqrt{n}$. Маңыздылық деңгейі α тағайындалған жағдайда, А қосымшасының А2 – кестесінен (Колмогоров таралымы) $p = P\{\lambda_0 \geq \lambda_\alpha\} \leq \alpha$ шартты қанағаттандыратындай λ_α мәнін табамыз. Бұл мән әдетте есептелген мәнмен λ_0 салыстырылады. Егер $\lambda_0 \leq \lambda_\alpha$ теңсіздігі орындалған жағдайда, теориялық және эмпирикалық функциялардың сәйкестігі оң шешімін тауып, қабылданады. Теңсіздік орындалмаса, гипотеза қабылданбайды.

Колмогоров критерийін қолдану барысында $n \geq 40$ шартын ұстанған жөн.

Бақылау сұрақтары.

1. Келісім критерийлерінің қолданыс аймақтары.
2. Қандай келісім критерийлерін білесіңдер?
3. Сенімділік ықтималдылығы және маңыздылық деңгейі туралы ұғымдар.

2. СЕНІМДІЛІК ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

2.1. Негізгі терминдер мен анықтамалар

Төменде сенімділік теориясында қолданылатын негізгі терминдер мен анықтамалар келтірілген /1/.

Жүйе деп – белгілі бір жұмысты атқару кезінде бір-бірімен әсерлесетін бөлшектердің жиынтығын айтады.

Жүйе бөлшектері (элементтері) деп – жүйенің дербес, одан ары жіктелмейтін, қандайда бір локальдік функцияны атқаратын құрамын айтады. Әдетте бөлшектің ішкі құрылысы зерттеу мәселесіне жатпайды. Жалпы жағдайда жүйе және бөлшек ұғымдары шартты түрдегі ұғымдар: зерттеу мақсатына қарай, бір жағдайда жүйе деп қарастырылған ұғым, басқа жағдайда жүйе бөлшегі ретінде қарастырылуы мүмкін. Мысалға, электр жүйелері үшін - генераторлар, трансформаторлар, электр энергиясын тасымалдаушы желілер т.с.с. Ал желі өз кезегінде келесі элементтерден тұрады: оқшауландырғыштар, тіректер, фундаменттер, сымдар, тростар т.с.с.

Электр жүйелерінің сенімділігі деп – жүйелердің тұтынушыларды үздіксіз сапалы электр энергиясымен қамтамасыздандыру, сонымен қатар адамдарға және қоршаған ортаға қауіпті жағдайларды туындатпау қабілеттіліктерін айтамыз.

Генерация жүйелерінің сенімділігі деп – жиіліктің нормативтік мәнінде қажетті қуат балансын ұстап тұратын электр станциясының қабілеттілігін айтамыз.

Негізгі электр жүйесінің сенімділігі деп – электр қуатын энергожүйелер араларында қуат сұраныстарына сәйкес (қуаты артық энергожүйелерден қуаты кемдерге), тұрақты (ойдағыдай) тарату қабілеттілігін айтады.

Тарату тораптарының сенімділігі деп – жүктеме тораптарын (жеке немесе топталған тұтынушылар) үзіліссіз қоректендіріп отыру қабілеттілігін айтады.

Сонымен қатар келесі түсініктемелер де кеңінен қолданыс тапқан:

Электр жүйелерінің орныққан режиміндегі сенімділігі деп – электр энергиясының нормативтік сапалығын ұстай отырып, қуат және электр энергиясының балансын әрдайым ұстап тұру қабілеттілігін айтады.

Электр жүйелерінің өтпелі процестегі сенімділігі деп – қалыпты режимнің бұзылғанына қарамастан, электр жүйелерінің және олардың жекелей құрылымдық бөліктерінің тұтынушыларды электрмен қамтамасыз ету қабілеттілігін айтады.

Сенімділік деңгейі – тұтынушыларға берілмей қалған электр энергиясының салыстырмалы мөлшерімен анықталады. Электр энергиясының тұтынушыларға жетпей қалудың негізгі себептеріне жататындары:

- апаттық жағдайлар туындағанда тұтынушылардың энергияны пайдалануына диспетчердің шектеу қоюы, немесе біржола тиым салуы;

- электр энергиясының сапалығы күрт төмендеп кетуіне байланысты, электр қондырғыларын оперативті түрде тұтынушылардан ажырату;

– электр жүйелерінің апаттық режиміндегі, немесе жиіліктің және кернеудің номиналдық мәннен ауытқуы кезіндегі апатқа қарсы автоматтардың іске қосылуы.

Сенімділік жүйенің комплекстік қасиетін сипаттайды да, келесі құрамдардан тұрады: істен шықпаушылық, ғұмырлылығы, жөндеуге икемділігі, орнықтылыққа қабілеттілігі, басқаруға икемділігі, өміршеңдігі (живучесть), сапалығы.

Электр жүйелерінің (тораптарының) істен шықпаушылығы деп – берілген уақыт интервалындағы жүйенің жұмысқа қабілеттілігін үздіксіз сақтау қасиетін айтады.

Электр жүйелерінің (тораптарының) жұмысқа қабілеттілігі деп – электр энергиясының тағайындалған параметрлері бойынша өзіне тиесілі функцияны атқару қасиетін айтады.

Электр жүйелерінің (тораптарының) ғұмырлылығы деп – жүйе өзінің жұмыстық қабілеттілігін шекті күйге түскенше (қажетті техникалық қызмет көрсету және жөндеу мерзімдерін қосып есептегенде) сақтап қалу қасиетін айтады. *Жүйенің шекті күйі* деп, жүйені одан ары қолдану тиімді емес немесе мүмкін болмайтын күйді айтады. Жүйе шекті күйге түскен мезетте, оған түпкілікті жөндеу жүргізу қажет немесе қолданыстан мүлде алып тастау керек.

Жүйе ғұмырлылығы техникалық жабдықтардың ғұмырлылығына және жүйелердің моральдық қартаюға бейімділігіне тәуелді боп келеді. Ғұмырлылықтың көрсеткіштері ретінде *қор (ресурс)* және *қызмет мерзімі (срок службы)* алынады.

Қор деп, жүйенің жұмыстық қабілетінің сақталу уақытының мөлшерін (түрлі профилактикалық үзілістерді қосып есептегенде) айтады.

Қызмет уақыты деп, жүйенің шекті күйге түскенге дейінгі эксплуатациялау мерзімінің ұзақтығын айтады. Эксплуатациялау мерзімі техникалық құжаттарда көрсетіледі.

Электр жүйелерінің (тораптарының) басқаруға икемділігі деп – тұрақталған жұмыстық режимді ұстап тұру мақсатында жүргізілетін басқару операцияларына деген жүйелердің икемділігін (қабілеттілігін) айтады.

Электр жүйелерінің (тораптарының) жөндеуге икемділігі деп – жүйенің істен шығуға бейімділігін, істен шығудың себеп-салдарын анықтап, оны жоюға деген мүмкіншілігін сипаттайтын жүйенің қасиетін айтады. Жөндеуге икемділік жүйенің құрылымдық схемасының қалайша жинақталғандығына (мысалға, тез арада айырбасталатын жекеленген блоктардан тұрады) және жүйе жұмысын қадағалаушы құралдармен жабдықталу дәрежесіне байланысты боп келеді. Сол сияқты, жөндеуге икемділік сипаттамалары жүйені баптап күтуші адамдардың квалификациясына да тәуелді.

Электр жүйелерінің (тораптарының) өміршеңдігі деп – жүйелерді каскадты түрде апаттық жағдайларға алып келуші түрлі қозу ықпалдарына қарсы тұра алатындай жүйенің қасиетін айтады.

Электр жүйелерінің (тораптарының) сапалығы деп – жүйелерді өздеріне тән мақсатта қолдануға жарамдылығының дәрежесін сипаттаушы қасиеттердің жиынтығын айтады.

Жүйелердің қартаюуы деп – түрлі факторлардың әсерінен (жүйенің жұмыс режимдеріне тәуелсіз) жүйе параметрлерінің біртіндеп өзгеру процесін айтады.

Жүйелердің қажалуы (износ) деп – жүйенің жұмыс режимдеріне тәуелді туындайтын түрлі факторлардың әсерінен жүйе параметрлерінің біртіндеп өзгеру процесін айтады.

Резервтеу деп – жүйелердің сенімділігін арттыру үшін жүйе құрамына қосалқы бөлшектерді, сонымен қатар артық ақпараттар мен уақыттарды енгізу тәсілін айтады.

Даярлық деп – кез келген уақыттағы жүйелердің жұмыстық қабілетін сақтауын түсінеміз.

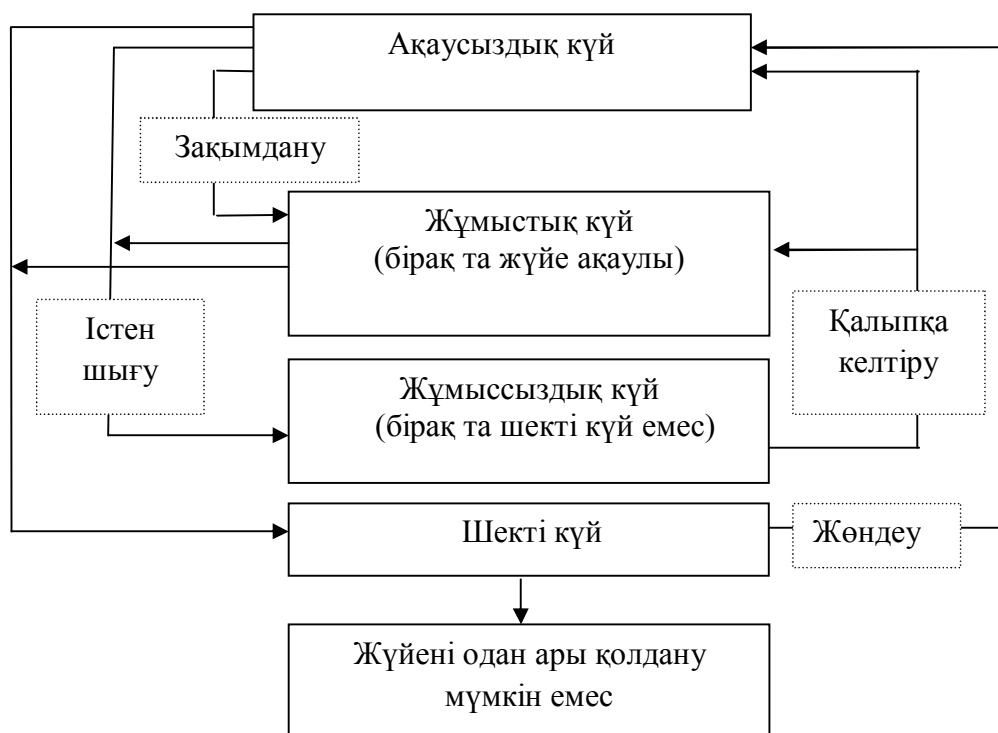
Оперативтік даярлық деп – жүйенің кез келген уақыт моментінде жұмыстық күйде болатындығының және сол уақыттан бастап, берілген бір уақыт интервалында жүйенің ары қарай істен шықпай жұмыс істеу қабілеттілігін түсінеміз.

Егерде жүйелерді алғашқы істен шыққаннан кейін қалыпқа келтіру мүмкін болмаса немесе тиімді болмаса, онда ондай жүйелерді *қалыпқа келтірілмейтін жүйелер* деп атайды.

Егерде жүйе істен шыққан кезде, оларды жөндеу арқылы немесе басқа жүйелермен ауыстыру арқылы жұмыстық қабілеттілігіне қайтып келтірілсе, онда ол жүйелерді *қалыпқа келтірілетін жүйелер* деп атайды.

Жүйені қалыпқа келтіру деп, жүйенің жұмыссыздық күйінен жұмыстық күйіне ауысуын айтады.

Қалыпқа келтірілетін жүйелердегі орын алатын негізгі күйлер мен оқиғалар 2.1.1-суретте келтірілген.



2.1.1-сурет. Қалыпқа келтірілетін жүйелердің күйлерімен оларда кездесетін оқиғалар

Сенімділік теориясындағы негізгі ұғымның бірі – *істен шығу*. Жүйенің жұмысқа қабілеттілік күйі бұзылған жағдайда, яғни жұмыстық күйден жұмыссыздық күйге ауысу оқиғасы орын алса, онда бұл оқиғаны *істен шығу* деп атаймыз. Егер жүйе ақаусыздық күйден ақаулы күйге (бірақ та жүйенің жұмыс істеу қабілеті бар) ауысқан жағдайда, онда бұл оқиғаны *зақымдану* (*повреждение*) деп атаймыз. Істен шығу оқиғасы кенеттен немесе біртіндеп өтуі мүмкін. Егерде жүйенің (жүйе бөлшектерінің) бір немесе бірнеше негізгі параметрлерінің өзгерісі лезде (секіртпелі түрде) өтсе, онда істен шығу кенеттен болады.

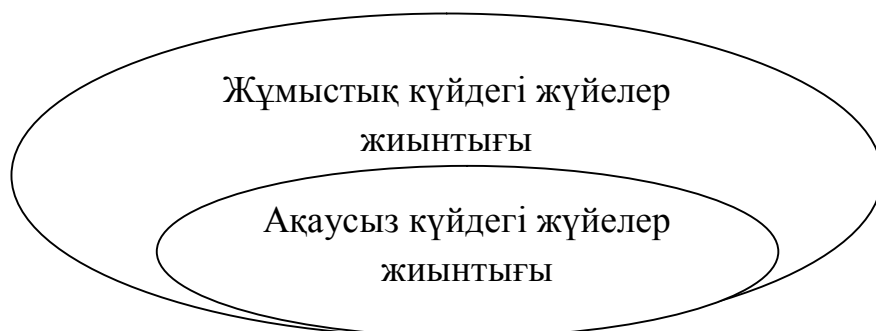
Кенеттен істен шығу өндірістегі түрлі технологиялық операциялардың кемшілігінен немесе жүйе параметрлерінің сыртқы ортаның ықпалымен (вибрация, динамикалық жүктеме т.с.с.) туындайтын өзгерісінен болады. Біртіндеп істен шығу оқиғасында, жүйені эксплуатациялау кезінде жүйе параметрлері біртіндеп (баяу) өзгеріске ұшырайды. Істен шығудың бұл түрі жүйе бөлшектерінің біртіндеп қажалуынан (тозуынан), сонымен қатар баптау ережелерінің бұзылуынан туындайды.

Егер жүйенің істен шығу уақыты аз болып және жүйе жұмыстық күйге өздігінен оралса, онда ондай істен шығуды *уақытша істен шығу* (*сбой*) деп атайды. Істен шығу оқиғаларын талдау нәтижесінде, істен шығумен күрестің тәсілдері айқындалады.

Бұл жерде жүйенің ақаусыздық күйі деген ұғымға кеңірек тоқтала кетейік.

Жүйенің ақаусыздық күйі (*исправное состояние*) деп, жүйенің барлық параметрлерінің нормативтік-техникалық құжаттардың талабына сай келетіндей жүйе күйін айтады.

Сәйкесінше *жүйенің ақаулы күйі* (*неисправное состояние*) деп, жүйе күйінің нормативтік-техникалық құжат талаптарының ең құрығанда біреуін қанағаттандыра алмайтын күй. Жұмыстық қабілеттілікпен ақаусыздықтың араларындағы айырмашылық мынада. Жұмыстық қабілеттілік жүйенің тек қана жұмысты атқаруға қажетті талаптарды ғана қанағаттандырып, ал қалған талаптарды қанағаттандырмауы мүмкін, ал ақаусыздық – жүйеге қойылған барлық талаптарды қанағаттандыруы тиіс. Мысалға, жүйе бөлшектерінің сыртқы әшекейіне қойылатын талаптар. Ақаусыздық күй жұмысқа қабілеттілік күймен салыстырғанда анағұрлым кеңірек ұғым. Егер жүйе ақаусыз болса, онда ол жүйеде әрқашан да жұмыстық қабілеттілік болады (2.1.2-сурет).



2.1.2-сурет. Жұмыстық күй және ақаусыздық күй туралы түсініктеме

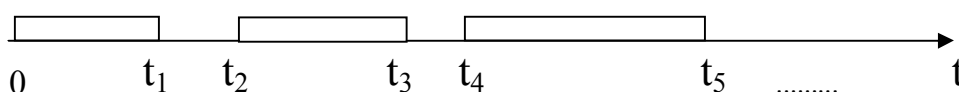
Сенімділік теориясында кездейсоқ шама ретінде жүйенің (бөлшектің) жұмыс істеу уақыты алынады.

2.1.3-суретте қалыпқа келтірілетін жүйелерді эксплуатациялау графикі келтірілген. Графиктен көретініміз, жүйенің жұмыс істеу уақыты мен қалыпқа келтіру уақыттары кезектесе орналасады.

Жүйенің жұмыс істеу уақыты келесі уақыт интервалдарының қосындысымен анықталады:

$$T = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4)$$

мұндағы – t_1 , t_3 жүйені тоқтату мерзімдері (мысалға, жөндеу жұмыстарын жүргізу үшін немесе апаттық жағдайларда), t_2 , t_4 жүйені қайталап іске қосу уақыттары, t_5 жүйенің істен шығу мерзімі т.с.с.



2.1.3-сурет. Жүйенің жұмыс істеу уақытын анықтауға арналған график

Бақылау сұрақтары.

1. Жүйе және бөлшек ұғымдары.
2. Қалыпқа келтірілетін жүйелердің күйлері мен оларда кездесетін оқиғалар.
3. Жұмыстық күй мен ақаусыздықтың араларындағы айырмашылық.
4. Жүйелердің сенімділігі туралы ұғым.
5. Істен шығу туралы түсінік, істен шығудың түрлері.

2.2. Сенімділік теориясында кездесетін негізі таралым заңдылықтары

Сенімділіктің негізгі ұғымдарының бірі – жүйелердің жұмыс істеу (қалыпқа келтіру) уақыттары әдетте үздіксіз кездейсоқ шамалар болып табылады да, жүйе (элемент) қасиеттеріне, жұмыс жағдайларына, істен шығу түрлеріне байланысты таралымның түрлі заңдылықтарымен сипатталады. Сенімділіктің теориясында негізінен кездейсоқ шамалардың келесі таралым заңдылықтары кездеседі: экспоненциалдық таралым, қалыпты таралым (Гаусс таралымы) және Вейбулла таралымы.

Экспоненциалдық таралымда жүйенің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының таралым функциясы $Q(t)$ (сенімділік теориясы тұрғысынан алғанда істен шығу ықтималдылығын сипаттайды) былайша анықталады:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.2.1)$$

мұндағы λ – таралым параметрі (сенімділік теориясы тұрғысынан алғанда істен шығу қарқынын сипаттайды).

Таралым тығыздығы $f(t)$ істен шығу жиілігін сипаттайды да, $Q(t)$ функциясының туындысымен анықталады:

$$f(t) = \frac{d}{dt} Q(t) = \lambda e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.2.2)$$

Экспоненциалдық заңдылықта таралым параметрі $\lambda = \text{const}$, сол себептен бұл заңдылықтың қолданыс аймағы – жүйелердің қалыпты эксплуатациялау периодына сәйкес келетін кезең (істен шығу қарқыны тұрақталған период).

Қалыпты таралым (Гаусс таралымы). Бұл таралым жүйелердің қажалып тозу (износ) және қартаю периодтарына сәйкес келетін кезеңдеріндегі жұмыстарының сенімділігін бағалауда қолданылады. Қалыпты таралым бойынша, кездейсоқ шамалардың таралым функциясы $Q(t)$ (істен шығу ықтималдылығы) мен таралым тығыздығы $f(t)$ (істен шығу жиілігі) былайша анықталады:

$$Q(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-(t-m)^2 / (2\sigma)^2} dt \quad (2.2.3)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(t-m)^2 / (2\sigma)^2} \quad (2.2.4)$$

мұндағы σ – орта квадраттық ауытқу және m – математикалық күтім (қалыпты таралымның параметрлері). Математикалық күтім сенімділік теориясы тұрғысынан алғанда жүйелердің жұмыс уақыттарының орта мәнін айқындайды.

Практикалық есептеулерде $Q(t)$ және $f(t)$ функцияларының мәндерін табу кезінде таралымның нормалданған функциясы $\Phi(z)$ қолданылады.

$\Phi(z)$ функциясының мәні арнайы кестеден алынады.

$$Q(t) = \Phi(z) \quad \text{және} \quad f(t) = \frac{1}{\sigma} \Phi(z) \quad (2.2.5)$$

мұндағы $z = \frac{t-m}{\sigma}$;

Қалыпты таралым кездейсоқ шамалардың $-\infty$ -тен $+\infty$ -ке дейін өзгергендегі заңдылығын сипаттайды. Ал сенімділік теориясында кездейсоқ шаманың (уақыт) өзгеру интервалы 0-ден $+\infty$ -ке дейін. Сол себептен кейбір практикалық есептеулерде қысқартылған қалыпты заң (усеченное нормальное распределения) қолданылады. Егерде келесі шарт орындалса $m < 3\sigma$, қысқартылған қалыпты заңның дәлдігі жоғарылайды. Қысқартылған қалыпты заң бойынша $Q(t)$ және $f(t)$ функциялары былайша анықталады:

$$Q(t) = \begin{cases} 0, & \text{егер } t \leq 0 \\ \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int e^{-(t-m)^2/(2\sigma^2)} dt, & \text{егер } t > 0 \end{cases} \quad (2.2.6)$$

$$f(t) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-m)^2/(2\sigma^2)} \quad (2.2.7)$$

мұндағы $c = \frac{1}{0,5 + \Phi(\frac{m}{\sigma})}$ қысқартылған таралымның тұрақтысы

Вейбулла таралымы

Бұл таралым жүйелерді жеделдетіп сынақтан өткізу кездерінде олардың сенімділігін анықтауда, жүйелердің қажалып тозу (износ) және қартаю периодтарына сәйкес келетін кезеңдеріндегі жұмыстарының сенімділігін бағалауда, сонымен қатар істен шығу ағындары стационар болмаған жағдайда (уақыт бойынша өзгеріске ұшырағанда) қолданылады. Вейбулла таралымы бойынша $Q(t)$ (істен шығу ықтималдылықтары) және $f(t)$ (істен шығу жиілігі) функциялары былайша анықталады.

$$Q(t) = 1 - e^{-\alpha \cdot t^k} \quad (2.2.8)$$

$$f(t) = \alpha k x^{k-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t^k} \quad (2.2.9)$$

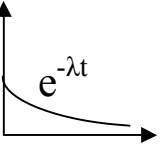
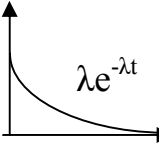
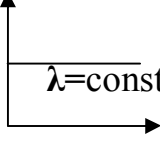
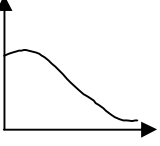
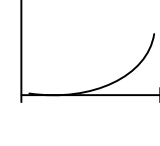
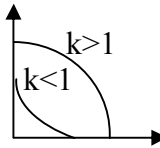
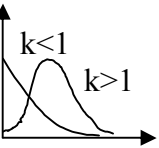
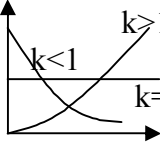
Вейбулла таралымы екі параметрлік таралым. Таралымның k параметрі таралым тығыздығының формасын (асимметриясы мен экцессін), ал α параметрі – масштабын айқындайды.

Егер $k=1$ болса, Вейбулла таралымы экспоненциалдық таралыммен сәйкес келеді. Кездейсоқ шамалардың (жұмыс істеу уақыттары) таралым заңдылықтары белгілі болған жағдайда, сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндері сәйкесінше формулалармен анықталады.

2.2.1-кестеде түрлі таралым заңдылықтарына сәйкес, сенімділік көрсеткіштерінің сипаттамалары келтірілген. Кестеден, кез келген бір функция белгілі болған жағдайда, қалғандары сол функция арқылы анықталатындығын көреміз.

2.2.1–кесте

Түрлі таралымдар үшін сенімділіктің көрсеткіштері

Сенімділік сипаты F(t) Таралу функциясы	Сенімділік функциясы P(t)	Істен шығу жиілігі f(t)	Істен шығу қарқыны $\lambda(t)$	Жұмыс уақытының орта мәні $T_{ор}$
Экспоненциалдық заңдылық $1 - e^{-\lambda \cdot t}$; λ - таралым параметрі				$\frac{1}{\lambda}$
Қалыпты заңдылық $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \cdot dt$ σ және m - таралым параметрлері	$1 - \frac{\Phi(z)}{\sigma}$ $z = \frac{(t-m)}{\sigma}$ 	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$ 	$\frac{f(t)}{P(t)}$ 	m
Вейбулла таралымы $1 - e^{-\alpha \cdot t^K}$ α және k – таралым параметрлері	$e^{-\alpha \cdot t^K}$ 	$\alpha \cdot k \cdot t^{k-1} \cdot e^{-\alpha t^k}$ 	$k \alpha t^{k-1}$ 	$\frac{\Gamma(x)}{\alpha^{1/k}}$ мұндағы $x = \frac{1}{k} + 1$

Ескертпе: $\Phi(z)$ – қалыпты таралымның нормаланған функциясы, $\Gamma(x)$ – гамма функция.

Бақылау сұрақтары.

1. Дискретті және үздіксіз кездейсоқ шамалардың таралым заңдылықтарын атаңыздар.
2. Таралым параметрлерінің сенімділік тұрғысынан алып қарағандағы мағыналары.
3. Жүйелердің қажалып тозу (износ) және қартаю периодтарына сәйкес келетін кезеңдеріндегі жұмыстарының сенімділігін бағалауда қандай таралым заңдылығы қолданылады?
4. Жүйелердің қалыпты эксплуатациялау периодына сәйкес келетін кезеңдегі сенімділігін бағалауда қолданылатын таралым заңдылығы.
5. Жүйелерді жеделдетіп сынақтан өткізу кездерінде және істен шығу ағындары стационар болмаған жағдайда қолданылатын таралым заңдылығы.

2.3. Сенімділіктің көрсеткіштері

Қалыпқа келтірілмейтін жүйелердің сенімділік көрсеткіштері

Егерде жүйелерді алғашқы істен шыққаннан кейін қалыпқа келтіру мүмкін болмаса немесе тиімді болмаса, онда ондай жүйелерді қалыпқа келтірілмейтін жүйелер деп атайды. Мұндай жүйелердің сенімділік көрсеткіштеріне мыналар жатады: *істен шықпау ықтималдылығы; істен шығу ықтималдылығы; істен шығу жиілігі; істен шығу қарқыны; алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәні.*

Сенімділік сынағынан өткізудің келесі моделін қарастырайық. Сынаққа N_0 жүйе қойылып, сынақ осы қойылған жүйелердің барлығы бірдей істен шыққанда ғана тоқтатылсын. Істен шыққан жүйелер қайтып қалыпқа келтірілмейді. Бұл жағдайда қалыпқа келтірілмейтін жүйелердің сенімділік көрсеткіштері былайша анықталады.

Істен шықпау ықтималдылығы $P(t)$ деп, берілген уақыт интервалында $(0, t)$ істен шығу оқиғасының орын алмау ықтималдылығын айтады.

Істен шықпау ықтималдылығы былайша анықталады.

$$P(t) = P(T \geq t), \quad t \geq 0 \quad (2.3.1)$$

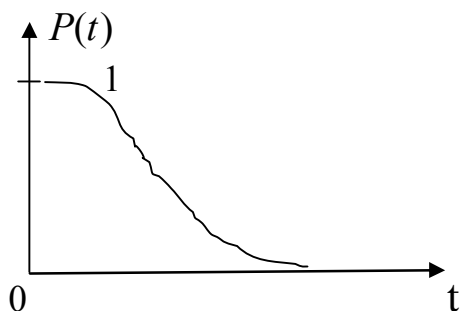
мұндағы t – істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы анықталатын уақыт, T – жүйенің алғашқы істен шыққанға дейінгі істеген жұмысының уақыты (кездейсоқ уақыт).

2.3.1-суретте $P(t)$ функциясының графигі келтірілген. Істен шықпау ықтималдылығы келесі қасиетке ие.

1) Функция 0 мен 1-дің аралығында монотонды кемиді және $(0 \leq P(t) \leq 1)$

2) Егер $t = 0$, онда $p(0) = 1$, егер $t = \infty$, онда $p(\infty) = 0$

Бұл функцияны кейде сенімділік функциясы деп те атайды.



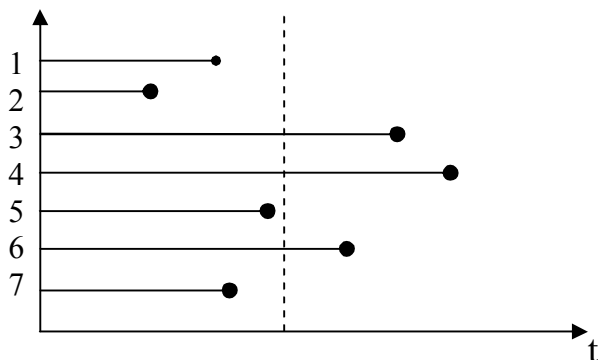
2.3.1-сурет. Сенімділік функциясының графигі

Істен шығу оқиғаларының статистикалық мәліметтеріне сүйене отырып, істен шықпаушылық ықтималдылығы былайша анықталады:

$$P^*(t) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (2.3.2)$$

мұндағы N_0 – жүйелердің жалпы саны (сынақ басындағы), $N(t) - (0, t)$ интервалындағы істен шықпаған жүйелер саны, $n(t) - t$ уақыттағы істен шыққан жүйелер саны.

Мысалға, 2.3.2-суреттен көретініміз, 1-7 жүйелер N_0 құрайды, 1,2,5,7 жүйелер $n(t)$ құрайды, ал 3,4 және 6 жүйелер $N(t)$ құрайды.



2.3.2-сурет. Уақыттық диаграмма

Егерде жүйелер t уақытқа дейін істен шықпай жұмыс істеген болса, онда жүйелердің $(t, t + \Delta t)$ уақыт аралығындағы істен шықпау ықтималдылығы $P(t, t + \Delta t)$ шартты ықтималдылық арқылы былайша анықталады.

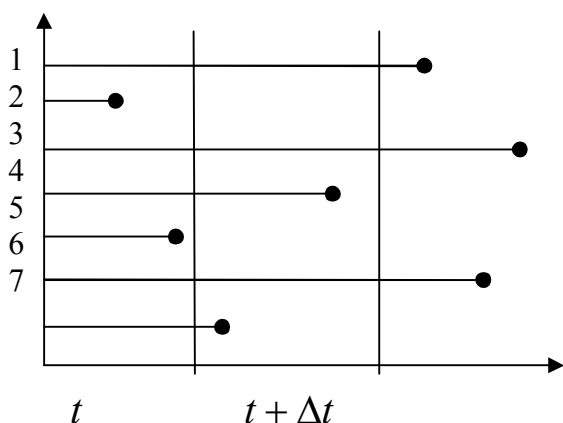
$$P(t, t + \Delta t) = P(t + \Delta t) / P(t) \quad (2.3.3)$$

мұндағы $P(t)$ – жүйенің $(0, t)$ интервалындағы істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы, $P(t + \Delta t)$ – жүйенің $t + \Delta t$ уақытқа дейінгі істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы.

Статистикалық мәліметтер бойынша бұл ықтималдылық былайша анықталады:

$$P^*(t, t + \Delta t) = N(t + \Delta t) / N(t) \quad (2.3.4)$$

мұндағы $N(t)$ және $N(t + \Delta t)$ - сәйкесінше t және $t + \Delta t$ уақыттардағы істен шықпай жұмыс істеп тұрған жүйелер саны (2.3.3 – сурет).



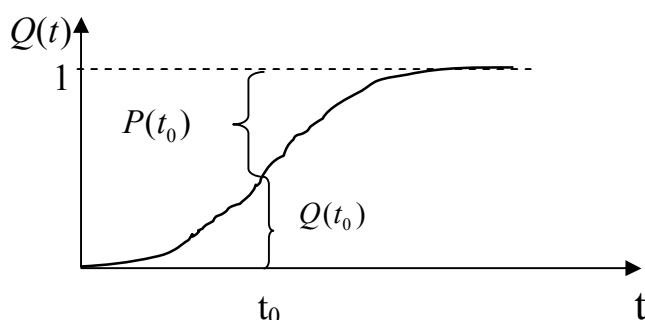
2.3.3-сурет. Уақыттық диаграмма:
1-7 жүйелер N_0 құрайды, ал 1, 3, 4, 6, 7 жүйелер – $N(t)$ құрайды, ал 1, 3, 6 жүйелер – $N(t + \Delta t)$ құрайды, ал 2, 5 жүйелер – $n(t)$ құрайды, ал 2, 4, 5, 7 жүйелер – $n(t + \Delta t)$ құрайды.

Істен шығу ықтималдылығы $Q(t)$ деп, берілген уақыт интервалында ең болмағанда бір рет істен шығу оқиғасының орын алу ықтималдылығын айтады. $(0, t)$ интервалында істен шығу ықтималдылығы былайша анықталады.

$$Q(t) = P(T < t), \quad t \geq 0 \quad (2.3.5)$$

яғни, $Q(t)$ функциясы жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттары (T – уақыты) таралымының интегралдық заңдылығын сипаттайды. $Q(t)$ функциясы 0 мен 1-дің аралығында монотонды өседі.

(2.3.4-сурет), егер $t = 0$, онда $Q(0) = 0$, егер $t = \infty$, онда $Q(\infty) = 1$. Бұл функцияны кейде сенімсіздік функциясы деп те атайды.



2.3.4-сурет. Сенімсіздік функциясының графигі

$P(t)$ және $Q(t)$ функциялары бір-біріне карама-қайшы оқиғаларды сипаттайды, сол себепті төмендегі қатынас орын алады.

$$Q(t) + P(t) = 1 \quad (2.3.6)$$

Істен шығу ықтималдылығы статистикалық мәліметтерге сүйене отырып, $(0, t)$ интервалында былайша анықталады:

$$Q^*(t) = 1 - p^*(t) = n(t) / N_0 \quad (2.3.7)$$

мұндағы $n(t)$ – t уақытындағы істен шыққан жүйелердің саны (2.3.2-сурет).

Егер жүйелер t уақытқа дейін істен шықпай жұмыс істеген болса, онда жүйелердің $(t, t + \Delta t)$ интервалындағы істен шығу ықтималдылығы $Q(t, t + \Delta t)$ былайша анықталады:

$$Q(t, t + \Delta t) = 1 - P(t, t + \Delta t) = 1 - \frac{P(t + \Delta t)}{P(t)} \quad (2.3.8)$$

$(t, t + \Delta t)$ интервалындағы істен шығу ықтималдылығының статистикалық анықтамасы:

$$Q^*(t, t + \Delta t) = 1 - P^*(t, t + \Delta t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N(t)} \quad (2.3.9)$$

мұндағы $n(t, t + \Delta t)$ – жүйелердің $(t, t + \Delta t)$ интервалындағы істен шығу сандары, $N(t)$ – t уақытында істен шықпай жұмыс істеп тұрған жүйелер саны (2.3.3-сурет).

Істен шығу жиілігін $f(t)$ статистикалық тәсілмен анықтау үшін $(t - \Delta t / 2, t + \Delta t / 2)$ уақыт интервалын қарастырайық, мұндағы Δt – интервал ұзақтығы. Істен шығу жиілігі, бірлік уақыт ішіндегі істен шыққан жүйе сандарының (істен шыққан жүйелер қалыпқа келтірілмейді) жалпы жүйе сандарына (сынақ басындағы) қатынасымен анықталады, яғни анықтама бойынша

$$f^*(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - n(t - \Delta t / 2)}{N_0 \Delta t} = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_0 \Delta t} \quad (2.3.10)$$

мұндағы $n(t, t + \Delta t)$ – $(t - \Delta t / 2, t + \Delta t / 2)$ уақыт интервалында істен шыққан жүйелер саны.

$f(t)$ сипаттамасын ықтималдылық тұрғыда қарастырайық, ол үшін $f(t)$ және $P(t)$ функцияларының араларындағы байланысты табамыз. $(t - \Delta t / 2, t + \Delta t / 2)$ уақыт интервалында істен шыққан жүйелер саны $n(t, t + \Delta t)$ интервал басындағы $N(t)$ және аяғындағы $N(t + \Delta t)$ жұмыс істеп тұрған жүйелер сандарының айырымымен анықталады, яғни

$$n(t, t + \Delta t) = N(t) - N(t + \Delta t)$$

Істен шықпау ықтималдылығының статистикалық анықтамасы бойынша

$$N(t) = N_0 P(t) \text{ және } N(t + \Delta t) = N_0 P(t + \Delta t)$$

$n(t, t + \Delta t)$ мәнін (2.3.10) формуласына қойсақ, алатынымыз

$$f(t) = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t}$$

Соңғы өрнекте $\Delta t \rightarrow 0$ ұмтылдырып, шекке көшсек

$$f(t) = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} \right] = - \frac{d}{dt} P(t) = \frac{d}{dt} Q(t); \quad (2.3.11)$$

Сонымен, *істен шығу жиілігі* $f(t)$ деп, алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыты ықтималдылығының тығыздығын айтады (таралымның дифференциалдық заңдылығы).

(2.3.11) теңдеуінен келесі формулаларды алуға болады:

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \text{ және } P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2.3.12)$$

Істен шығу қарқыны $\lambda(t)$ жүйелердің t уақыт моментіндегі істен шығу ықтималдылығының шартты тығыздығы арқылы анықталады

(ескертпе: t уақытқа дейін жүйеде істен шығу оқиғасы орын алмаған). t уақыт моментінде жүйелер жұмыстық күйде болған жағдайдағы, жүйелердің $(t, t + \Delta t)$ интервалында істен шықпай жұмыс істеулерінің шартты ықтималдылығы былайша анықталады:

$$P(t, t + \Delta t) = P(t + \Delta t) / P(t)$$

Соңғы өрнектен істен шығудың шартты ықтималдылығына көшсек

$$1 - P(t, t + \Delta t) = 1 - \frac{P(t + \Delta t)}{P(t)} = - \left[\frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{P(t)} \right]$$

Теңдеудің екі жағында Δt уақытқа бөлсек

$$\frac{1 - P(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{P(t)};$$

Δt уақытты нөлге ұмтылдырып, шекке көшсек

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{1 - P(t, t + \Delta t)}{\Delta t} \right] = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t \cdot P(t)} \right] = - \frac{d}{dt} P(t) \cdot \frac{1}{P(t)};$$

немесе

$$\lambda(t) = - \frac{d}{dt} [1 - Q(t)] \cdot \frac{1}{P(t)} = \frac{d}{dt} Q(t) \cdot \frac{1}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)}; \quad (1/\text{с.ғ.}) \quad (2.3.13)$$

Соңғы теңдеуден шығатын қорытынды $\lambda(t) \geq f(t)$.

$\lambda(t)$ және $P(t)$ мәндерінің араларындағы байланыс

$$\lambda(t) = - \frac{d}{dt} P(t) \cdot \frac{1}{P(t)}$$

өрнегінен табылады. Өрнекті біраз түрлендіріп, алатынымыз:

$$\lambda(t) dt = - dP(t) \cdot \frac{1}{P(t)}$$

Соңғы өрнекті интегралдасақ:

$$\int_0^t \lambda(t) dt = - \int_0^t \frac{1}{p(t)} dp(t) = - \ln p(t)$$

бұдан

$$p(t) = e^{- \int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.3.14)$$

$p(t) = f(t) / \lambda(t)$ қатынасын еске ала отырып, (3.14) теңдеуінен алатынымыз:

$$f(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.3.15)$$

Істен шықпаудың шартты ықтималдылығы:

$$P(t, t + \Delta t) = \frac{P(t + \Delta t)}{P(t)} = e^{-\int_t^{t+\Delta t} \lambda(t) dt} \quad (2.3.16)$$

Істен шығу қарқынының статистикалық анықталуы:

$$\lambda^*(t) = f^*(t) / p^*(t) = \frac{\frac{n(t, t + \Delta t)}{N_0 * \Delta t}}{\frac{N(t)}{N_0}} = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N(t) \Delta t} \quad (2.3.17)$$

мұндағы $n(t, t + \Delta t)$ – Δt уақыт интервалындағы істен шыққан жүйелер саны,
 $N(t)$ – t уақыт моментіндегі істен шықпаған жүйелер саны.

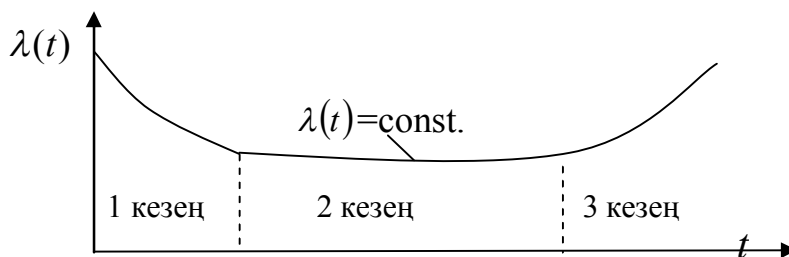
Кейбір оқулықтарда $N(t)$ мәні келесі формуламен есептеледі:

$$N(t) = N_{op} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$$

мұндағы N_{op} – Δt уақыт интервалындағы жұмыс істеп тұрған жүйелердің орташа саны, N_i және N_{i+1} – уақыт интервалының басындағы және аяғындағы жұмыс істеп тұрған жүйелердің саны.

Істен шығу қарқынының өлшем бірлігі (1/сағ.) немесе (1/жыл.) $N_0 > N(t)$, болғандықтан, $\lambda^*(t) \geq f^*(t)$ шарты орындалады.

Істен шығу қарқыны $\lambda(t)$ істен шықпаушылықтың өзгерісін көрнекті түрде бейнелеп береді (2.3.5-сурет).



2.3.5-сурет. Істен шығу қарқынының уақыт ағымындағы өзгерісі

1 кезең – қалыптасу мерзімі; 2 кезең – қалыпты эксплуатация мерзімі; 3 кезең – физикалық қартаю мерзімі.

1 кезеңде әдетте жүйелерді жобалау, құрау кездерінде кеткен түрлі ақаулықтарды біртіндеп жою нәтижесінде, істен шығу қарқыны уақыт өте келе бәсеңдейді де, қалыпты эксплуатациялау кезеңінде (2 кезең) тұрақталады.

3 кезеңге физикалық қартаю мерзімі сәйкес келеді де, бұл кезеңде жүйелерді одан ары қолдану тиімсіз болып келеді.

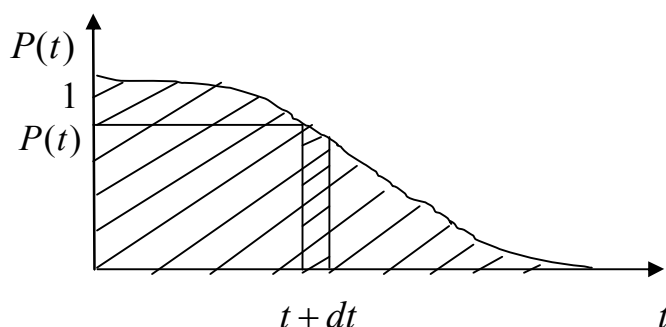
Жүйелердің істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының орта мәні T_{OP} - жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттарының математикалық күтімімен анықталады. Жұмыс уақытының математикалық күтімі істен шығу жиілігі арқылы былайша анықталады:

$$T_{OP} = M [T] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dp(t)$$

Бөлшектеп (по частям) интегралдасақ, алатынымыз (интегралдау кезінде келесі жағдай ескерілуі қажет $P(0)=1$, $P(\infty)=0$)

$$T_{OP} = - \int_0^{\infty} t p(t) I_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.3.18)$$

Соңғы формуладан шығатын қорытынды, жұмыстық уақыттың орта мәні сан жағынан $P(t)$ қисығы алып жатқан аудан мөлшерімен анықталады (2.3.6-сурет).



2.3.6-сурет. Жұмыс уақытының математикалық күтіміне түсініктеме

Жұмыс уақытының математикалық күтімі T_{OP} істен шығу қарқыны $\lambda(t)$ арқылы былайша өрнектеледі:

$$T_{OP} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \quad (2.3.19)$$

Егер $\lambda(t) = const$ болса, онда

$$T_{OP} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3.20)$$

мұндағы $\lambda = \frac{1}{T_{OP}}$ – бірлік уақыт ішіндегі істен шығу сандарының орта мәндері.

Жүйелердің істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының орта мәнінің статистикалық анықтамасы:

$$T_{OP}^* = \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_0} t_i \quad (2.3.21)$$

мұндағы t_i – i -ші жүйенің істен шықпай жұмыс істеу уақыты, N_0 – сынақ басындағы жүйелердің жалпы саны.

Кейбір кездерде сенімділіктің көрсеткіштері ретінде істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының *дисперсиясы* мен *орта квадраттық ауытқуы* қолданылады.

$$D(t) = \int_0^{\infty} (t - T_{OP})^2 f(t) dt, \quad (2.3.22)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)}, \quad (2.3.23)$$

мұндағы $D(t)$ – дисперсия, $\sigma(t)$ – орта квадраттық ауытқу.

Дисперсия мен орта квадраттық ауытқудың статистикалық анықталуы.

$$D^*(t) = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{i=1}^{N_0} (t_i - T_{OP})^2 \quad (2.3.24)$$

$$\sigma^*(t) = \sqrt{D^*(t)} \quad (2.3.25)$$

Жоғарыда келтірілген сенімділік көрсеткіштері қалыпқа келтірілмейтін жүйелердің сенімділігін толығымен айқындайды. Бұл көрсеткіштер сонымен қатар қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділігін алғашқы істен шығуға дейінгі уақыт аралығында бағалап бере алады.

Жүйелердің сенімділігін айқындау кезінде жоғарыда келтірілген сенімділік критерийлерін түгелімен қолдану шарт емес. Жүйенің сенімділігін толық түрде сипаттаушы критерий ретінде істен шығу жиілігін $f(t)$ алуға болады. Әдетте $f(t)$ функциясы кездейсоқ уақиғалардың таралым тығыздығы болып келеді де, жұмыс істеу уақыты туралы ақпараттарды толығымен бере алады. Сонымен қатар келесі критерийлер – істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы, істен шығу қарқыны, жұмыс уақытының орта мәні әрқашанда істен шығу жиілігі арқылы анықтала алады. Дегенмен, сенімділікті істен шығу жиілігі арқылы бағалаудың кемшіліктері де бар. Оларға жататыны: істен шығу жиілігі сенімділікті көрнекті түрде бейнелеп бере алмайды, сонымен қатар бұл көрсеткіш жүйенің жалпылама сипаттамаларына (мысалға, бағасы, тиімділігі т.с.с.) кірмейді. Бұл көрсеткіштің негізгі қолданысы – сенімділік ықтималдылықтарын (доверительных вероятностей) анықтау.

Істен шықпай жұмыс істеу уақытының орта мәнін T_{OP} сенімділіктің көрнекті сипаттамасы ретінде қолдануға болады. Бірақ та бұл критерийді күрделі жүйелердің сенімділігін анықтауда қолданудың келесі шектеулері бар:

- 1) Жүйелердің жұмыс істеу уақыты орта уақыт T_{OP} мәнінен анағұрлым аз.
- 2) Істен шықпай жұмыс істеу уақытының таралым заңдылықтары бір параметрлі емес. Бұл жағдайда сенімділікті толық бағалау үшін жоғарғы реттік моменттерді қажет етеді.
- 3) Жүйе резервтелген.
- 4) Істен шығу қарқыны тұрақты емес ($\lambda(t) \neq \text{const.}$).
- 5) Күрделі жүйенің жеке бөліктерінің жұмыс істеу уақыттары әртүрлі.

Істен шығу қарқыны $\lambda(t)$ қарапайым жүйе бөлшектерінің сенімділігін бағалауда ыңғайлы критерий болып табылады, себебі автоматика және электроника бөлшектерінің істен шығу қарқындарының барлығы дерлік тұрақты шама болып келеді ($\lambda(t)=\text{const.}$). Бұл жағдайда істен шығу қарқыны арқылы, күрделі жүйенің сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін жеңіл табуға болады.

Күрделі жүйелердің сенімділігін бағалауда тиімді көрсеткіш ретінде істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы $p(t)$ алынады. Мұның себебі мынада:

- 1) Істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы жүйенің жалпы сипаттамаларына көбейтінді ретінде кіреді.
- 2) Сенімділік ықтималдылығы жүйелерді жобалау кезінде қарапайым есептеулер арқылы табылады.
- 3) Сонымен қатар істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы сынақтан өткізу кезінде жеңіл бағаланады.

Қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділік көрсеткіштері

Жүйелерді істен шыққаннан кейін қалыпқа келтірудің екі моделі бар: лезде қалыпқа келтіру (қалыпқа келтіру уақыты 0-ге тең) және баяу қалыпқа келтіру (қалыпқа келтіру уақыты шектелген). Қалыпқа келтірудің екінші тәсілінде жүйенің жұмыс уақыттары мен қалыпқа келтіру уақыттары өзара кезектесе орналасады.

Лезде қалыпқа келтірілетін жүйелер үшін немесе қалыпқа келтірілетін жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі мерзімдегі сенімділік көрсеткіштері ретінде қалыпқа келтірілмейтін жүйелердің сенімділік көрсеткіштерін қолдануға болады. Мысалы, істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы, істен шығу жиілігі және істен шығу қарқыны, жұмыс уақытының орта мәні. Қалыпқа келтірілетін жүйелерге тән сенімділік көрсеткіштері ретінде келесі көрсеткіштерді атауға болады.

– *Жүйелердің істен шықпаушылықтарын сипаттайтын көрсеткіштер (показатели безотказности):* істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыттарының орта мәні, істен шығу ағынының параметрі.

– Жүйелердің ғұмырлылығын сипаттайтын көрсеткіштер (показатели долговечности): гамма – проценттік қор (ресурс), орташа қор, гамма – проценттік қызмет мерзімі (срок службы), орташа қызмет мерзімі.

– Жүйелердің жөндеуге икемділігін сипаттайтын көрсеткіштер:

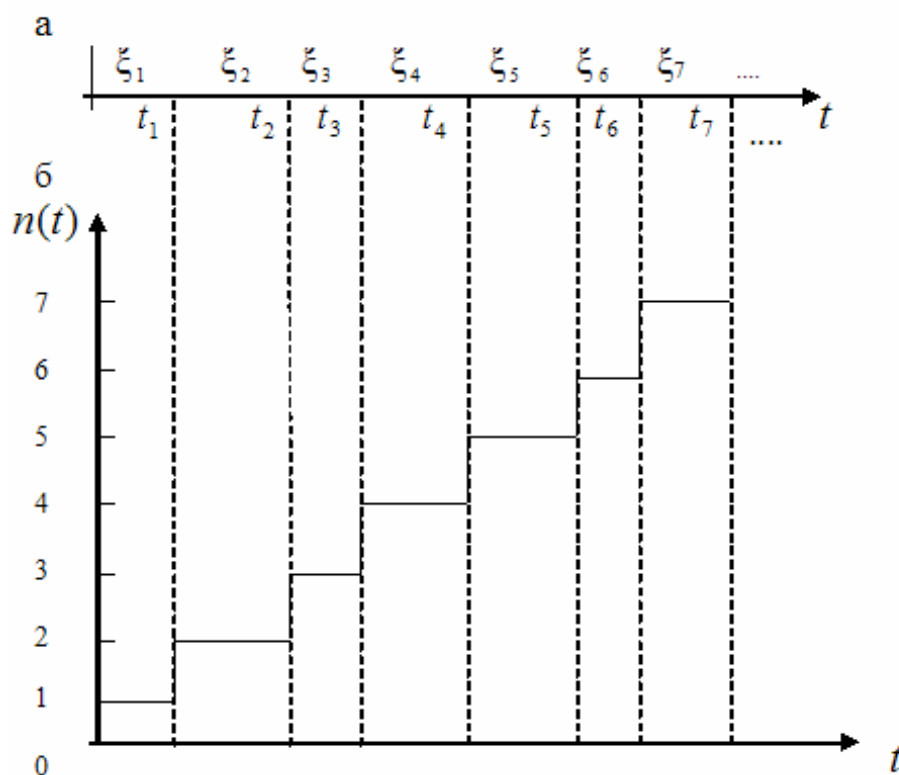
жүйелерді қалыпқа келтіру ықтималдылығы, гамма – проценттік қалыпқа келтіру уақыты, орташа қалыпқа келтіру уақыты, қалыпқа келтіру қарқыны.

– Жүйелердің сақталғыштығын сипаттайтын көрсеткіштер: сақталудың орташа мерзімі, сақталудың гамма – проценттік мерзімі.

Төменде аталған көрсеткіштердің біразы қарастырылған.

Істен шығу ағындары туралы түсініктемелер

Қалыпқа келтірілетін жүйелерді қарастыру кезінде, *істен шығу ағындары* негізгі түсініктемелердің бірі болып табылады. Кездейсоқ уақыттарда бірінен кейін бірі болып тұратын істен шығудың тізбегін *істен шығу ағындары* деп атайды. Істен шығу ағындарын сипаттаудың негізгі екі тәсілі бар: біріншісі – кездейсоқ дискретті шамалар $n(t)$ арқылы, мұндағы $n(t)$ –0, t уақыт интервалындағы істен шығу оқиғаларының саны; екіншісі – істен шығу аралықтарындағы жүйенің кездейсоқ жұмыстық уақыттарын $\xi_1 = t_1$; $\xi_2 = t_2 - t_1$; $\xi_3 = t_3 - t_2$; ... қарастыру (2.3.7-сурет).



2.3.7-сурет. Лезде қалыпқа келтірілетін жүйелердің жұмыс графигі

Істен шығу ағындарын сипаттаудың тәсілдері: а–істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыттарының заңдылығы; б–істен шығу оқиғасының заңдылығы.

Жүйе $t=0$ уақыт моментінде жұмысын бастайды, t_1 моментте алғашқы істен шығу оқиғасы орын алады. Істен шыққан жүйе лезде қалыпқа келтіріліп, жұмысын ары қарай жалғастырады. t_2 моментте жүйе екінші рет істен шығады да, лезде қалыпқа келтіріліп, жұмысын жалғастырады т.с.с.

Сенімділік теориясында негізінен қарапайым ағын (Пуассондық стационарлық) кеңінен қолданылады. Егер істен шығу ағыны ординарлық, стационарлық және өзара тәуелсіз (отсутствие последствия) қасиеттеріне ие болса, онда ондай ағынды *қарапайым ағын* деп атаймыз.

Істен шығу ағынының *ординарлық* қасиеті – қандайда бір уақыт аралығында (Δt уақытта) екі немесе одан да көп істен шығулардың орын алмайтындығын көрсетеді, яғни

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} P_{n>1}(\Delta t) = 0$$

Істен шығу ағынының *стационарлық* қасиеті – кез келген уақыт интервалында Δt_i n -рет істен шығу оқиғасының орын алу ықтималдылығы тек қана n -ға және Δt_i -ға тәуелді де, ал уақыт осі бойынша жылжуларына тәуелсіз, яғни бірлік уақыттағы уақыт осі бойынша істен шығу сандарының орта мәндерінің тұрақтылығын көрсетеді. Егер $\Delta t_1 = \Delta t_i = \dots = \Delta t_{i+m}$ болса, онда интервалдардағы n -рет істен шығу оқиғасының орын алу ықтималдылығы стационар ағын үшін

$$P(\Delta t_1) = \dots = P(\Delta t_i) = \dots = P(\Delta t_{i+m})$$

Істен шығу ағынының өзара *тәуелсіздік* қасиеті – істен шығу оқиғаларының өзара тәуелсіз туындайтындығын көрсетеді, яғни t_1 уақыттағы істен шығу сандары t_2 уақыттағы істен шығу сандарына тәуелсіз. Бұл қасиет жүйе элементтерінің істен шығуларының өзара тәуелсіз өтетіндіктерін сипаттайды, яғни бір элементтің істен шығуы басқа элементтердің жұмыстық қабілеттілігіне әсерін тигізбейді деуге болады.

Әдетте, элементтердің істен шығулары кенеттен болса және істен шығу қарқындары тұрақты болса ($\lambda(t) = \text{const}$), онда жүйедегі орын алатын істен шығу ағындары қарапайым ағындар деуге болады.

Істен шығу ағындарын дискретті кездейсоқ процесс $n(t)$ ретінде қарастырсақ, онда істен шықпаушылықтың көрсеткіші ретінде *істен шығу ағынының параметрін* $\omega(t)$ алуға болады. Егер істен шығу ағындарын істен шығу аралықтарындағы жүйенің кездейсоқ жұмыстық уақыттары $\xi_1, \xi_2, \dots$ арқылы өрнектесек, онда істен шықпаушылықтың көрсеткіші ретінде *істен шығу аралықтарындағы жұмыстық уақыттардың орта мәнін* t_{OP} алуға болады.

Істен шығу ағынының параметрі $\omega(t)$ ағынның жетекші функциясының (істен шығу функциясы) $\Omega(t)$ туындысымен анықталады:

$$\omega(t) = \frac{d}{dt}\Omega(t) \quad (2.3.26)$$

Жетекші функция t уақыт аралығындағы істен шығу сандарының математикалық күтімімен анықталады:

$$\Omega(t) = M[n(t)] \quad (2.3.27)$$

мұндағы $n(t)$ – t уақыт аралығындағы кездейсоқ істен шығу сандары, $\Omega(t)$ функциясы теріс емес және кемімелі емес функция. Стационарлық ағын үшін жетекші функция сызықты функция болып келеді.

$$\Omega(t) = \omega \cdot t \quad (2.3.28)$$

Стационар ағынының параметрі.

$$\omega(t) = \frac{d}{dt}\Omega(t) = \omega = const \quad (2.3.29)$$

Практикалық есептеулерде әдетте істен шығу ағындарының орта мәні қолданылады:

$$\omega(t_1, t_2) = \frac{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (2.3.30)$$

мұндағы $\Omega(t_1)$ және $\Omega(t_2)$ жүйелердің сәйкесінше t_1 және t_2 уақыттардағы істен шығу сандарының орта мәні.

Егер қалыпқа келтіру уақытын ескермеген жағдайда, істен шығу ағыны статистикалық мәліметтерге сүйене отырып, былайша анықталады:

$$\omega^*(t_1, t_2) = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} n_i(t_2) - \sum_{i=1}^{N_0} n_i(t_1)}{N_0(t_2 - t_1)} \quad (2.3.31)$$

$n_i(t_1)$, $n_i(t_2)$ - i -ші жүйенің сәйкесінше t_1 және t_2 уақыттардағы істен шығу сандары.

Істен шығу ағыны $\omega(t)$ мен істен шығу жиілігі $f(t)$ Вольтердің келесі интегралдық теңдеуімен байланысып жатыр.

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau) f(t - \tau) d\tau \quad (2.3.32)$$

Бұл теңдеу әдетте операциондық тәсілмен шешіледі.

$\int_0^t \omega(\tau) f(t-\tau) d\tau$ интегралы $\omega(t)$ және $f(t)$ шамаларының ықшамдалу (свертка) функциялары болғандықтан, Вольтер теңдеуі операторлық формада былайша жазылады.

$$\omega(s) = f(s) + \omega(s) \cdot f(s)$$

Соңғы теңдеуден келесі теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\omega(s) = \frac{f(s)}{1 - f(s)} \quad \text{және} \quad f(s) = \frac{\omega(s)}{1 - \omega(s)} \quad (2.3.33)$$

Егер $\omega(t)$ және $f(t)$ функцияларының Лаплас бойынша тура және кері түрлендірулері белгілі болса, онда соңғы теңдеулерден бір сипаттаманы екіншісі арқылы табуға болады.

Істен шығу ағынының негізгі қасиеттері.

1) $f(t)$ функциясының түріне байланыссыз, егер $t \rightarrow \infty$, онда $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \frac{1}{t_{OP}}$;

мұндағы t_{OP} істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының орта мәні.

2) Егерде істен шығу қарқыны уақыт бойынша тұрақты болмаса ($\lambda(t) \neq \text{const}$), онда жүйенің істен шығу ағындарының параметрі $\omega_{\text{ж}}(t)$ сол жүйеге кіретін элементтер параметрлерінің $\omega_i(t)$ қосындысына тең емес, яғни

$$\omega_{\text{ж}}(t) \neq \sum_{i=1}^N \omega_i(t),$$

мұндағы N – жүйе құрамындағы элементтер саны.

3) Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының таралу заңдылықтары экспоненциалды болып келсе, онда келесі қатынас орын алады: $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$, $\omega(t) = \lambda$ және $t_{OP} = T_{OP}$, яғни істен шығу ағынының параметрі және істен шығу қарқыны мәндес, сонымен қатар алғашқы істен шыққанға дейінгі және істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәндері өзара тең болады.

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәні t_{OP} былайша анықталады:

$$t_{OP} = M[\xi_i] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2.3.34)$$

мұндағы ξ_i – істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының ұзақтығы,
 $f(t)$ – істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының таралым тығыздығы.
Қарапайым ағын үшін келесі қатынас тура

$$t_{OP} = \frac{1}{\omega} \quad (2.3.35)$$

мұндағы ω – істен шығу ағынының параметрі.

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәнін t_{OP} статистикалық тәсілмен анықтау үшін, N жүйені сынаққа қоямыз. Егер жүйелер t уақыт жұмыс істесе, онда істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәнінің статистикалық анықталуы:

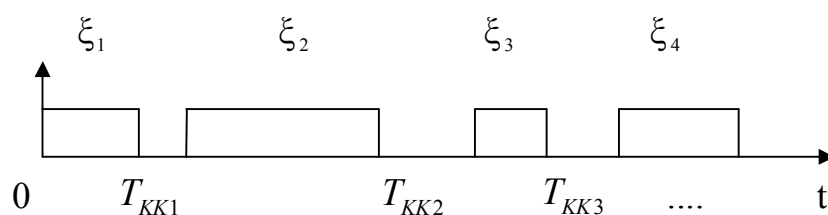
$$t_{OP}^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (2.3.36)$$

мұндағы t_i – i -ші жүйенің істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыты. Егер сынаққа бір жүйе қойылса, онда:

$$t_{OP}^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n(t)} \quad (2.3.37)$$

мұндағы $n(t)$ – t уақыттағы жүйенің істен шығу сандары, t_i – жүйенің $(i-1)$ және i -ші істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыты.

Егер қалыпқа келтіру уақытын T_{KK} ескерген жағдайда, жүйенің қызметтік графигін келесі түрде көрсетуге болады (2.3.8-сурет).



2.3.8-сурет. Жүйенің қызметтік графигі

Қалыпқа келтіру уақыты T_{KK} кездейсоқ шама болғандықтан, ол таралым функциясы (қалыпқа келтіру функциясы) $F_{KK}(t)$ және қалыпқа келтіру функциясының таралым тығыздығы $f_{KK}(t)$ арқылы сипатталады. Егер істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттары $\xi_1, \xi_2 \dots$ өзара байланыссыз және таралымдары біркелкі болып келсе, онда жүйелердің сенімділігі берілген уақыт аралығында *жүйенің жұмыстық күйін қалыпқа келтіру ықтималдылығы* мен *қалыпқа келтіру уақытының орта мәнімен* айқындалады. Бұл көрсеткіштер жүйенің жөнделуге (қалыпқа келтірілуге) икемділігін сипаттайды. Мысалға,

жүйе сенімді болуы мүмкін, бірақ та оны жөндеу өте қиын болып келеді, немесе керісінше.

Қандайда бір t уақыт ішінде жүйені қалыпқа келтіру ықтималдылығы

$$F_{KK}(t) = P(T_{KK} < t)$$

Қалыпқа келтіру уақытының математикалық күтімі (орта мәні) t_{kOP}

$$t_{kOP} = M[T_{KK}] = \int_0^{\infty} t \frac{dF_{KK}(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} t \cdot f_{KK}(t) dt \quad (2.3.38)$$

t уақыттағы қалыпқа келтіру қарқыны $\mu(t)$ (қалыпқа келтірудің алғашқы уақытынан бастап есептеледі)

$$\mu(t) = \frac{1}{1 - F_{KK}(t)} \cdot \frac{dF_{KK}(t)}{dt} = \frac{f_{KK}(t)}{1 - F_{KK}(t)}$$

Жоғарыдағы көрсеткіштердің статистикалық анықталулары

$$F_{KK}^*(t) = \frac{n_{KK}(t)}{n_{KK\Sigma}} \quad (2.3.39)$$

$$t_{kOP}^* = \frac{\sum_{i=1}^{n_{KK}} t_{KKi}}{n_{KK\Sigma}} \quad (2.3.40)$$

$$\mu^*(t) = \frac{n_{KK}(t, t + \Delta t)}{N_{KK}(t) \Delta t} \quad (2.3.41)$$

мұндағы $n_{KK}(t)$ – ұзақтығы t уақыттан кем болып келетін, қалыпқа келтіру сандары, $n_{KK\Sigma}$ – қалыпқа келтірудің жалпы саны; t_{KKi} i -ші істен шығудан кейінгі жүйені қалыпқа келтіру уақыты, $n_{KK}(t, t + \Delta t)$ – $(t, t + \Delta t)$ уақыт интервалында қалыпқа келтірілген жүйелердің сандары, $N_{KK}(t)$ – t уақытында қалыпқа келтірілмеген жүйелердің сандары.

Сенімділіктің комплекстік көрсеткіштері

Сенімділіктің комплекстік көрсеткіштері жүйелердің істен шықпаушылық және жөндеуге икемшілік қасиеттерін сипаттайды. Комплекстік көрсеткіштерге жататындар: даярлық коэффициенті k_D , оперативтік даярлық коэффициенті $k_{OD}(t)$, еріксіз тұру коэффициенті k_{ET} және техникалық қолданыс коэффициенті k_{TK} .

Даярлық коэффициенті жүйелердің кездейсоқ алынған уақыттағы (эксплуатациялаудың тұрақталған режимінде) жұмысқа даяр тұру ықтималдылықтарын сипаттайды. Стационарлық кездейсоқ процесс үшін (уақыттың өте үлкен мәнінде) даярлық коэффициенті былайша анықталады:

$$k_D = \frac{t_{OP}}{t_{OP} + t_{kOP}} \quad (2.3.42)$$

мұндағы t_{OP} – істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәні, t_{kOP} – қалыпқа келтіру уақыттарының орта мәні.

Даярлық коэффициенті сан жағынан жүйелердің жұмыстық күйде болу уақыттарының орта мәнін береді.

Егер істен шықпай жұмыс істеу және қалыпқа келтіру уақыттарының интервалдары әрбір циклде экспоненциалдық заңдылыққа бағынса және цикл номеріне тәуелсіз болса, онда келесі қатынас тура:

$$k_D = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (2.3.43)$$

Егер істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының орта мәнін істен шығу ағынының параметрі (қарапайым ағындар үшін) арқылы өрнектесек

$$t_{OP} = \frac{1}{\omega}$$

онда даярлық коэффициентін былайша анықтауға болады.

$$k_D = \frac{1}{1 + \omega \cdot t_{kOP}} \quad (2.3.44)$$

Даярлық коэффициентін статистикалық мәліметтерге сүйене отырып, былайша анықтайды:

$$k_D^* = \frac{N(t_x)}{N_0} \quad (2.3.45)$$

мұндағы N_0 – жүйелердің жалпы саны, $N(t_x)$ – сынақтың басталу уақытынан өте алшақта жатқан қандай да бір t_x уақыт моментіндегі істен шықпаған жүйелердің саны.

Қалыпқа келтірілетін жүйелердің даярлық функциясы $k_D(t)$ жүйелердің t – уақыттағы жұмыстық күйде болу ықтималдылығын анықтайды.

$$k_D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (2.3.46)$$

(2.3.46) формуласынан байқайтынымыз, егер эксплуатациялау уақыты $t \rightarrow \infty$, онда $k_D(t) = k_D$

Жүйелердің сенімділігін бағалауда кейбір жағдайларда оперативтік даярлық коэффициенті деген ұғымда қолданылады.

Оперативтік даярлық коэффициенті $k_{OD}(t)$ күту режимінде болған жүйенің, кез келген уақыт моментінде жұмыстық күйде болатындығының және сол уақыттан бастап, берілген бір уақыт интервалында жүйенің ары қарай істен шықпай жұмыс істейтіндігінің ықтималдылығын анықтайды.

Оперативтік даярлық коэффициенті $k_{OD}(t)$ даярлық коэффициенті k_D және істен шықпаушылықтың шартты ықтималдылығы $P(t_x, t)$ бойынша былайша анықталады:

$$k_{OD}(t) = \frac{t_{OP}}{t_{OP} + t_{kOP}} P(t_x, t) \quad (2.3.47)$$

мұндағы $P(t_x, t)$ – жүйенің $(t_x, t_x + t)$ уақыт интервалындағы істен шықпай жұмыс істеуінің шартты ықтималдылығы (t_x уақыт моментінде жүйе жұмыстық күйде болған). Егер істен шықпай жұмыс істеу уақытының таралымы экспоненциалдық заңдылыққа бағынса, онда

$$k_{OD}(t) = \frac{t_{OP}}{t_{OP} + t_{kOP}} \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.3.48)$$

Оперативтік даярлық коэффициентінің статистикалық анықтамасы

$$K^*_{OD}(t) = \frac{N(t_x, t_x + t_0)}{N} \quad (2.3.49)$$

мұндағы $N(t_x, t_x + t_0)$ – t_x уақытында ақаусыз болып, сонан соң кейінгі t_0 уақытта істен шықпай жұмыс істеп тұрған жүйелер саны.

Еріксіз тұру функциясы $k_{ET}(t)$ жүйелердің t – уақыттағы жұмыссыздық күйде болу ықтималдылығын анықтайды да, келесі формуламен анықталады:

$$k_{ET}(t) = 1 - k_D(t) = 1 - \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda) \cdot t} \quad (2.3.50)$$

Еріксіз тұру коэффициенті k_{ET} былайша анықталады:

$$k_{ET} = \lim_{t \rightarrow \infty} k_{ET}(t) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = \frac{t_{kOP}}{t_{OP} + t_{kOP}} \quad (2.3.51)$$

k_D және k_{ET} коэффициенттері t_{OP} және t_{kOP} кездейсоқ шамаларына тәуелді болғандықтан, олар жүйенің кез келген уақыттағы өздеріне тиесілі функцияны атқаруға даярлықтарын сипаттайды.

Даярлық коэффициентін және еріксіз тұру коэффициентін анықтау барысында жүйелерді жоспарлы түрде профилактикадан өткізу мерзімдері ескерілмеген. Бұл мерзімдер техникалық қолданыс коэффициентімен k_{TK} есепке алынады.

$$k_{TK} = \frac{t_{ж\sum}}{t_{ж\sum} + t_{ТКК\sum} + t_{КК\sum}} \quad (2.3.52)$$

мұндағы $t_{ж\sum}$, $t_{ТКК\sum}$, $t_{КК\sum}$ – жүйелердің жұмыстық күйде болған уақыттарының, техникалық қызмет көрсетуге кеткен уақыттардың және қалыпқа келтіруге кеткен уақыттардың сәйкесінше математикалық күтімдері.

Бақылау сұрақтары.

1. Қалыпқа келтірілмейтін жүйелер туралы түсінік.
2. Істен шығу және істен шықпау ықтималдылықтарының анықтамаларын беріңдер.
3. Істен шығу жиілігі мен қарқынының анықтамаларын беріңдер?
4. Істен шығу қарқынының графигін (уақытқа тәуелділігін) көрсетіңдер.
5. Дисперсия мен орта квадраттық ауытқудың мағыналары.
6. Жүйелерді қалыпқа келтірудің қандай модельдерін білесіңдер?
7. Істен шығу ағындары дегеніміз не? Қарапайым ағын деп қандай ағындарды айтамыз?
8. Істен шығу ағындарының параметрі және оның негізгі қасиеттері.
9. Қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділік көрсеткіштері.
10. Сенімділіктің қандай комплекстік көрсеткіштерін білесіңдер?

2.4. Локальдық жүйелердің сенімділігін есептеу тәсілдері.

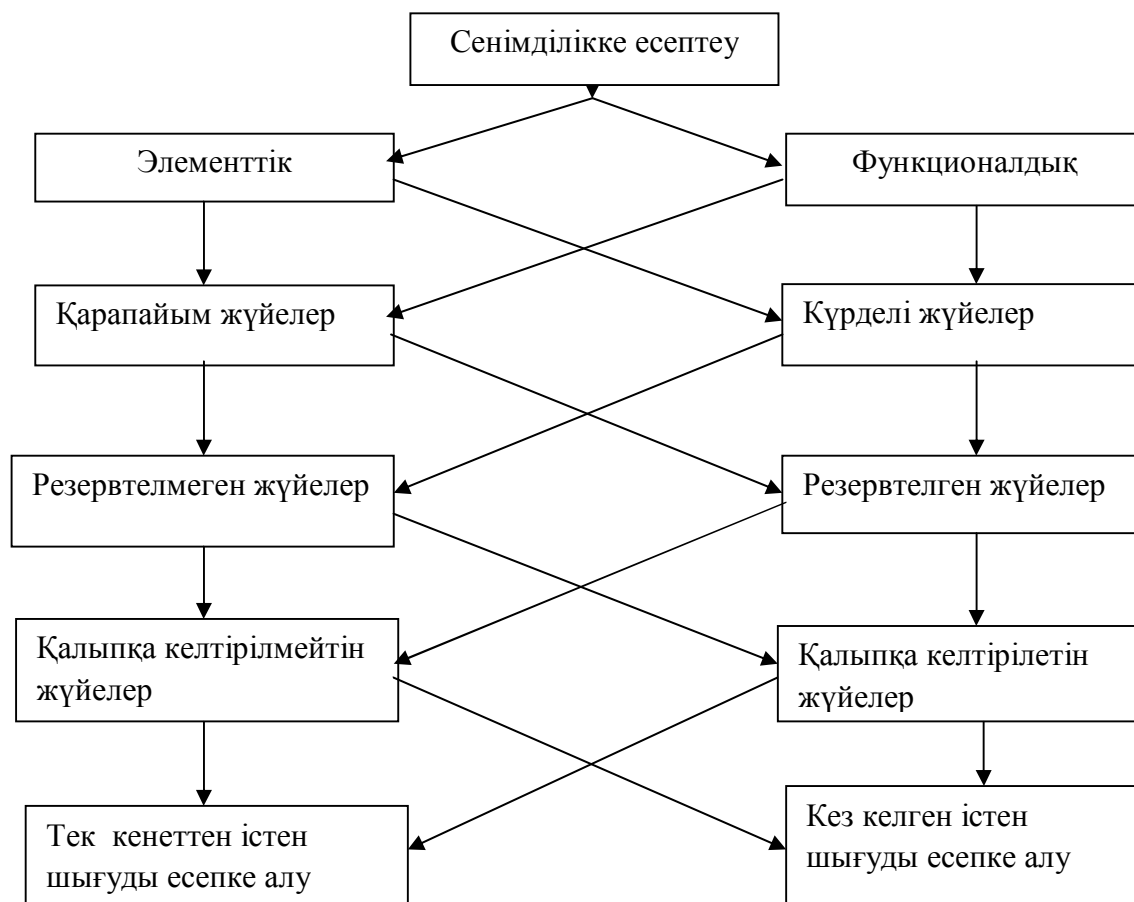
Жүйелерді резервтеу

Сенімділікті есептеудің мақсаты, сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін анықтау болып табылады. Сенімділікке есептеу жүйелерді жобалау кезеңдерінде немесе эксплуатациялау кезеңдерінде жүргізілуі мүмкін.

Жобалау кезеңінде жүргізілетін есептеулер жобаланып жатқан жүйенің сенімділігін алдын ала болжау ретінде жүргізіледі. Болжау нәтижесінде түрлі техникалық ұйымдастырушылық мәселелері шешіледі, мысалға, құрылымдық схемалардың оптималдық варианттарын таңдау, резервтеу және бақылау тәсілдерін айқындау, қосалқы бөлшектер санын анықтау, профилактикалық жұмыстардың мерзімдерін анықтау т.с.с.

Сенімділік сынағы және эксплуатациялау кезінде есептеулер жүйелердің сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін анықтау болып табылады. Есептеулердің нәтижесінде жүйелердің олқы тұстары анықталып, оларды алдын ала қармау шаралары қарастырылып, сенімділік дәрежесі ұлғайтылады.

2.4.1-суретте жобалау кезеңінде жүргізілетін есептеулердің түрлері келтірілген.



2.4.1-сурет. Сенімділікке есептеудің жіктелуі

Элементтік есептеудің максаты, жүйелердің техникалық күйлерін бағалау болып табылады (істен шығу және шықпау ықтималдылықтары, істен шықпай жұмыс істеу уақытының орта мәні т.с.с.).

Функционалдық есептеулерде жүйелердің функционалдық жұмыстарды атқару кезіндегі сенімділігін бағалайды. Мысалға, белгілі көлемдегі ақпарат алдын ала берілген уақыт интервалында берілуінің ықтималдылығы. Функционалдық сенімділікке операторлардың білімділігі, жүйелердің математикалық және программалық қамтамасыздығы т.с.с. жәйттер әсерін тигізеді. Сол себептен функционалдық есептеулер элементтік есептеулерге қарағанда біраз қиындау боп келеді.

Сенімділікке есептеудің варианттары әдетте сенімділікке есептеудің тапсырмасы арқылы беріледі. Есептеу тапсырмасы бойынша және есептелетін жүйені талдау нәтижесінде сенімділікке есептеудің алгоритмі құрылады (есептеулердің кезеңдері және есептеу формулалары).

Күрделі жүйелерді есептеудің кезеңдері 2.4.2-суретте келтірілген.



2.4.2-сурет. Сенімділікке есептеудің кезеңдері

Сенімділікті есептеу тәсілдері

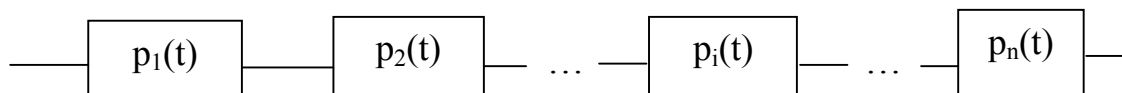
Сенімділіктің құрылымдық схемасы деп, жүйе құрамындағы бөлшектердің күйлеріне қарай отырып, жүйе күйін (жұмыстық немесе жұмыссыздық) біржақты анықтап беретін жүйе элементтерінің графиктік немесе логикалық теңдеулер түрінде көрсетілуін айтамыз. Жүйе сенімділігінің құрылымдық моделі жүйе бөлшектері мен жүйенің сенімділік көрсеткіштерінің арасындағы сандық байланысты анықтауға мүмкіндік береді.

Параллель және тізбектелген құрылым сенімділіктің құрылымдық схемасының қарапайым түрі болып келеді. Егерде жүйе бөлшектерінің біреуінің істен шығуы бүкіл жүйенің істен шығуына әкеп соқса, онда жүйе бөлшектері өзара *тізбектей жалғанады*. Егерде жүйенің істен шығуы жүйе бөлшектерінің барлығы да істен шыққан жағдайда ғана орын алса, онда ол бөлшектерді өзара *параллель жалғайды*. Тізбектей жалғанған бөлшектерді *негізгі жалғау* деп, ал параллель жалғанған бөлшектерді *резервті жалғау* деп те атайды.

Егерде жүйе n тізбектей жалғанған бөлшектерден тұрса (2.4.3-сурет), онда жүйенің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы жүйе құрамындағы бөлшектердің істен шықпау ықтималдылықтарының көбейтіндісімен анықталады:

$$P_{\text{ж}}(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) \quad (2.4.1)$$

мұндағы n – жүйе құрамындағы бөлшектер саны, $p_i(t)$ – i -ші элементтің істен шықпау ықтималдылығы, $P_{\text{ж}}(t)$ – жүйенің істен шықпау ықтималдылығы:



2.4.3-сурет. Тізбектей (негізгі) жалғау

Егерде жүйенің n бөлшектері параллель жалғанса (2.4.4-сурет), онда жүйенің істен шығу және істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылықтары сәйкесінше формулалармен анықталады:

$$Q_{\text{ж}}(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \dots q_n(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t) \quad (2.4.2)$$

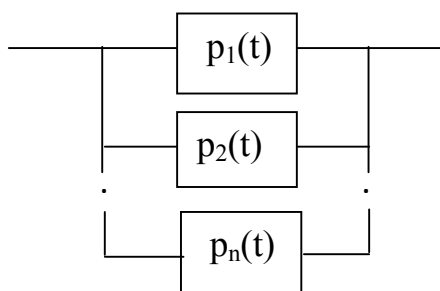
$$P_{\text{ж}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)] \quad (2.4.3)$$

мұндағы $P_{\text{ж}}(t)$ – жүйенің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы, $Q_{\text{ж}}(t)$ – жүйенің істен шығу ықтималдылығы, ал $q_i(t) = 1 - p_i(t)$ i -ші бөлшектің істен шығу ықтималдылығы.

Егерде жүйе сенімділігінің құрылымдық схемасында бөлшектер аралас (тізбекті-параллель) жалғанса, онда ол жүйенің сенімділігі (2.4.1) және (2.4.3) формулаларды қолдана отырып есептеледі.

Жүйелердің сенімділігін есептеу үшін, олардың істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының таралу заңдылығын білу қажет. Эксплуатацияның қалыптасқан кезеңінде таралым заңдылығы ретінде экспоненциалдық заңдылықты алуға болады.

$$p_i(t) = e^{-\lambda_i t}$$



2.4.4-сурет. Параллель (резервті) жалғау

Бұл жағдайда жүйенің сенімділік көрсеткіштері былайша анықталады.

$$P_{\text{ж}}(t) = \prod e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda_{\text{ж}} t} \quad (2.4.4)$$

мұндағы $\lambda_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – таралым параметрі (жүйенің істен шығу қарқыны).

Сонымен, егер бөлшектердің істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының таралым заңдылығы экспоненциалдық заңдылыққа бағынса, онда жүйенің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы да экспоненциалдық заңдылыққа бағынады. Сенімділіктің қалған көрсеткіштері сәйкесінше формулалармен анықталады.

Жүйенің істен шығу ықтималдылығы

$$Q_{\text{ж}}(t) = 1 - e^{-\lambda_{\text{ж}} t} \quad (2.4.5)$$

Істен шығу жиілігі

$$f_{\text{ж}}(t) = \lambda_{\text{ж}} e^{-\lambda_{\text{ж}} t} \quad (2.4.6)$$

Істен шығуға дейінгі жұмыс уақытының орта мәні

$$T_{\text{OP}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ж}}} \quad (2.4.7)$$

Егер n – элемент өзара параллель жалғанса және бөлшектердің істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының таралым заңдылығы экспоненциалдық заңдылыққа бағынса, онда параллель жалғанған элементтер тобының сенімділігі былайша анықталады.

$$Q_{\text{ж}}(t) = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (2.4.8)$$

Егер жүйе құрамындағы бөлшектердің сенімділігі өзара тең болса $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_i = \lambda$, онда

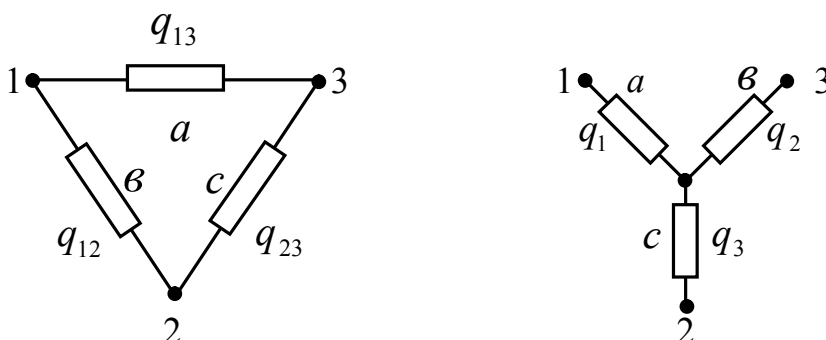
$$Q_{\text{ж}}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^n; \quad P_{\text{ж}}(t) = 1 - Q_{\text{ж}}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (2.4.9)$$

Сонымен, соңғы теңдеуден көретініміз, параллель жалғанған бөлшектері бар жүйе үшін істен шықпау ықтималдылығы экспоненциалдық заңдылыққа бағынбайды.

Практикалық есептеулерде күрделі жүйенің құрылымдық схемасы әдетте қарапайым, эквивалентті тізбекті – параллель схемаға түрлендіріледі. Эквивалентті түрлендіру тәсілдеріне жататыны: *үшбұрышты құрылымдық схеманы эквивалентті жұлдызды схемаға түрлендіру және жұлдызды құрылымдық схеманы үшбұрышты эквивалентті схемаға түрлендіру; күрделі құрылымдық схеманы базалық (ерекше) бөлікке жіктеу тәсілдері.*

Үшбұрышты құрылымдық схеманы эквивалентті жұлдызды схемаға түрлендіру және жұлдызды құрылымдық схеманы үшбұрышты эквивалентті схемаға түрлендіру.

Бұл тәсілдің негізінде күрделі конфигурациялы торапты қарапайым торапқа ауыстырамыз. Ауыстыру кезінде ауыстырылған тораптың сипаттамалары ағашқы жүйенің сенімділігін өзгеріске ұшыратпайтындай етіп алынады. Мысалға, үшбұрыш схемасын жұлдызды схемаға түрлендіру қажет болсын (2.4.5-сурет). a бөлшегінің істен шығу ықтималдылығы q_{13} , b бөлшегінікі - q_{12} , ал c бөлшегінікі q_{23} -ке тең. Жұлдызды схемаға көшу кезінде 1 – 2, 1 – 3 және 2 – 3 тізбектерінің сенімділігі өзгермеуі шарт. Сол себептен жұлдызды схема бөлшектерінің істен шығу ықтималдылықтарының мәндері q_1 , q_2 және q_3 келесі шарттарды (теңдікті) қанағаттандыруы қажет.



2.4.5-сурет. Үшбұрыш схемасын жұлдызды схемаға түрлендіру

$$\begin{cases} q_1 + q_2 - q_1 q_2 = q_{12}(q_{23} + q_{31} - q_{23} q_{31}) \\ q_2 + q_3 - q_2 q_3 = q_{23}(q_{31} + q_{12} - q_{31} q_{12}) \\ q_3 + q_1 - q_3 q_1 = q_{31}(q_{12} + q_{23} - q_{12} q_{23}) \end{cases}$$

Егерде $q_i q_j$ және $q_i q_j q_k$ көбейтінділерін ескермеген жағдайда, соңғы теңдеулер жүйесінен алатынымыз:

$$q_1 = q_{12} q_{31}; \quad q_2 = q_{23} q_{12}; \quad q_3 = q_{31} q_{23}; \quad (2.4.10)$$

Жұлдызды схемасын үшбұрыш схемасына түрлендіру келесі қатынастар арқылы жүзеге асады.

$$q_{12} = \sqrt{\frac{q_1 q_2}{q_3}}; \quad q_{23} = \sqrt{\frac{q_2 q_3}{q_1}}; \quad q_{31} = \sqrt{\frac{q_1 q_3}{q_2}}; \quad (2.4.11)$$

Күрделі құрылымдық схеманы базалық бөлшекке жіктеу тәсілі

Күрделі құрылымдық схеманы түрлендірудің бұл тәсілі қарама-қарсы оқиғалар ықтималдылықтарының қосындысына негізделген. Бұл тәсілді қолданғанда, күрделі құрылымдық схемада базалық элемент (немесе базалық элементтер тобы) таңдалып алынады да, келесі тұжырым жасалады:

- 1) базалық элемент жұмыстық күйде болады, яғни сигнал элемент арқылы өтеді;
- 2) базалық элемент істен шыққан күйде болады, яғни сигнал элемент арқылы өтпейді.

Жоғарыда айтылған тұжырымды ескере отырып, бастапқы құрылымдық схемадан жаңа екі құрылымдық схема алынады. Бірінші схемада базалық бөлшек орнына қысқа тұйықталу қойылады, ал екіншісінде базалық бөлшек ажыратылып тасталады. Алынған қарапайым құрылымдық схемалардың істен шықпау ықтималдылығы жеке-жеке есептеліп, содан соң бір-біріне қосылады.

Есептеу кезінде келесі тәртіп қолданылады: біріншісі – базалық элементтің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығына көбейтіледі, ал екіншісі – базалық элементтің істен шығу ықтималдылығына көбейтіледі. Алғашқы құрылымдық схеманың істен шықпау ықтималдылығы әрбір схеманың істен шықпау ықтималдылықтарының қосындысына тең.

Күй тәсілі (метод перебора состояния)

Көптеген элементтерден тұратын кез келген жүйе әртүрлі күйде болуы мүмкін. Барлық күйлер жиынтығын екі топқа бөлуге болады: жүйенің жұмыстық күйі және жүйенің істен шығу күйі.

Егерде жүйенің барлық жұмыстық күйлерінің сандары m болса, онда жұмысқа қабілеттілік күйлерінің ықтималдылығы келесі формуламен анықталады:

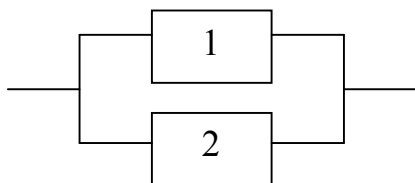
$$P_{\text{ж}}(t) = \sum_{i=1}^m \prod_{n_i} P_{n_j} \prod_{k_i} q_{k_j} \quad (2.4.12)$$

Істен шығу күйлерінің ықтималдылығы

$$Q_{\text{ж}}(t) = 1 - P_{\text{ж}}(t) \quad (2.4.13)$$

мұндағы m – жүйенің жұмыстық күйінің жалпы саны, P_n – жұмыстық күйлерінің ықтималдылығы, Q_k – істен шығу ықтималдылығы, n_i – жүйенің j -ші күйіндегі істен шықпаған бөлшектер саны, k_j – жүйенің j -ші күйіндегі істен шыққан бөлшектер саны.

Бұл тәсілді қолдануды төмендегі қарапайым мысалмен көрсетейік. Жүйе сенімділігінің құрылымдық схемасы 2.4.6-суретте келтірілген.



2.4.6-сурет. Сенімділіктің құрылымдық схемасы

Күй тәсілін қолдануда есептеу нәтижелерін 2.4.1-кесте түрінде келтіру ыңғайлы болады. Кестеде “+” таңбасымен жүйенің жұмыстық күйі, ал “-” таңбасымен – жұмыссыздық күйі белгіленген.

2.4.1-кесте

Есептеу нәтижелері

Күй реті	Бөлшектердің күйлері		Күй ықтималдылықтары
	1 бөлшек	2 бөлшек	
1	+	+	$P_1 \cdot P_2$
2	-	+	$q_1 \cdot P_2$
3	+	-	$P_1 \cdot q_2$

Бұл келтірілген мысалда жүйенің жұмыс істеу ықтималдылығы мынаған тең.

$$P_c(t) = P_1 P_2 + q_1 P_2 + P_1 q_2 .$$

Егер жүйелердің құрылымдық схемалары өте күрделі болып келген жағдайда, күй тәсілін қолдану есептеу операцияларының тым көбейіп кетулеріне байланысты тиімсіз болып келеді.

Минимальдық жол және минимальдық қима тәсілі

Кей жағдайларда күрделі жүйелердің сенімділігін талдау кезінде сенімділіктің шекаралық мәндерін (жоғарыдан және төменнен) табу жеткілікті. Істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығының жоғарғы шекаралық мәнін бағалауда жүйенің жұмыстық күйін қамтамасыз ететін элементтердің минимальдық санын анықтайды. Кез келген құрылымдағы минимальдық жол деп, істен шықпаған элементтердің минимальдық жиынтығын айтады. Бұл жиынтықтан кез келген элементтің істен шығуы жүйенің жұмыстық күйінен істен шығу күйіне түсіреді. Сондықтан, минимальдық жол тәсілімен құрылымдық схеманы құру барысында алынған жол бойынша (элементтер жиынтығы) элементтер өзара тізбектеліп жалғанады, ал жолдар өзара параллель жалғанады.

Минимальдық қиманы анықтау барысында элементтердің минимальдық жиынтығын таңдап аламыз. Таңдап алынған элементтердің жұмыстық күйінен істен шығу күйіне ауысқан жағдайда, бүкіл жүйені істен шығу күйіне түсіруі қажет. Элементтер жиынтығының қимасын дұрыс тапқан кезде, қимадағы кез келген элементті жұмыстық күйге түсірсе, онда жүйе де жұмыстық күйге

ауысады. Әрбір қиманың істен шығуы жүйенің істен шығуына әкеп соғатын болғандықтан, структуралық схеманы минимальдық қима тәсілімен құру барысында, қималар өзара тізбектей жалғанады, ал қимада орналасқан элементтер өзара параллель жалғанады. Бұл тәсіл сенімділікті төменнен бағалайды.

Күрделі жүйелерде бірнеше минимальдық жолдар мен қималар болуы мүмкін. Дербес жағдайда, n тізбектей жалғанған элементтерде n минимальдық қима бар (қима әрбір элементтерден өтеді), ал минимальдық жол біреу-ақ. Параллель жалғанған n элементтерде n минимальдық жол (әрбір элементтен өтетін) және бір минимальдық қима бар.

Сонымен, минимальдық жолмен минимальдық қиманы құру барысында, жүйелер параллель – тізбектей немесе тізбектей – параллель жалғанған элементтері бар құрылымға түрленеді.

Сенімділіктің логика-ықтималдылықтық тәсілі

Бұл тәсілдің теоретикалық негізі болып математикалық логика (булева алгебра) алынады. Математикалық логика “ақиқат (1)” және “ақиқат емес (0)” деген түсініктерге негізделген. Логикалық функция логикалық айнымалы шамалар $x_1, x_2, \dots, x_n$, арқылы беріледі. Логикалық функцияны құруда негізінен үш операция қолданылады: логикалық жоққа шығару ($\bar{x}$), логикалық көбейту $\wedge$ (конъюнкция, және), логикалық қосу $\vee$ (дизъюнкция, немесе). Сенімділік теориясында логикалық функцияны жұмыстық (сенімділік) функциясы деп атайды. Бұл функция ауызша, ақиқаттық кестелермен, алгебралық өрнектермен немесе графиктермен берілуі мүмкін.

Өрнектерді түрлендіру кезінде келесі тепе-теңдіктер мен заңдылықтар қолданылады.

Логикалық қосу

$$1 \vee x = 1$$

$$0 \vee x = x$$

$$x \vee x = x$$

$$x \vee \bar{x} = 1$$

Логикалық көбейту

$$0 \wedge x = 0$$

$$1 \wedge x = x$$

$$x \wedge x = x$$

$$x \wedge \bar{x} = 0$$

Коммутативтілік заңдылық:

$$x_1 \vee x_2 = x_2 \vee x_1; \quad x_1 \wedge x_2 = x_2 \wedge x_1;$$

Ассоциативтілік заңдылық:

$$x_1 \vee (x_2 \vee x_3) = x_2 \vee (x_1 \vee x_3); \quad x_1 \wedge (x_2 \wedge x_3) = x_2 \wedge (x_1 \wedge x_3);$$

Дистрибутивтік заңдылық:

$$x_1 \wedge (x_2 \vee x_3) = (x_1 \wedge x_2) \vee (x_1 \wedge x_3);$$

$$x_1 V (x_2 \wedge x_3) = (x_1 V x_2) \wedge (x_1 V x_3);$$

Дуальдық заңдылық (закон дуальности):

$$\overline{x_1 V x_2} = \overline{x_1} \wedge \overline{x_2}; \quad \overline{x_1 \wedge x_2} = \overline{x_1} V \overline{x_2};$$

Жұту (поглощения) заңдылығы:

$$x_1 V (x_1 \wedge x_2) = x_1; \quad x_1 \wedge (x_1 V x_2) = x_1;$$

Жұмыстық функциясын алгебралық формада жазуда төмендегі өрнектер қолданылады.

Дизъюнктивті қалыпты форма ДҚФ (совершенная дизъюнктивная нормальная форма СДНФ)

$$y = \sum_{i=1}^k y_i m_i \quad (2.4.14)$$

Немесе конъюнктивті қалыпты форма КҚФ (совершенная конъюнктивная нормальная форма СКНФ)

$$y = \prod_{i=1}^k (y_i + M_i); \quad k = 2^n \quad (2.4.15)$$

мұндағы y_i – жұмыстық функциясының 0 немесе 1 жолдарына сәйкес келетін мәндері, m_i – i -ші жолдағы элементтердің конъюнкциялық жиынтығы, M_i – i -ші жолдағы элементтердің дизъюнкциялық жиынтығы.

Мысал ретінде үш элементтен тұратын жүйенің жұмыстық қабілетін қарастырайық. Жүйенің жұмыстық функциясы 2.4.2-кестеде берілген.

2.4.2-кесте

Ақиқаттық кесте

x_1	x_2	x_3	y
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

Ақиқаттық кестеге сүйене отырып, жүйенің жұмыстық функциясын алгебралық формада жазамыз (төменде « $\cdot$ » таңбасымен логикалық көбейту, ал “+” таңбасымен логикалық қосу белгіленген).

ДҚФ

$$y = 0 \cdot (\overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3) + 0 \cdot (x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}) + 0 \cdot (\overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3}) + 0 \cdot (\overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3) + \\ + 1 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3}) + 1 \cdot (x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3) + 1 \cdot (\overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3) + 1 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3);$$

КҚФ

$$y = (0 + x_1 + x_2 + x_3) \cdot (0 + \overline{x_1} + x_2 + x_3) \cdot (0 + x_1 + \overline{x_2} + x_3) \cdot (0 + x_1 + x_2 + \overline{x_3}) \cdot \\ \cdot (1 + x_1 + x_2 + \overline{x_3}) \cdot (1 + x_1 + \overline{x_2} + x_3) \cdot (1 + \overline{x_1} + x_2 + x_3) \cdot (1 + x_1 + x_2 + x_3);$$

Әдетте, айнымалы шаманың саны үштен артып кетсе жүйенің жұмыстық функциясының ақиқаттық кестесі өте үлкейіп кетеді, сондықтан ондай функцияны минимизациялау қиынға соғады. Есептеулердің көлемін кішірейту үшін, математикалық логиканың жіктеу теоремасын қолдана отырып, жұмыстық функцияны декомпозициялайды. Функцияны кез келген айнымалыға арнап жіктеуі мүмкін.

$$y = F(x_1, \overline{x_1}, x_2, \dots, x_n) = x_1 F_1(1, 0, x_2, \dots, x_n) + \overline{x_1} F_0(0, 1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.4.16)$$

Жұмыстық күйдің алгебралық формадағы жазылуынан ықтималдылық түрге көшірілуі (жұмыстық функцияны арифметикаландыру) келесі тәртіппен жүргізіледі: Егер $x_1, \dots, x_n$ оқиғалары өзара байланысты болмаса және бірлеспеген (несовместные), онда x_i шамасы ықтималдылықпен $p(x_i)$ алмастырылады, яғни

$$p(y) = p(x_1 + x_2) = p(x_1) + p(x_2) \quad (2.4.17)$$

немесе

$$p(y) = p(x_1 \cdot x_2) = p(x_1) \cdot p(x_2) \quad (2.4.18)$$

Бірлескен (совместные) оқиғалар үшін $x_1, \dots, x_n$ ықтималдылыққа көшу келесі формулалар арқылы орындалады.

$$x_1 + x_2 = p(x_1) + p(x_2) - p(x_1) \cdot p(x_2); \quad (2.4.19)$$

$$x_1 \cdot x_2 = p(x_1) \cdot p(x_2); \quad (2.4.20)$$

$$p(\overline{x}) = 1 - p(x). \quad (2.4.21)$$

Қарастырылған тәсіл бөлшектері тек қана екі күйде болатын (жұмыстық және жұмыссыздық) жүйелердің сенімділігін талдауда қолданылады.

Қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділігін есептеу

Қалыпқа келтірілетін жүйелердің сенімділігін есептеуде кеңінен таралған тәсілдерге жататыны: ықтималдылықтың классикалық теориясын қолдану,

жаппай қызмет көрсету теориясына (теория массового обслуживания) негізделген есептеулер, граф теориясына негізделген тәсіл. Төменде граф-өткелдерін (граф переходов) қолдану тәсілдері қарастырылады.

Граф өткелдерін (граф переходов) қолдану тәсілі

Іс жүзінде жүйелердің бір күйден екіншісіне ауысу процестері кездейсоқ уақыт моменттерінде болып тұрады. Жүйелердің түрлі күйге ауысуларын граф өткелдері арқылы бейнелеу тиімді тәсіл.

Мысал ретінде қарапайым, тек екі күйде ғана бола алатын, қалыпқа келтірілетін жүйені қарастырайық. Қарастыру барысында келесі пайымдамалар жасаймыз:

1) жүйеде орын алатын істен шығу ағындары қарапайым (пуассондық) ағындар және де істен шығу оқиғаларының аралықтарындағы жұмыс уақыттары экспоненциалдық заңдылыққа бағынады, яғни

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

мұндағы $\lambda = \text{const}$ істен шығу ағындарының параметрі (істен шығу қарқыны);

2) жүйені қалыпқа келтіру уақыты кездейсоқ шама және экспоненциалдық заңдылыққа бағынады, яғни

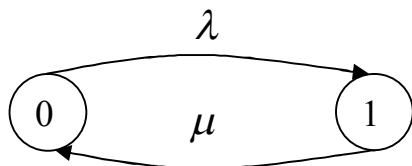
$$P(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

мұндағы $\mu = \text{const}$ қалыпқа келтіру қарқыны.

Егерде жүйе тек екі күйде ғана болса, яғни жұмыстық немесе істен шығу (қалыпқа келтіру), онда бір күйдің ықтималдылығы $P_0(t)$ азайған жағдайда, екіншісінікі $P_1(t)$ көбейеді, себебі кез келген уақытта

$$P_0(t) + P_1(t) = 1 \quad (2.4.22)$$

Жұмыстық күйден істен шығу күйіне түсу қарқынын λ арқылы, ал істен шыққан күйден жұмыстық күйге түсу қарқынын μ деп белгілесек, онда күйлердің граф өткелдерін 2.4.7-суретте көрсетілгендей сызбамен бейнелеуге болады



2.4.7-сурет. Граф өткел (күй графы)

Сызбадағы 0 – оқиғасы жүйенің жұмыстық күйін сипаттайды (жүйе элементтерінің бәрі істен шықпаған), ал 1 – оқиғасы жүйенің істен шыққан күйін сипаттайды. Жүйенің істен шығу және қалыпқа келтіру оқиғаларын есепке алғандағы, күй ықтималдылықтарының өзгеру динамикасын сипаттаушы теңдеуді қорытып шығарайық.

N жүйелердің жалпы саны болса, онда 0 – күйдегі жүйелердің жалпы

саны $NP_0(t)$, ал 1 – күйдегі жүйелердің жалпы саны $NP_1(t)$ тең.

0 – күйдегі жүйелердің аз уақыт аралығындағы Δt өзгерісі мынаған тең

$$N\Delta P_0(t) = -\lambda\Delta tNP_0(t) + \mu\Delta tNP_1(t)$$

мұндағы $\lambda\Delta t$ – 0 күйдегі жүйелердің Δt уақыттағы істен шықпауларының шартты ықтималдылығы, ал $\mu\Delta t$ – 1 күйдегі жүйелердің Δt уақыттағы істен шығуларының шартты ықтималдылығы. Теңдеудің оң жағының бірінші мүшесі Δt интервалының ішіндегі істен шыққан жүйелердің санын береді (интервалдың бас жағында жүйелер жұмыстық күйде болған), ал екінші мүшесі Δt интервалының ішіндегі қалыпқа келтірілген жүйелердің санын береді (интервалдың бас жағында жүйелер істен шыққан күйде болған).

Сол сияқты, 1 – күйдегі жүйелердің аз уақыт аралығындағы Δt өзгерісі мынаған тең

$$N\Delta P_1(t) = \lambda\Delta tNP_0(t) - \mu\Delta tNP_1(t)$$

Құрылған теңдеулердің екі жақтарында $N\Delta t$ бөліп, шекке көшіп ($\Delta t \rightarrow 0$), күй ықтималдылықтарының өзгеру динамикасын сипаттаушы дифференциалдық теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda \cdot P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \end{cases} \quad (2.4.23)$$

(2.4.23) теңдеулер жүйесін шешу кезінде Лаплас түрлендіруін қолдансақ

$$F(z) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-zt} f(t) dt$$

алатынымыз

$$zP_0(z) - P_0(0) = -\lambda P_0(z) + \mu P_1(z) \quad (2.4.24)$$

$$zP_1(z) - P_1(0) = \lambda P_0(z) - \mu P_1(z) \quad (2.4.25)$$

мұндағы $p_0(0) = 1$ және $p_1(0) = 0$ бастапқы берілген шарттар.

Бастапқы шартты ескере отырып, (2.4.24) теңдеуден $P_1(z)$ ықтималдылығын табамыз:

$$P_1(z) = P_0(z) \frac{\lambda}{z + \mu} \quad (2.4.26)$$

Соңғы теңдеуді (2.4.25) теңдеуіне қойып, бастапқы шартты ескере отырып алатынымыз:

$$P_0(z) = \frac{1}{z + (\lambda + \mu)} + \frac{\mu}{z[z + (\lambda + \mu)]} \quad (2.4.27)$$

Лаплас түрлендіруінің төмендегі кестесін (2.4.3-кесте) қолдана отырып, бейнеден түпнұсқаға көшіп, даярлық функциясын $K_D(t)$ аламыз

$$K_D(t) = P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (2.4.28)$$

Даярлық функциясы $K_D(t)$ жүйелердің t уақыт моментіндегі жұмыстық күйде болу ықтималдылығын айқындайды.

2.4.3-кесте

Есептеуде қолданылатын Лаплас түрлендіруінен үзінді

$F(z) = L[f(t)]$	$f(t)$
$\frac{1}{z + a}$	e^{-at}
$\frac{1}{z(z + a)}$	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$
$zF(z) - f(0)$	$f(t)$

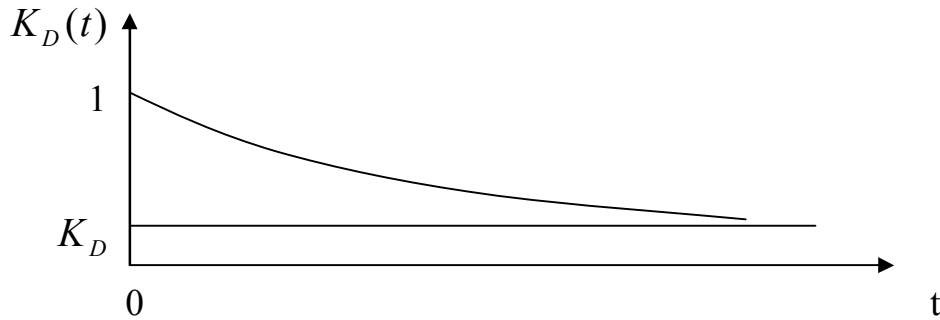
Даярлық функциясының уақытқа тәуелділігі 2.4.8-суретте келтірілген. Даярлық коэффициентін K_D анықтаудың бірнеше тәсілдері бар. Оның бір тәсілі, $K_D(t)$ мәнінің $t \rightarrow \infty$ ұмтылғандағы шегін табу. Екінші әдісі, дифференциалдық теңдеулер жүйесіндегі $dP_i(t)/dt$, $i=1,2,\dots$ мәндерін нөлге теңеп, алынған алгебралық теңдеулер жүйесін жұмыстық күй ықтималдылықтарына арнап шешу.

Уақыт шексіздікке ұмтылғанда ($t \rightarrow \infty$) даярлық функциясы стационарлық мәнге K_D ұмтылады (2.4.8-сурет). $K_D(t)$ функциясының шекті мәнін кейде даярлықтың стационарлық коэффициенті K_D деп атайды.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_D(t) = K_D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.4.29)$$

Істен шығу λ және қалыпқа келтіру μ қарқындарын істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының және қалыпқа келтіру уақытының орта мәндері арқылы өрнектесек:

$$\lambda = \frac{1}{t_{OP}}; \quad \mu = \frac{1}{t_{KOP}}$$



2.4.8-сурет. Даярлық функциясының уақытқа тәуелділігі

Соңғы өрнекті даярлық коэффициентінің формуласына қойсақ, түрленген келесі формуланы аламыз:

$$k_D = \frac{t_{OP}}{t_{OP} + t_{kOP}} \quad (2.4.30)$$

(2.4.30) формуласы істен шығу оқиғаларының тек қана қарапайым ағындары үшін емес, кез келген кездейсоқ ағындар үшін де тура.

Практикалық есептеулерде, кейбір жасалған болжамдардың арқасында дифференциалдық теңдеулер жүйесін құруды және шешуді жеңілдетеді.

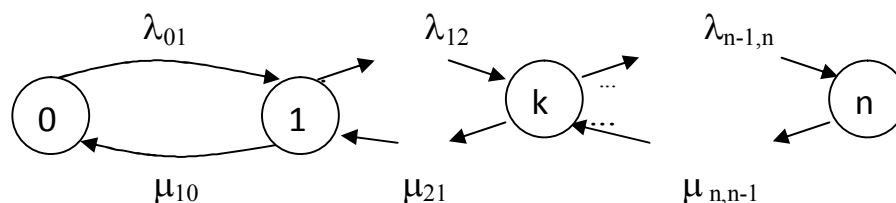
Күйлердің графы берілген жағдайда, жұмыстық күйді сипаттаушы теңдеуді келесі тәртіппен құруға болады: теңдеудің сол жағына dP_k/dt мүшесін (P_k - k -ші күйінің ықтималдылығы) жазып, ал оң жағына, қаралып отырған оқиға (күй) қанша стрелкамен байланысса, сонша мүше жазылады. Әрбір мүше сәйкесінше қарқындармен (λ немесе μ) стрелка шығып жатқан күй ықтималдылықтарының көбейтіндісіне тең. Бұл жерде шыққан стрелкаға минус таңбасы сәйкес келеді, ал кіріп жатқан стрелкаға плюс таңбасы сәйкес келеді.

Егерде құрылған теңдеулер жүйесінің оң жақтарының қосындысы нөлге тең болса, онда теңдеу дұрыс құрылған деп есептеледі. Жалпы жағдайда, теңдеулер саны жүйенің түсетін күйлерінің санына тең болады.

Сонымен қатар тұрақталған режимде күй ықтималдылықтарын тұрақты шама деп қарастыруға болады, сол себептен $dP_k/dt=0$ ($K=1,2,\dots$). Бұл жағдайларда дифференциалдық теңдеулер жүйесі алгебралық теңдеулер жүйесіне көшеді. Мысалға, (2.4.23) теңдеулері бұл жағдайда былайша түрленеді.

$$\begin{cases} 0 = -\lambda P_0 + \mu P_1 \\ 0 = \lambda P_0 - \mu P_1 \\ P_0 + P_1 = 1 \end{cases} \quad (2.4.31)$$

Егерде жүйе күйлері 2.4.9-суретте көрсетілгендей граф түрінде берілсе (күйлердің саны екіден көп), онда сенімділікті есептеуді жеңілдету үшін келесі тәртіпті қолданады:



2.4.9-сурет. Қалыпқа келтірілетін жүйелер үшін граф өткел түрі

1) Әрбір күй үшін күй теңдеулерін құру қажет. Құру кезінде теңдеулердің сол жағына нөлдер қойылады, оң жағына қарастырылып отырған күй қанша стрелкамен байланысса, сонша мүше жазылады. Әрбір мүше қарқындармен (жұмыстық немесе қалыпқа келтіру) және қарастырылып отырған күй ықтималдылығының көбейтіндісімен анықталады. Егер стрелка шығып жатса, онда таңбасы + (плюс), ал кіріп жатса, онда таңбасы – (минус) қойылады.

2) Әрбір күй ықтималдылықтары келесі өрнекпен анықталады:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{\lambda_{12}}{\mu_{21}} \cdot P_0 \\ P_2 = \frac{\lambda_{23} \cdot \lambda_{12}}{\mu_{32} \cdot \mu_{21}} \cdot P_0 \\ P_k = \frac{\lambda_{(k-1) \cdot k} \cdot \lambda_{(k-2)(k-1)} \cdots \lambda_{01}}{\mu_{k(k-1)} \cdot \mu_{(k-1)(k-2)} \cdots \mu_{10}} \cdot P_0 \end{cases} \quad (2.4.32)$$

Мұндағы P_0 – 0 күйінің ықтималдылығын (жүйенің барлық элементтері істен шықпаған) анықтайды да, келесі формуламен анықталады:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12} \lambda_{01}}{\mu_{21} \mu_{10}} + \dots + \frac{\lambda_{(n-1)n} \cdots \lambda_{01}}{\mu_{n(n-1)} \cdots \mu_{10}}} \quad (2.4.33)$$

Егерде бөлшектердің істен шықпау ықтималдылықтары есептелген жағдайда, даярлық функциясы $k_D(t)$ былайша анықталады:

$$k_D(t) = \sum_{j=1}^k P_j(t) = 1 - \sum_{z=1}^m P_z(t), \quad (2.4.34)$$

мұндағы j және Z – жүйенің жұмыстық және жұмыссыздық күйлері
Еріксіз тұру функциясы

$$k_{ET}(t) = 1 - k_D(t). \quad (2.4.35)$$

Істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін келесі ережені қолдана отырып табуға болады. Алгебралық теңдеулер жүйесі құрылған соң, бірінші теңдеудің сол жағына (жүйенің жұмыстық күйін сипаттаушы) минус бір (-1) қойылады, ал қалған теңдеулерге (істен шығу күйлерін сипаттаушы)-нөлдер қойылады. Қалған теңдеулердің оң жағындағы ықтималдылықтардың P_i орнына, жүйенің сәйкесінше күйде болу уақыты T_i қойылады. Алынған теңдеулер жүйесінен T_i мәні анықталады. Жүйенің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақытының орта мәні келесі қосынды ретінде анықталады, яғни

$$T_{OP} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.4.36)$$

мұндағы n – жұмыстық күй саны.

Мысал ретінде 2.4.10-суретінде көрсетілген құрылымдық схеманы қарастырайық. Схемаға кіретін әрбір элементтің істен шығу қарқыны λ тең болған жағдайда, жүйенің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін анықтау керек. Жүйе элементтері қалыпқа келтірілмейді, яғни $\mu = 0$.

2.4.11-суретте жүйенің әрқилы күйде болуын граф-өткелдер арқылы бейнеленуі көрсетілген. Мұндағы 0 – жүйенің барлық элементтері істен шықпаған, 1 – элементтердің біреуі істен шыққан, 2 – екі элемент істен шыққан, 3 – үш элемент істен шыққан күйлерін сипаттайды. Жүйенің жоғарыда аталған әрбір күйде болу уақыттарын анықтайтын теңдеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

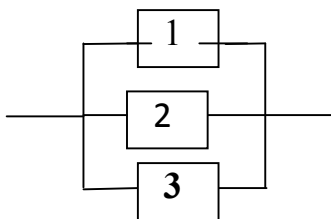
$$\begin{aligned} -1 &= -3\lambda T_1 \\ 0 &= 3\lambda T_1 - 2\lambda T_2 \\ 0 &= 2\lambda T_2 - \lambda T_3 \end{aligned}$$

Теңдеулер жүйесін сәйкесінше уақыттарға арнап шешіп, алатынымыз

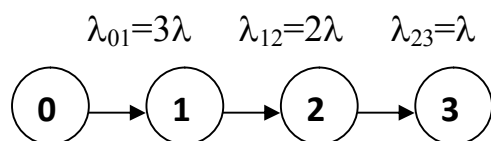
$$T_1 = 1/3\lambda; \quad T_2 = 1/2\lambda; \quad T_3 = 1/\lambda;$$

Істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін анықтаймыз:

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^3 T_i = T_1 + T_2 + T_3 = 11/6\lambda$$



2.4.10-сурет. Құрылымдық схема



2.4.11-сурет. Граф өткел

Резервтеу. Резервтелген жүйелердің сенімділігін есептеу

Жүйелердің сенімділігін арттыру үшін резервтеу тәсілі қолданылады. Резервтеу кезінде жүйелер қосалқы бөлшектермен жабдықталады. Іс жүзінде техникалық жүйелерді резервтеудің бірнеше түрлері қолданылады.

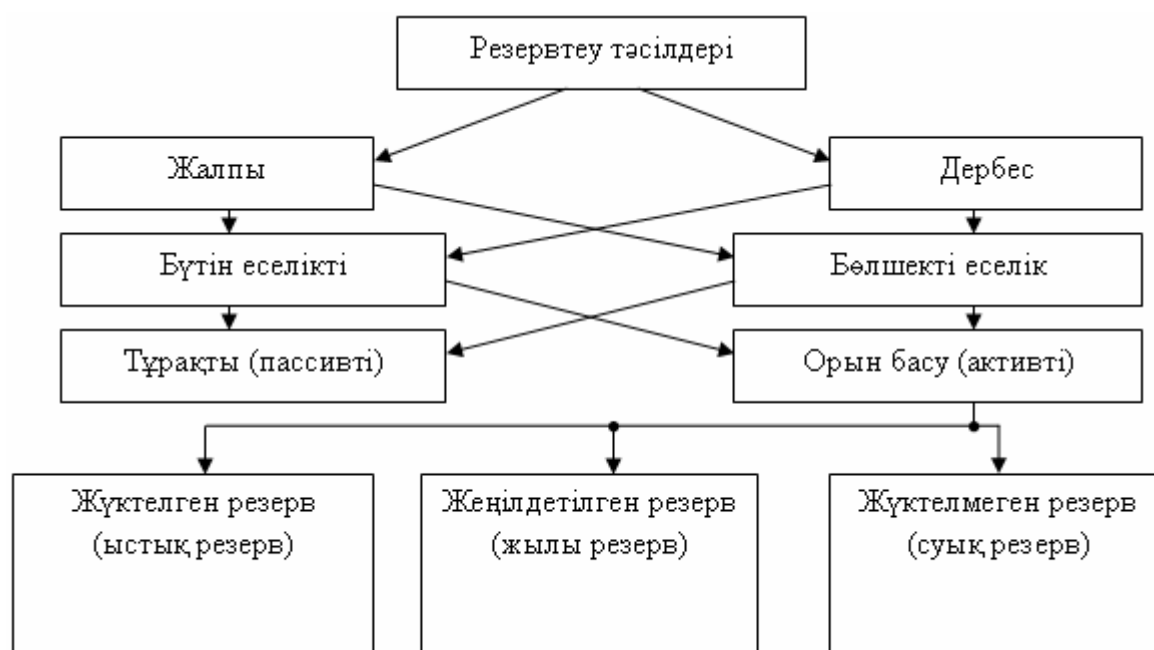
Функционалдық резервтеу. Бұл резервтеудің негізінде жүйе бөлшектері қосымша функция атқара алатындай етіп жабдықталады немесе бір функцияны орындау үшін түрлі техникалық құралдар қолданылады. Функционалдық резервтеу жүйелердің функционалдық сенімділіктерін жоғарылатуға арналған.

Уақыттық резервтеу. Бұл резервтеудің негізінде жүйелердің істен шыққан уақыттарын есепке алу жатыр. Жүйе бөлшектерінің істен шыққан (жұмыс істемеген) уақытында, оның атқаратын функциясы жинағыш құрылғы (аккумулирующее устройства) көмегімен ары қарай үзілмей жалғастырылады. Мысалға, белгілі бір операцияны орындауға t_1 уақыт қажет болсын. Уақыттық резервтеуде бұл операцияға $(t+t_p)$ уақыт мөлшері жоспарланады, мұндағы t_p резервтеу уақыты (жүйелерді немесе ақпараттарды қалыпқа келтіруге қажет уақыт, қысқа мерзімді істен шығу уақыты т.с.с.).

Ақпараттық резервтеу. Бұл резервтеудің негізінде артық ақпараттарды (избыточная информация) қолдану жатыр. Мысалы, ақпараттарды дұрыс жеткізу үшін, ақпараттарды кодтау кезінде қосымша разрядтарды қолдану (қосымша разрядтар кеткен қателіктерді байқап қалу үшін қажет) немесе ақпараттарды бейнелеу және өңдеу кездерінде қосымша символдарды енгізу, т.с.с.

Құрылымдық (аппараттық) резервтеу. Бұл резервтеудің негізінде жүйе құрамына қосымша бөлшектер енгізу жатыр. Егер негізгі бөлшектер істен шықса, резервтегі бөлшек оның атқаратын функциясын жалғастырады.

Резервтеуші бөлшектерді қосу тәртібіне қарай, резервтеудің келесі тәсілдері қолданылады (2.4.12-сурет).



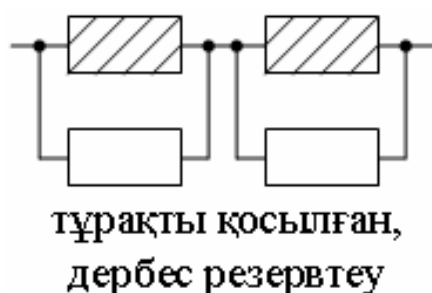
2.4.12-сурет. Резервтеу тәсілдері

Жалпы резервтеуде жүйе түгелімен резервтеледі. Дербес резервтеуде – жүйе бөлшектері арқылы резервтеледі. Тұрақты резервте – резервтік бөлшектер үздіксіз іске қосылып тұрады. Орын басу резервінде – резервтегі бөлшек негізгі бөлшек істен шыққанда ғана қосылады. Орын басу кезінде үш түрлі жағдай орын алуы мүмкін: ыстық резерв – негізгі және резервтегі бөлшектер бірдей жұмыстық жағдайда болады (олардың істен шығу қарқындары өзара тең, яғни

$\lambda_n = \lambda_p$); жылы резерв – резервтегі бөлшектің жұмысы жеңілдетілген, сол

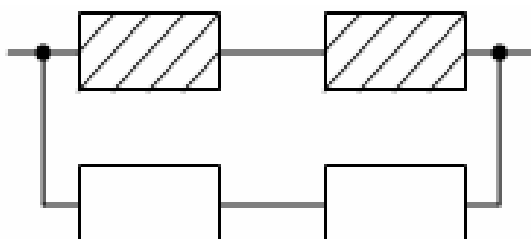
себептен оның істен шығу қарқыны біршама кем болады, яғни $\lambda_n > \lambda_p$; суық резерв – резервтегі бөлшек негізгі бөлшек істен шыққан уақытта барып қосылады.

2.4.13-суретте резервтегі бөлшек *тұрақты қосылған, дербес резервтеу* тәсілі келтірілген. Бұл тәсілдің артықшылығы, резервтегі бөлшек әрдайым даярлық күйде тұрады және оны іске қосуға ешқандай уақытты қажет етпейді. Кемшілігі, резервтегі бөлшекте негізгі бөлшекпен бірге өзінің қорын шығындатады.



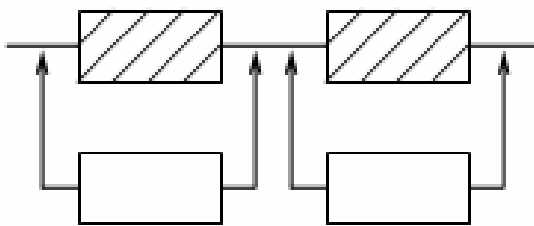
2.4.13-сурет

2.4.14-суретте резервтегі бөлшек *тұрақты қосылған, жалпы резервтеу* тәсілі келтірілген. Бұл тәсіл дербес резервтеумен салыстырғанда тиімділігі аз болып келеді, себебі, егер негізгі бөлшектердің біреуі істен шыққан мезетте, бүкіл резервтегі бөлшектерді қосу қажет болады. Бірақ та бұл тәсіл резервтегі бөлшектерді ажыратып-қосқыш құралдарын аз мөлшерде қажет етеді.



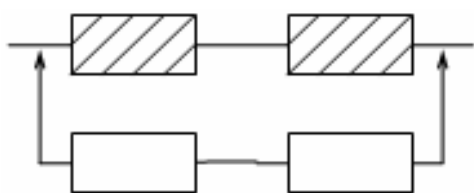
2.4.14-сурет

2.4.15-суретте *дербес* және істен шыққан бөлшектерді резервтегі бөлшектермен *орын басу (алмастыру)* арқылы резервтеу тәсілі келтірілген. Бұл тәсілдің артықшылығы, резервтегі бөлшек өзінің жұмыстық қорын сақтайды және де қажетті жағдайда қандайда бір функцияны атқаруға жұмылдыруға болады. Кемшілігі, резервтегі бөлшектерді қосуға біршама уақыттың жұмсалыуында.

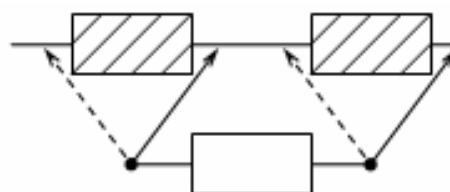


2.4.15-сурет

Төмендегі суреттерде сәйкесінше *жалпы және орын басу тәсілімен* резервтеу (2.4.16-сурет), сонымен қатар *сырғымалы түрде резервтеу* тәсілі (2.4.17-сурет) көрсетілген.



2.4.16-сурет



2.4.17-сурет

Сырғымалы түрде резервтеу тәсілінде резервтегі бір бөлшек жүйе құрамындағы бірнеше бөлшектерді алмастырады. Резервтеудің негізгі параметрі ретінде оның еселігі (кратность) алынады. Резервтеу еселігі k деп, резервтегі бөлшек сандарының негізгі бөлшек сандарына қатынасын айтады, яғни

$$k = \frac{m}{n}. \quad (2.4.37)$$

m – резервтегі элементтер саны n – негізгі бөлшектердің саны.

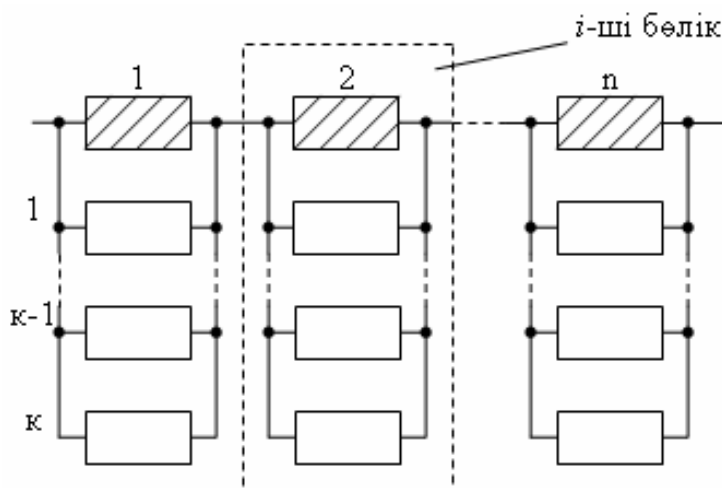
Резервтеудің бүтін және бөлшек еселіктері болады. Егер $n=1$ болса, немесе $n=m$ болса, онда резервтеудің еселігі k бүтін сан болады. Егер $n>1$, онда k саны бөлшек түрінде болады (m және n сандарын бір-бірімен қысқартуға болмайды).

Төменде резервтелген кейбір жүйелердің сенімділік көрсеткіштері қарастырылған.

Дербес және тұрақты қосылыспен резервтеу (бүтін еселікті).

Егер жүйе n бөліктен тұрса (2.4.18-сурет), онда жүйенің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы былайша анықталады. Жүйенің i -ші бөлігінің істен шықпау ықтималдылығы:

$$P_i(t) = 1 - \prod_{j=1}^{k+1} q_j = 1 - \prod_{j=1}^{k+1} (1 - P_j);$$



2.4.18-сурет. Бөлшектерді жалғау схемасы

Резервтелген жүйенің істен шықпау ықтималдылығы $P_c(t)$

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^{k+1} (1 - P_j) \right] \quad (2.4.38)$$

мұндағы q_j – j -ші бөлшектің істен шығу ықтималдылығы, P_j – j -ші бөлшектің істен шықпау ықтималдылығы, k – резервтеу еселігі, n – негізгі бөлшектердің саны.

Егер барлық элементтердің сенімділігі бірдей болған жағдайда, жүйенің істен шықпау ықтималдылығы былайша анықталады.

$$P_c(t) = \left[1 - (1 - P_j)^{k+1} \right]^n \quad (2.4.39)$$

Жалпы және тұрақты қосылыспен резервтеу (бүтін еселікті).

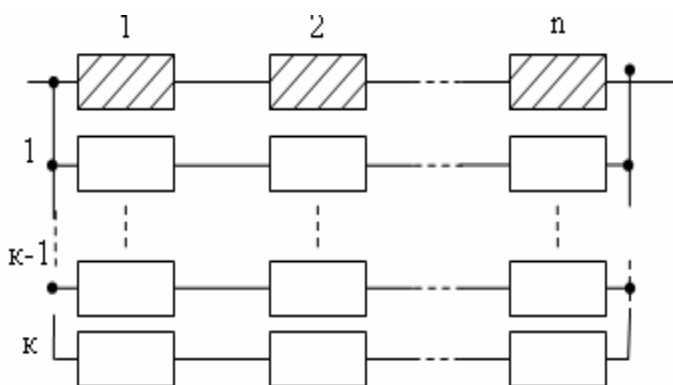
Резервтелген жүйенің істен шықпау ықтималдылығы $P_c(t)$ (2.4.19-сурет).

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{j=1}^n P_j(t) \right]^{k+1} \quad (2.4.40)$$

n – негізгі бөлшектердің саны, k – резервтелген тізбектер саны,

$P_i(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t)$ – i – ші тізбектің істен шықпау ықтималдылығы.

Қайсыбір бөлшектердің істен шығуы «қысқа тұйықталу» немесе «үзіліс» оқиғаларымен сипатталады. Мысалы, реле, диод типтес бөлшектердің басқару сигналдары болған жағдайдағы іске қосылмауы (үзіліс) немесе басқару сигналы болмаған жағдайда реленің, диодтың кенеттен іске қосылуы (қысқа тұйықталу).



2.4.19-сурет.
Бөлшектерді жалғау
схемасы

Екі полюсті бөлшектерді резервтеу

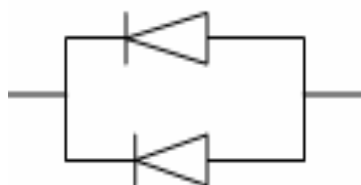
Егер үзілістен болатын істен шығу ықтималдылығын q_{yz} деп белгілесек, ал қысқа тұйықталудан болатын істен шығу ықтималдылығы q_{km} болса, онда мұндай бөлшектердің жалпы істен шығу ықтималдылығы былайша анықталады.

$$Q = q_{yz} + q_{km}, \quad (2.4.41)$$

ал сенімділігі мынаған тең

$$P = 1 - Q = 1 - (q_{yz} + q_{km}). \quad (2.4.42)$$

Егер диод параллель жалғанса (2.4.20-сурет), онда үзілістен болатын істен шығу ықтималдылығы азаяды, себебі, біреуінде үзіліс болса, екіншісі істейді. Ал қысқа тұйықталудан болатын істен шығудың сенімділігі жоғарыламайды, себебі, тек біреуінің ғана қысқа тұйықталуы бүкіл жүйені істен шығарады.

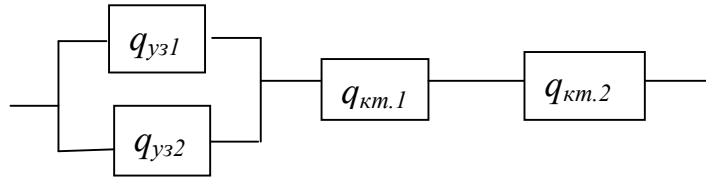


2.4.20-сурет. Параллель жалғау

Параллель жалғанған жағдайда сенімділіктің құрылымдық схемасы 2.4.21-суреттегідей беріледі. Егерде $q_{yz1} = q_{yz2}$ және $q_{km1} = q_{km2}$ болған жағдайда, істен шықпау ықтималдылығы былайша анықталады.

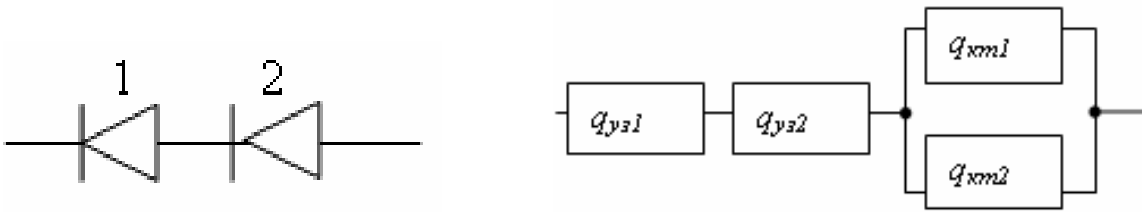
$$P = 1 - (q_{yz}^2 + q_{km}^2) \quad (2.4.43)$$

Егер диодтар тізбектей жалғанса (2.4.22-сурет), онда сенімділіктің құрылымдық схемасы 2.4.23-суреттегідей беріледі де, істен шықпау ықтималдылығы былайша анықталады.



2.4.21-сурет. Сенімділіктің құрылымдық схемасы

$$P = (1 - q_{y3})^2 + (1 - q_{км})^2 - 1 \quad (2.4.44)$$



2.4.22-сурет. Тізбектей жалғау.

2.4.23-сурет. Сенімділіктің құрылымдық схемасы

Жалпы жағдайда мұндай жүйелердің сенімділігі келесі түрде жазылады.

$$Q_{Ж}(q_{y3}, q_{км}) = Q(q_{y3}) + Q(q_{км}) \quad (2.4.45)$$

$$P_{Ж}(q_{y3}, q_{км}) = 1 - Q_{Ж}(q_{y3}, q_{км}) \quad (2.4.46)$$

мұндағы $Q(q_{y3})$ және $Q(q_{км})$ – схеманың үзіліс және қысқа тұйықталу кездеріндегі істен шығулары. Бұл функциялардың мәндері былайша анықталады (2.4.4-кесте).

2.4.4-кесте

2 – полюсті бөлшектердің сенімділігін есептеу

Жалғау тәсілдері	Істен шығу түрлері	
	Үзіліс	Қысқа тұйықталу
Параллель	$Q_{y3} = \prod_{i=1}^n q_{y3i}$	$Q_{к.з.} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_{к.з.i})$
Тізбектей	$Q_{y3} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_{y3i})$	$Q_{км} = \prod_{i=1}^n q_{кмi}$

Бақылау сұрақтары.

1. Жүйелерді сенімділікке есептеудің мақсаты және жіктелуі.
2. Жүйелерді сенімділікке есептеудің тәсілдері.
3. Жүйелерді резервтеу тәсілі не мақсатпен қолданылады.
4. Техникалық жүйелерді резервтеудің түрлері мен тәсілдері.
5. Екі полюсті элементтерді резервтеудің ерекшеліктері.

2.5. Сенімділік сынақтары. Сынақ нәтижелері бойынша сенімділікті бағалау

Сенімділік сынағының түрлері

Сенімділік сынағын өткізудің негізгі мақсаты, жүйелердің нақтылық сенімділік деңгейін анықтау. Әдетте сынақ кезінде бас жиынтықтан белгілі бір мөлшерде кездейсоқ түрде таңдамалар алынып, сол таңдамалардың сенімділік көрсеткіштерінің нәтижесіне қарай отырып, бүкіл бас жиынтықтың сенімділігіне баға беріледі. Сенімділік сынағын өткізудің түрлі тәсілдері бар (2.5.1-сурет).

Анықтаушы (зерттеу) сынағының нәтижесінде сенімділік көрсеткіштерінің (істен шықпау ықтималдылығы, жұмыстық уақыттың орта мәні т.с.с.) сандық мәндері анықталады.

Бақылау сынағында сенімділік сипаттамалары белгілі бір қойылған талаптарға, нормаларға сәйкес келетіндігін немесе келмейтіндігін тексереді. Сынақ нәтижесінде «иә» немесе «жоқ» деген баға беріледі. Бұл сынақ жаппай өндірістік процестер кезінде периодты түрде жүргізіледі.

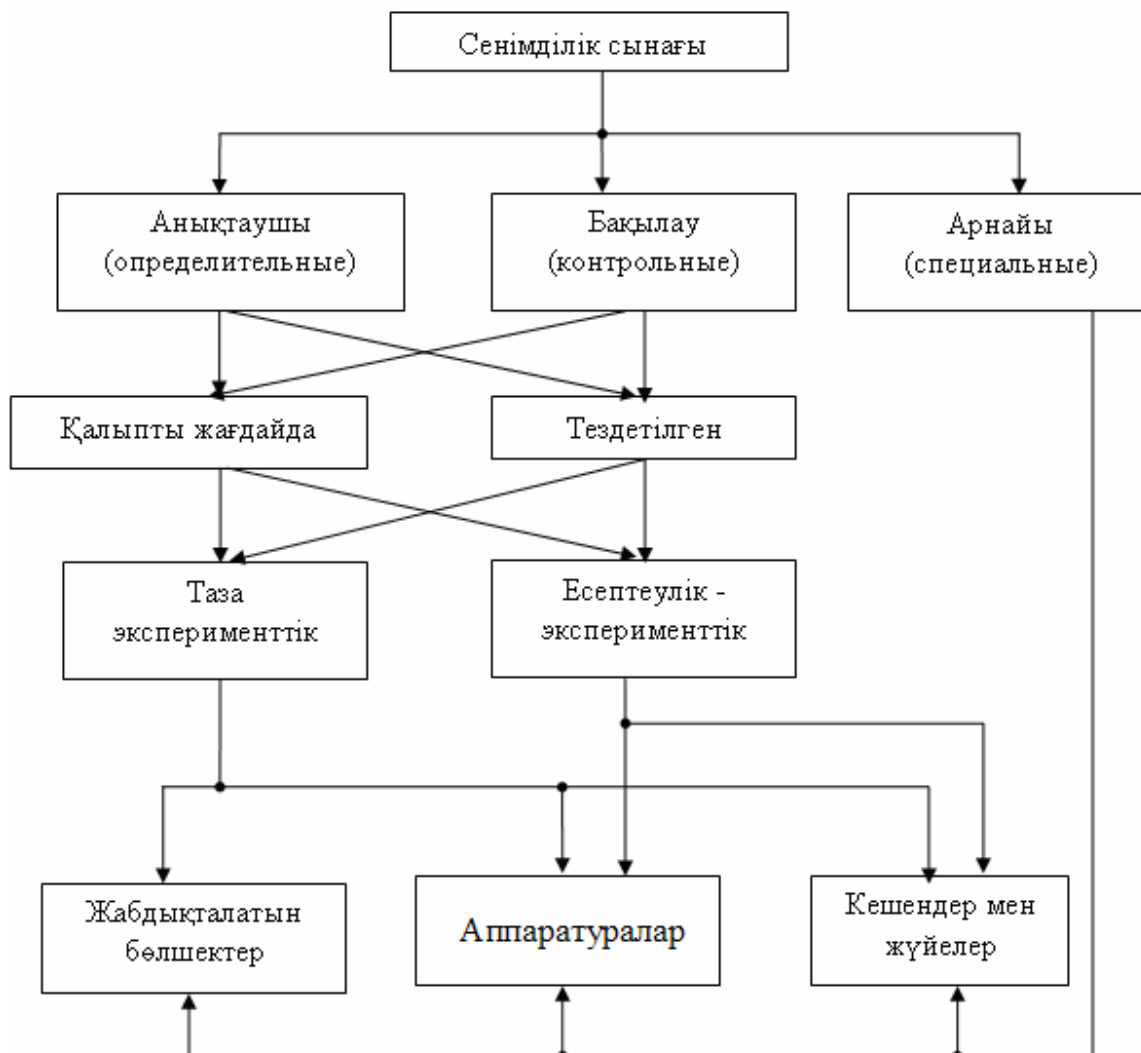
Арнайы сынақ кейбір факторлардың (радиация, температура, қысым т.с.с.) жүйе сенімділігіне тигізетін әсерлерін анықтау үшін және де сенімділіктің қайсыбір сипаттамаларын (жөндеуге икемділігін, ғұмырлылығын т.с.с.) айқындау үшін жүргізіледі.

Әрбір сынақ түрлері әртүрлі жағдайда жүргізілуі мүмкін. Лабораториялық жағдайда жүргізу үшін, сыртқы қозу әсерлерін имитациялайтын арнайы қондырғылар (вибростендтер, термокамералар, барокамералар т.с.с.) болуы қажет. Лабораториялық сынақ қалыпты жағдайда немесе жеделдетіп жүргізілуі мүмкін. Жеделдетілген жағдайда жүйелердің жұмыс режимдерін ауырлатады және тездетеді. Тездету факторларына түрлі механикалық, температуралық, қысымдық т.с.с. факторлар жатады.

Қалыпты эксплуатациялық жағдайдағы сынақтың ерекшелігі, жүйелердің жұмысы кезіндегі олардың қалыптан ауытқу жөніндегі ақпараттарды жинап, өңдеп және оларға талдау жасау болып табылады.

Сенімділіктің анықтаушы сынағы

Сынақтың өткізілу және сынақ нәтижелерін өңдеу тәсілдеріне, сонымен қатар сынақ жоспарын ұйымдастыруға байланысты анықтаушы сынақ төмендегідей жіктеледі (2.5.2-сурет).



2.5.1-сурет. Сенімділік сынағының жіктелуі

Сынақ жоспарлары

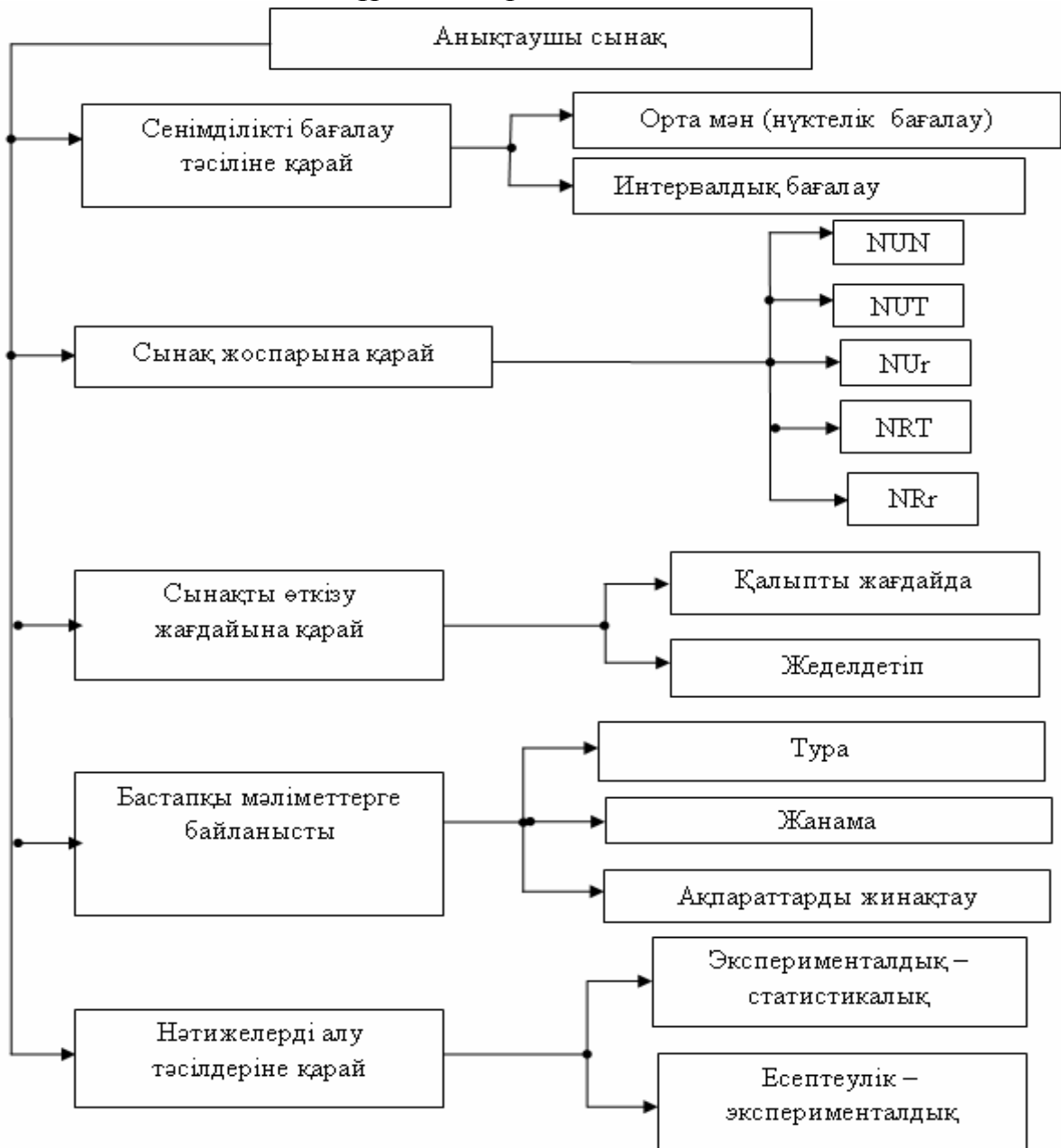
Сынақ алдында, сынақты қалай жүргізу туралы ережелер жасалуы қажет. Мұндай ережелердің жасалуын сынақты жоспарлау деп атайды. Сынақ жоспары деп, таңдамалар көлемін (объем выборки) тағайындайтын, сынақты жүргізу тәртібін және сынақты тоқтату критерийлерін анықтайтын ережелерді айтады.

Сынақ жоспарының аталуы үш әріптен тұрады:

1 әріп сынақтан өтетін жүйелердің санын береді, белгіленуі – N;
2 әріп сынақ кезінде істен шыққан жүйелерді қалыпқа келтірілетіндігін немесе келтірілмейтіндігін білдіреді. Егер қалыпқа келтірілсе, R әрпімен белгіленеді, ал қалпына келтірілмесе – U әрпімен белгіленеді;

3 әріп сынақты тоқтату критерийін белгілейді. Егер сынақ белгілі бір уақыт өткен соң тоқтатылса, оны T әрпімен белгілейді. Егер сынақ істен шыққан

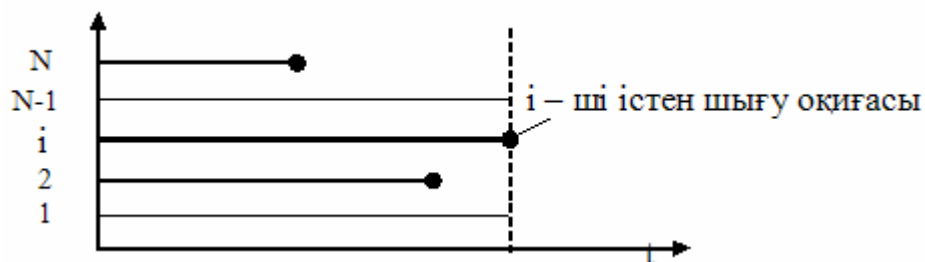
жүйелер саны бойынша тоқтатылса, онда r әрпімен (r істен шыққан жүйелер саны) белгілейді. Дербес жағдайда $r = N$ болуы мүмкін, яғни сынақ барлық жүйе істен шыққанға дейін жүргізіле береді.



2.5.2-сурет. Сенімділік сынағының түрлері

Сынақ жүйелердің істен шыққан сандары r -тең болғанда ($r < N$) тоқтатылады. Егер $r = N$ болса, онда NUN жоспарын аламыз. Таралым экспоненциалдық заңдылыққа бағынған жағдайда, жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі және істен шығу аралықтарындағы жүйенің жұмыс істеу уақыттарының орта мәнін анықтауда әдетте NUr жоспары қолданылады, ал қалыпты заңдылықта – NUN жоспары қолданылады.

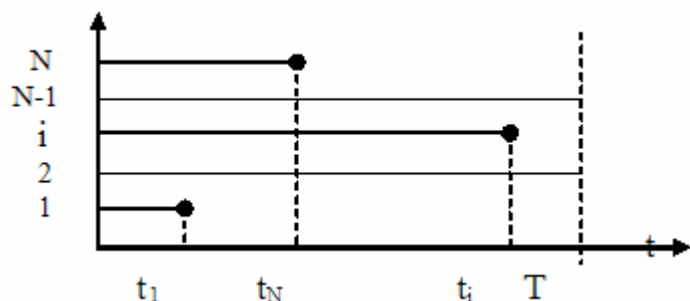
Мысалға, NUr жоспары бойынша, сынақтан қалыпқа келтірілмейтін N жүйе өткізіледі (2.5.3-сурет).



2.5.3-сурет. NUr жоспары бойынша

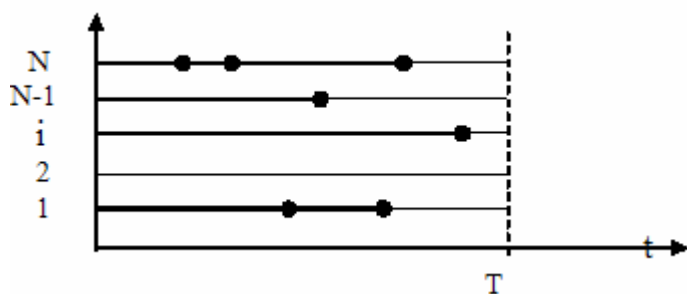
NUT жоспары бойынша сынақ T уақыт өткенде ғана тоқтатылады.

(2.5.4-сурет). Сынақ кезінде жүйелер қалыпқа келтірілмейді. Бұл жоспар жүйелердің T уақыт ішіндегі істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылықтарын анықтауда қолданылады.



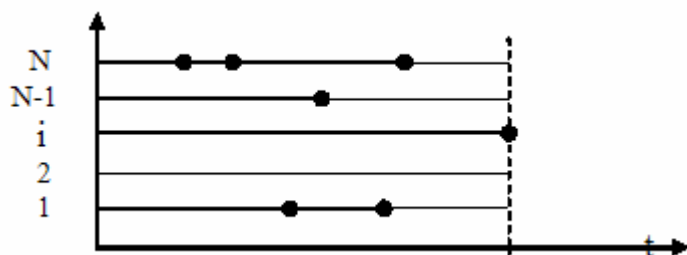
2.5.4-сурет. NUT жоспары бойынша

NRT жоспарында қалыпқа келтірілетін жүйелерді сынау белгілі бір T уақыты өткен соң тоқтатылады (2.5.5-сурет). Сынақ барысында істен шыққан жүйелер лезде қалыпқа келтіріледі немесе басқа жүйемен алмастырылады.



2.5.5-сурет. NRT жоспары бойынша

NRr жоспарында сынақ жүйелердің істен шығу сандарының қосындысы r -ге тең болғанда ($r < N$) тоқтатылады (2.5.6-сурет).



2.5.6-сурет. NRr жоспары бойынша

Сынақ барысында істен шыққан жүйелер лезде қалыпқа келтіріледі немесе басқа жүйемен алмастырылады.

Жоспарлау есебі сонымен бақылаудың минимальдық көлемін айқындауға әкеп тіреледі, яғни сынақтан өтетін жүйелердің санын N , сынақтан өткізу уақытын T және сынақ барысындағы істен шығу сандарын r анықтау.

Анықтаушы сынақтың нәтижелері бойынша сенімділік көрсеткіштері нүктелік және интервалдық түрде бағаланады.

Бақылау сынағы – жүйелердің сенімділік көрсеткіштерін анықтауға арналмаған. Олар жүйе сенімділігінің алдын ала қойылған сенімділік деңгейінен кіші емес екендігін көрсетіп береді. Бақылау әдетте жанама нышандар бойынша жүргізіледі, мысалға, белгілі бір уақыт аралығындағы жүйелердің істен шықпай жұмыс істеу қабілеті немесе уақыт интервалында істен шығу сандары белгілі бір мөлшерден аспауы т.с.с.

Бақылау сынағының нәтижесінде екі шешім қабылданады: партияны қабылдау (сенімділіктері қанағаттандырарлық) және партияны қабылдамау (сенімсіз жүйелер).

Әдетте бақылау сынағынан өтетін таңдамалар көлемі аз болғандықтан, шешім қабылдау кезінде жіберілетін қателіктің екі түрі болады:

Қателіктің бірінші түрі – жақсы партияға жарамсыз деген шешім қабылданады.

Қателіктің екінші түрі – жаман партия жарамды деп қабылданады.

Қателіктің бірінші түрінің орын алу ықтималдылығын γ жабдықтаушы тәуекелі (риск поставщика) деп атайды, ал қателіктің екінші түрінің орын алу ықтималдылығы β тұтынушы тәуекелі (риск потребителя) деп аталады.

Сенімділікті бақылаудың негізгі үш статистикалық тәсілі бар:

- 1) Бір реттік таңдама тәсілі (жекеленген бақылау);
- 2) Екі реттік таңдама тәсілі (қос бақылау);
- 3) Бақылаудың біртіндеп өткізу (последовательный метод) тәсілі. Әдетте бұл тәсіл өте тиімді тәсіл қатарына жатады.

Бір реттік таңдама тәсілінде N үлгінің t_n уақыттағы сынақ кезіндегі сенімділігін айқындайды. Сынақ кезінде істен шығу сандары қадағаланады. Бақыланатын партияның сенімділік сипаттамасы ретінде келесі қатынас алынады.

$$q_n = \frac{c}{n} \quad (2.5.1)$$

мұндағы $c = m \cdot q_n$ бақыланатын партияға қойылатын істен шығу сандарының шектелген мәні (бағалау нормативі), q_n – сенімділіктің берілген нормативі, n – бақыланатын бұйымдар саны.

Егер бақылау кезінде істен шығу саны m болса, онда келесі қатынас m/n есептеледі. Егер $\frac{m}{n} \leq q_n$ немесе $m \leq n \cdot q_n$ болса, онда партия сенімді ретте

қабылданады. Егер $m > n \cdot q_n$ болса, онда партия қабылданбайды (сенімсіз партия).

Іс жүзінде сенімділік нормативі q_n үшін үш категория тағайындалады:

$$1) q_n \leq A_\gamma; \quad 2) A_\gamma \leq q_n \leq A_\beta; \quad 3) q_n \geq A_\beta;$$

мұндағы A_γ – жабдықтаушының сенімділік деңгейі, γ – жабдықтаушы тәуекелі (қабылдамау ықтималдылығы), A_β – тұтынушының сенімділік деңгейі, β – тұтынушы тәуекелі (қабылдау ықтималдылығы).

Бағалау нормативі C , A_γ , A_β , γ , β шамаларының берілген мәні бойынша арнайы кестеден анықталады.

Бақылаудың біртіндеп өткізу тәсілі. Бұл тәсілдің тиімділігі, бақылауға бөлінетін таңдамалар санын біршама азайтады. Бақылауды ұйымдастыру келесі кезеңдерден тұрады.

1) (m, t) координатасында алдын ала график тұрғызылады (2.5.7-сурет), мұндағы m – істен шығу саны, t – бақылау уақыты.

Графикті тұрғызуда келесі формулалар қолданылады.

Партияны қабылдау шарты:

$$m \leq \frac{\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) + n\lambda_0 t(\varepsilon - 1)}{\ln \varepsilon} = m' \quad (2.5.2)$$

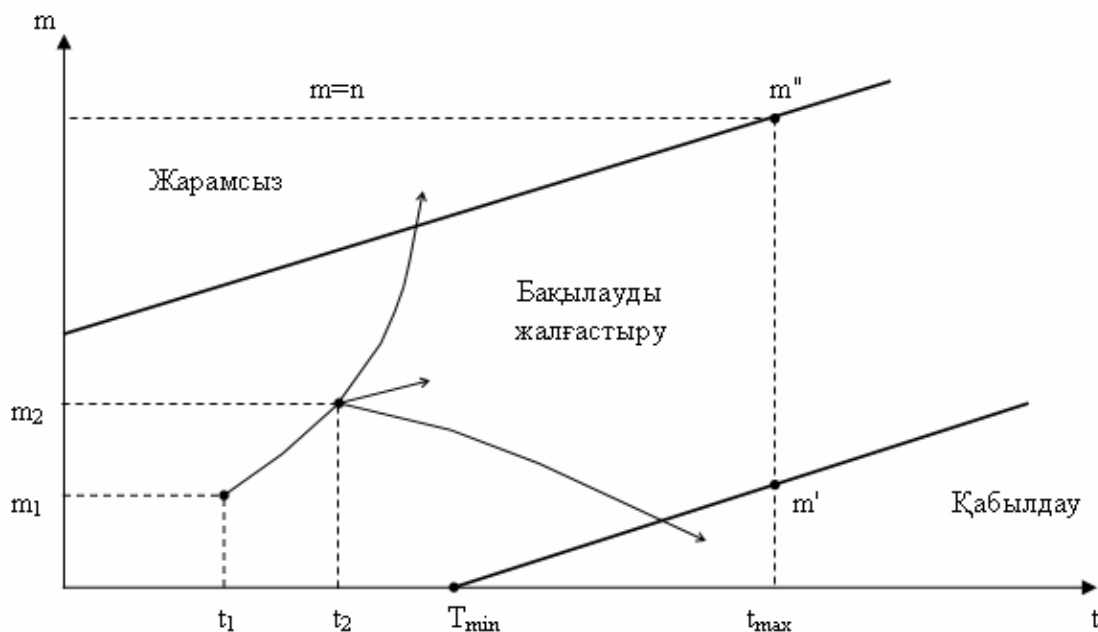
Партияны қабылдамау шарты:

$$m \geq \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right) + n\lambda_0 t(\varepsilon - 1)}{\ln \varepsilon} = m'' \quad (2.5.3)$$

мұндағы $\varepsilon = \frac{\lambda_m}{\lambda_0}$; n – таңдама көлемі (бақыланатын бұйым саны).

λ_m тұтынушылар жағынан және λ_0 жабдықтаушы жағынан сәйкесінше істен шығу қарқындарының нормативтері алдын ала беріледі. Формуладағы t_1 уақытына түрлі мән бере отырып, істен шығу сандарының m өзгерісін анықтай отырып, 2.5.7-суреттегі графикті тұрғызамыз.

2) График тұрғызылған соң, бақыланатын партиядан n таңдама алынып, ол $t = t_1$ уақытына дейін сынақтан өткізіледі. t_1 уақытындағы істен шығу санын m_1 графикке салып, координатасы (t_1, m_1) нүктесін табамыз. Табылған нүктенің графикте орналасу орнына қарай келесі шешімдер шығарылады: қабылданады, қабылданбайды немесе сынақ одан ары жалғастырылады. Егерде сынақты жалғастырсақ, онда алдында алған n таңдама $t = t_1 + t_2$ уақытқа тағы да сыналады. Сынақ нәтижесі істен шығу саны $m = m_1 + m_2$ арқылы графикке сәйкесінше нүктемен (t, m) белгіленеді де, нүктенің орналасу орнына қарай тағы да үш шешімнің біреуі қабылданады. Сынақты осылайша бейнелеу нүктесі шекаралық түзуден шығып кеткенше жүргізе береді.



2.5.7-сурет. m және t шамаларының араларындағы байланыс

Мысал:

Берілген шамалар: $\lambda_0=10^{-6}$ 1/сағ, $\lambda_m=10^{-5}$ 1/сағ, $\alpha=0.05$; $\beta=0.1$ және $n=360$.

Берілген шамалар бойынша қабылдау немесе қабылдамау туралы шешімнің шартын табыңдар. Сәйкесінше есептеулерді жүргізіп

$$\ln \frac{\beta}{1-\alpha} = -2.25; \quad \ln \frac{1-\beta}{\alpha} = 2.89; \quad \varepsilon = \frac{\lambda_m}{\lambda_0} = 10; \quad \ln \varepsilon = 2.3;$$

табатынымыз

$m' = -0.98 + 0.0324 \cdot t$ және $m'' = 1.26 + 0.0324 \cdot t$ шартынан алатынымыз, минимальдық сынақ уақыты $t_{\text{қабылдау}} = 30.3$ сағ. яғни, 30.3 сағаттан кейін қабылдау керек деген шешім шығаруға болады. Қабылдамау деген шешімді одан да ерте уақытта шығаруға болады.

Бақылау сұрақтары.

1. Сенімділік сынағын өткізудің негізгі мақсаты.
2. Лабораториялық және эксплуатациялық жағдайлардағы сынақтардың қандай айырмашылықтары бар?
3. Қандай сынақ жоспарларын білесіңдер?
4. Сынақтың қандай түрлерін білесіңдер?
5. Анықтаушы сынақ пен бақылау сынағының қандай айырмашылығы бар?
6. Бақылау сынағын өткізудің негізгі принциптерін сипаттап беріңдер.

2.6. Сенімділік көрсеткіштерін нүктелік және интервалдық тәсілдермен бағалау

Нүктелік бағалау

Сенімділік көрсеткіштерін статистикалық мәліметтерге сүйене отырып анықтау, оларды нүктелік бағалау болып табылады. Статистикалық мәліметтер арнайы сынақ нәтижесінде немесе эксплуатациялау кезінде бақылау жүргізудің арқасында жинақталады.

NUN жоспары бойынша сынаққа N жүйе қойылады. Сынақ барлық жүйелер істен шыққанда ғана тоқтатылады. Жүйелердің істен шығу уақыттары t_i тіркеледі. NUN сынағының мәліметтеріне сүйене отырып, жүйелердің істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттарының орта мәні былайша анықталады (нүктелік бағалануы).

$$T_{OP}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.6.1)$$

Соңғы формула таралымның кез келген заңдылықтары үшін тура. Егерде таралу заңдылықтары экспоненциалдық заңдылыққа бағынса, онда NUN жоспарынан басқа кез келген жоспар үшін жұмыс істеу уақыттарының орта мәні былайша анықталады.

$$T_{OP}^* = \frac{S}{n_{\Sigma}} \quad (2.6.2)$$

мұндағы S – сынақ кезіндегі бүкіл жүйелердің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыттарының қосындысы, n_{Σ} – сынақ кезіндегі бүкіл жүйелердің істен шығу сандарының қосындысы. Мысалы, NUT жоспары үшін

$$S = \sum_{i=1}^m t_i + (N-m)T, \quad (2.6.3)$$

мұндағы m – $(0, T)$ интервалында істен шыққан жүйелердің саны, t_i – i -ші жүйенің жұмыс істеу уақыты (істен шыққан жүйелердің ішіндегі, $i = 1, m$)

NUR жоспары үшін

$$S = \sum_{i=1}^r t_i + (N-r)t_r, \quad (2.6.4)$$

мұндағы t_r – ең ақырғы істен шығуға сәйкес келетін уақыт.

Қарапайым ағында және NRT жоспары үшін T_{cp}^* мәнінің нүктелік бағалануы келесі формула арқылы анықталады.

$$T_{OP}^* = \frac{S}{n_{\Sigma}} = \frac{NT}{n_{\Sigma}} \quad (2.6.5)$$

Егерде алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының таралу заңы экспоненциалдық заңдылыққа бағынса, онда істен шығу қарқыны λ^* істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәні T_{cp}^* арқылы анықталады.

$$\lambda^* = \frac{1}{T_{OP}^*} \quad (2.6.6)$$

Мысалы, NUN жоспары үшін

$$\lambda^* = \frac{N}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (2.6.7)$$

Қалған жоспарлар үшін

$$\lambda^* = \frac{n_{\Sigma}}{S} \quad (2.6.8)$$

Қарапайым ағын параметрін ω^* нүктелік бағалау істен шығу қарқынын λ^* бағалаумен сәйкес келеді.

Мысалға, NRT жоспары үшін

$$\omega^* = \lambda^* = \frac{n_{\Sigma}}{NT} \quad (2.6.9)$$

Егер таралым заңдылықтары қалыпты заңдылыққа бағынса, онда істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнімен қатар, таралымның екінші параметрін, яғни орта квадраттық ауытқуын σ^* бағалауға тура келеді. Мысалға, NUN жоспары бойынша

$$\sigma^* = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - T_{OP}^*)^2} \quad (2.6.10)$$

мұнда, істен шығу уақыты t_i сынақ барысында тіркеліп отырылады.

t уақыттағы істен шығу ықтималдылығы $Q(t)$ былайша бағаланады:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2.6.11)$$

мұндағы $n(t)$ – t уақыттағы істен шыққан жүйелер саны $t = T$ уақыт интервалында табылса, онда сынақ NUT жоспарына сәйкес келеді.

Интервалдық бағалау

Инженерлік есептеулерде нүктелік бағалаудың нәтижесінде алынған сенімділік көрсеткіштері кеңінен қолданылады. Әдетте сенімділіктің орта мәндері кездейсоқ шамалардың таралу заңдылықтары туралы мәліметті бере алмайды. Мысалға, NUN жоспары бойынша сынақтан өткен жүйенің істен шығу сандары бірінші сынақ бойынша n_1 ($N = 21$) тең, ал екінші сынақ

бойынша n_2 тең ($N = 10$). Сынақтың нәтижелері төмендегі кестемен (2.6.1-кесте) берілген.

2.6.1-кесте

Сынақтың нәтижелері

t	100	200	300	400	500	600	700	800
n1	6	5	3	3	1	1	1	1
n2	1	2	4	2	1	-	-	-

Істен шығу аралықтарындағы жүйелердің жұмыс істеу уақытының орта мәндері бірінші және екінші сынақ нәтижелері бойынша сәйкесінше

$T_{OP1}^* = 6300/21 = 300$ сағ. және $T_{OP2}^* = 3000/10 = 300$ сағ., яғни уақыттардың орта мәндері өзара тең. Бірақ та, жұмыс істеу уақытының орта мәндері өзара тең болғанымен, бірінші сынақ нәтижелері екіншімен салыстырғанда анағұрлым өзгеше, себебі істен шыққанға дейінгі уақыттардың таралым заңдылықтары бірдей емес. Бірінші сынақтікі экспоненциалдық заңдылыққа жақын, екіншісінікі – қалыпты заңдылыққа жақын. Сонымен қатар, бірінші сынақтағы жүйелер саны екіншісімен салыстырғанда екі еседей артық.

Бұл жағдай нүктелік бағалауға қарағанда ақпаратты көбірек беретін бағалау тәсілін ойластыруды қажет етеді. Мұндай тәсілдің бірі – сенімділікті интервалдық бағалау болып табылады.

Әдетте сынақ кезінде бас жиынтықтан белгілі бір n үлгі алынып, сынақ сол үлгілер үшін жүргізіледі. Сынақтан өткен үлгілердің сенімділік көрсеткіштеріне қарап, бүкіл жүйелердің (бас жиынтықтың) сенімділігіне баға беріледі. Әрине, мұндай жағдайда біраз қателіктер жіберіледі.

$$\Delta x = |x - x_0|$$

мұндағы Δx – абсолюттік қателік, x – алынған үлгілерге тән көрсеткіштердің орта мәні (таңдамалық көрсеткіш), x_0 – бас жиынтыққа тән көрсеткіштердің орта мәні (сенімділіктің шынайы мәні).

Бұдан шығатыны, сенімділік көрсеткіштерінің шын мәні келесі интервалда жатады.

$$x - \Delta x < x_0 < x + \Delta x \quad (2.6.12)$$

мұндағы $x \pm \Delta x$ – сенімділік интервалы (доверительный интервал) деп аталады, «+» таңбасы x_0 параметрінің жоғарғы сенімділік шекарасына, ал «-» таңбасы – төменгі сенімділік шекарасына сәйкес келеді.

Әдетте сенімділік көрсеткіштерінің шын мәндерінің төменгі және жоғарғы шекараларын көрсету жеткіліксіз, себебі алынған нәтижелердің қаншалықты сенімділікпен алынғаны белгісіз. Алынған нәтижелердің сенімділігі – сенімділік ықтималдылығы (доверительная вероятность) арқылы бағаланады. Сонымен, сенімділік интервалы сенімділік көрсеткіштерінің дәлдігін

сипаттайды, ал сенімділік ықтималдылығы – алынған нәтижелердің қаншалықты шындыққа жанасатындығын сипаттайды.

Сенімділік ықтималдылығы $(1 - \alpha)$ деп, бағаланатын шаманың (параметрлердің) шын мәні X_0 табылған сенімділік интервалының ішіне түсу ықтималдылығын айтады, яғни

$$1 - \alpha = P [x - \Delta x < X_0 < x + \Delta x] \quad (2.6.13)$$

Сенімділік интервалының шекаралары таңдамалардың көлеміне және сенімділік ықтималдылығының мәніне $1 - \alpha$ тәуелді. Сенімділік интервалы мен сенімділік ықтималдылығының араларында өзара байланыс бар. Бұл байланыс таралым заңдылықтарына тәуелді болып келеді.

Кейде сенімділік ықтималдылығымен қатар маңыздылық деңгейі α қолданылады. Маңыздылық деңгейі бағаланатын шаманың шынайы мәні X_0 табылған сенімділік интервалына кірмей қалу ықтималдылығын көрсетеді.

Сенімділік интервалының шекаралық мәндерін табу үшін, бағаланатын кездейсоқ параметрдің таралу заңын айқындау қажет. Таралу заңдылығы белгілі болған жағдайда, сенімділік интервалының жоғарғы және төменгі шекаралары алдын ала берілген сенімділік ықтималдылығын қанағаттандыратындай етіп анықталады. Кейбір әдебиеттерде түрлі таралым заңдылықтарына қарай, сенімділіктің интервалын анықтайтындай арнайы кестелер келтіріледі.

Егер жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыттары (немесе істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыттары) T_Σ , істен шығу сандарының қосындысы n_Σ белгілі болса және сенімділік ықтималдылығы $1 - \alpha$ берілсе, онда жұмыс уақыттарының төменгі T_T және жоғарғы T_J шекаралық мәндері келесі формулалар арқылы есептеледі / 7 / .

$$T_T = \frac{2T_\Sigma}{\chi^2 \left(2n_\Sigma + 2; \frac{\alpha}{2} \right)} \quad (2.6.14)$$

$$T_J = \frac{2T_\Sigma}{\chi^2 \left(2n_\Sigma; 1 - \frac{\alpha}{2} \right)} \quad (2.6.15)$$

Жұмыс істеу уақытының орта мәнін анықтау үшін келесі формула қолданылады:

$$T_{OP} = \frac{2T_\Sigma}{\chi^2 (2n_\Sigma + 2; 0.5)} \quad (2.6.16)$$

мұндағы $\chi^2(k; p)$ – еркіндік дәрежесі k тең, ықтималдылығы P тең χ^2 таралымының квантилі.

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының таралымы экспоненциал заңдылығына бағынған жағдайда, сенімділік сынағының түрлі жоспарында істен шығу қарқыны мен істен шығу параметрінің жоғарғы және төменгі шекаралық мәндерін анықтау формулалары 2.7-кестеде келтірілген /11/.

Қарапайым ағындар үшін $\lambda_T = \omega_T$ және $\lambda_{Ж} = \omega_{Ж}$. Бұл жағдайда, алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттарының және істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының төменгі және жоғарғы шекаралық мәндерін былайша анықтауға болады /11/.

$$T_T = t_T = \frac{1}{\lambda_{Ж}}; \quad (2.6.17)$$

$$T_{Ж} = t_{Ж} = \frac{1}{\lambda_T}$$

λ_T , $\lambda_{Ж}$ мәндері 2.6.2-кестедегі формулалар бойынша есептеледі. t уақыттағы істен шықпай жұмыс істеу уақытының ықтималдылығы λ_T және $\lambda_{Ж}$ мәндері бойынша былайша анықталады /11/:

$$P_T(t) = e^{-\lambda_{Ж}t}; \quad (2.6.18)$$

$$P_{Ж}(t) = e^{-\lambda_T t};$$

Егер NRT жоспары бойынша сынақтан өткізу кезінде істен шығу оқиғасы орын алмаса ($n_{\Sigma} = 0$), онда $\omega_T = 0$. Бұл жағдайда тек біржақты сенімділік шекаралық мән анықталады:

$$\omega_{Ж} = \frac{\chi^2([2; (1-\alpha)])}{2NT} \quad (2.6.19)$$

Қалыпты таралым параметрлері үшін ($m = t_{cp}$ – математикалық күтім және D – дисперсия) сенімділік интервалын қалыпты таралым квантиліне (дисперсияның мәні белгілі болған жағдайда) немесе Стюдент таралымының квантиліне (дисперсияның мәні белгісіз болған жағдайда) сүйене отырып табады /9/.

Экспоненциалдық таралымдағы істен шығу қарқыны мен істен шығу параметрінің жоғарғы және төменгі шекаралық мәндерін анықтау

Сынақ жоспары	Істен шығу қарқыны λ^* және істен шығу ағындарының параметрі ω^*	
	Төменгі шекаралық мәні	Жоғарғы шекаралық мәні
NUN	$\lambda_T = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$	$\lambda_{\mathcal{K}} = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$
NUT	$\lambda_T = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma + 2; \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$	$\lambda_{\mathcal{K}} = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma + 2; 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$
NUr	$\lambda_T = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; \frac{\alpha}{2}\right)}{2(n_\Sigma - 1)}$	$\lambda_{\mathcal{K}} = \lambda^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2(n_\Sigma - 1)}$
NRT	$\omega_T = \omega^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$	$\omega_{\mathcal{K}} = \omega^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2n_\Sigma}$
NRr	$\omega_T = \omega^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; \frac{\alpha}{2}\right)}{2(n_\Sigma - 1)}$	$\omega_{\mathcal{K}} = \omega^* \frac{\chi^2\left(2n_\Sigma; 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2(n_\Sigma - 1)}$

Ескерту: $\chi^2(k; p)$ – еркіндік дәрежесі k -ға тең, ықтималдылығы P -ға тең χ^2 таралымының квантили.

Дисперсияның мәні белгілі болған жағдайда математикалық күтімнің төменгі және жоғарғы шекаралық мәндері былайша анықталады:

$$t_T = t_{OP} - u_{[1-0.5\alpha]} \frac{\sigma}{\sqrt{n_\Sigma}} \quad (2.6.20)$$

$$t_{\mathcal{K}} = t_{OP} + u_{[1-0.5\alpha]} \frac{\sigma}{\sqrt{n_\Sigma}}$$

Дисперсияның мәні белгісіз болған жағдайда математикалық күтімнің төменгі және жоғарғы шекаралық мәндері былайша анықталады:

$$t_T = t_{OP} - \frac{S}{n_\Sigma - 1} t_{[(n_\Sigma - 1); \alpha]} \quad (2.6.21)$$

$$t_{ж} = t_{OP} + \frac{s}{n_{\Sigma} - 1} t_{[(n_{\Sigma}-1);\alpha]}$$

мұндағы $\sigma = \sqrt{D}$ – орта квадраттық ауытқу, u_{α} – қалыпты таралым квантилі, t_{α} – Стюдент таралымының квантилі, n_{Σ} – сынақ кезіндегі істен шығу сандары, $s^2 = D^* = \frac{1}{n_{\Sigma} - 1} \sum_{i=1}^{n_{\Sigma}} (t_i - t_{OP})^2$ – статистикалық деректерге сүйене отырып анықталатын дисперсияның мәні.

Мұндағы u_{α} , t_{α} – шамалары арнайы кестеден анықталады.

Дисперсия үшін сенімділік интервалының шекаралық мәндері.

$$D_H = \frac{n_{\Sigma} s^2}{\chi^2 \left[(n_{\Sigma} - 1); \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]} \quad (2.6.22)$$

$$D_B = \frac{n_{\Sigma} s^2}{\chi^2 \left[(n_{\Sigma} - 1); \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) \right]}$$

Сенімділік интервалын тұрғызуды келесі қарапайым мысалмен түсіндірейік.

NUN жоспары бойынша жүйелерді ($N = 10$) сынақтан өткізсін. Сынақ кезіндегі жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыттары төмендегі кестеде берілген.

2.6.3-кесте

Сынақтың нәтижелері

t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
100	120	130	105	110	150	110	100	125	140

Сынақтың нәтижелері бойынша жүйелердің жұмыс істеу уақыттарының орта мәнін нүктелік бағалау арқылы табу және сенімділік ықтималдылығының 0,95 мәніне сәйкес, сенімділік интервалын анықтау қажет.

Істен шықпай жұмыс істеу уақытының орта мәні

$$T_{OP}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{10} t_i = 119 \text{ сағ.}$$

Егер істен шықпай жұмыс істеу уақыты қалыпты заңға бағынса, онда орта квадраттық ауытқу

$$\sigma_{OP}^* = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{10} (t_i - T_{OP}^*)^2} = 17,2 \text{ сағ.}$$

Сенімділік интервалын Стюдент таралымына сүйене отырып табайық.

$$\Delta x = t_{(9;0,05)} \frac{\sigma_{OP}^*}{\sqrt{N}} = \frac{2,262 \cdot 17,2}{3,16} = 12 \text{ сағ.}$$

мұндағы $t_{\alpha} = 2,26$ – Стюдент таралымының функциясы.

Сонымен, есептеудің нәтижелері бойынша

$$119 - 12 < T_{OP}^* < 119 + 12$$

немесе

$$107 < T_{OP}^* < 131$$

яғни, істен шықпай жұмыс істеу уақытының орта мәні 0,95 тең ықтималдылықпен $107 \div 131$ сағат аралықтарында жатыр деп айтуға болады.

Бақылау сұрақтары.

1. Сенімділік көрсеткіштерін нүктелік бағалауды қалай түсінесің?
2. Сенімділік көрсеткіштерін табуда не себептен интервалдық бағалауды қолданамыз?
3. Сенімділік ықтималдылығының мағынасы.
4. Маңыздылық деңгейінің мағынасы.

2.7. Электр энергиясын тарату торабының сенімділік көрсеткіштерін анықтау

Электр энергетикалық жүйелердің көпшілік элементтері (трансформаторлар, коммутация аппаратуралары, релелік және түрлі апаттық қорғаныс құрылғылары т.с.с.) жөнделетін (қалыпқа келтірілетін) бұйымдар ретінде қарастырылады. Сол себептен, электр энергетикалық жүйелердің сенімділігін бағалауда жоғарыда келтірілген сенімділік көрсеткіштерін толығымен қолдануға болады. Төменде электр энергиясын тарату торабының сенімділігін анықтаудың тек кейбір ерекшеліктері қарастырылады.

Электр энергетикалық жүйелерде негізінен сенімділік көрсеткіштері ретінде істен шығу ағындарының параметрі және қалыпқа келтіру уақыттарының математикалық күтімі (орта мәні) жиі қолданылады.

Жүйелердің істен шығу оқиғаларының әдетте екі түрі қарастырылады: тұрақты және тұрақсыз.

Тұрақты істен шығуда – істен шыққан жүйелерді (элементтерді) жұмыстық қалыпқа қайта алып келу процесі қызмет көрсету адамдарының араласуымен жүзеге асады.

Тұрақсыз істен шығуда – істен шыққан жүйелердің (элементтердің) жұмыстық қалыпқа қайта алып келу процесі сырт адамдардың қатысуынсыз, өздігінен немесе автоматты түрде жүзеге асырылады.

Істен шығу ағындарының параметрі

$$\omega = \frac{n_{\Sigma}}{NT} \quad (2.7.1)$$

мұндағы N – элементтер саны, T – эксплуатациялау уақыты, n_{Σ} – элементтердің эксплуатациялау кезіндегі істен шығу сандары.

Әдетте істен шығу оқиғалары кездейсоқ оқиғалар болғандықтан, істен шығу ағындары параметрінің шекаралық мәндерін анықтау мәселесі туындайды.

Істен шығу ағындары параметрінің төменгі және жоғарғы шекаралық мәндерін берілген сенімділік ықтималдылығы бойынша 2.9-кестеден анықтауға болады /6/.

Төменгі шекаралық мән

$$\omega_T = \frac{\omega}{r_T} \quad (2.7.2)$$

Жоғарғы шекаралық мән

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{\omega}{r_{\text{ж}}} \quad (2.7.3)$$

мұндағы r_T және $r_{\text{ж}}$ коэффициенттері 2.7.1-кестеден табылады.

Қалыпқа келтіру уақыттарының математикалық күтімі.

$$T_{KK} = \frac{1}{n_{\Sigma}} \sum_{i=1}^{n_{\Sigma}} t_i \quad (2.7.4)$$

мұндағы t_i i – ші істен шығуды жоюға қажетті уақыт.

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының математикалық күтімі.

$$T_{\text{ж}} \approx \frac{8760}{\omega} \quad (2.7.5)$$

Даярлық коэффициенті – жоспарлы жөндеу аралықтарындағы, кез келген уақыттағы жүйенің жұмыстық қабілетін сақтау ықтималдылығын айқындайды:

$$K_D = \frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}} + T_{KK}} \quad (2.7.6)$$

Еріксіз тұру коэффициенті – жоспарлы жөндеу аралықтарындағы, кез келген уақыттағы жүйенің жұмыстық қабілетінің сақталмау ықтималдылығын айқындайды, яғни істен шығу оқиғасынан кейін қалыпқа келтіру процесі жүргізілуі мүмкін:

$$K_{ET} = 1 - K_D = \frac{T_{KK}}{T_{Ж} + T_{KK}} \quad (2.7.7)$$

Еріксіз тұру коэффициенті істен шығу параметрі арқылы былай анықталады:

$$K_{ET} = \frac{T_{Ж}}{\frac{8760}{\omega} + T_{Ж}} = \frac{T_{Ж}\omega}{8760 + T_{Ж}\omega}$$

Егер $T_{Ж}\omega \ll 8760$ болса

$$K_{ET} \approx \frac{T_{Ж}\omega}{8760} \quad (2.7.8)$$

2.7.1-кесте

r_T және $r_{Ж}$ коэффициенттерінің мәндері

n_{Σ}	$1 - \alpha = 0.99$		$1 - \alpha = 0.95$		$1 - \alpha = 0.9$		$1 - \alpha = 0.8$	
	r_H	r_B	r_H	r_B	r_H	r_B	r_H	r_B
1	100	0,15	19,5	0,21	9,5	0,26	4,48	0,33
2	13,5	0,24	5,63	0,32	3,77	0,38	2,42	0,47
3	6,88	0,3	3,66	0,39	2,73	0,45	1,95	0,55
4	4,85	0,35	2,93	0,44	2,29	0,5	1,74	0,6
5	3,91	0,38	2,54	0,48	2,05	0,54	1,62	0,63
6	3,36	0,41	2,29	0,51	1,9	0,57	1,54	0,66
8	2,75	0,46	2,01	0,55	1,72	0,62	1,43	0,7
10	2,42	0,5	1,83	0,59	1,61	0,65	1,37	0,73
15	2,01	0,56	1,62	0,65	1,46	0,7	1,28	0,78
20	1,81	0,6	1,51	0,69	1,37	0,74	1,24	0,81
25	1,68	0,64	1,44	0,72	1,33	0,76	1,21	0,83
30	1,6	0,66	1,39	0,74	1,29	0,78	1,18	0,84
40	1,5	0,7	1,32	0,77	1,24	0,81	1,16	0,87
50	1,43	0,73	1,28	0,79	1,21	0,83	1,14	0,88
60	1,38	0,75	1,25	0,81	1,19	0,84	1,12	0,89
80	1,32	0,78	1,21	0,83	1,16	0,86	1,1	0,9
100	1,28	0,8	1,19	0,85	1,14	0,88	1,09	0,91
150	1,22	0,83	1,15	0,87	1,12	0,9	1,07	0,93
200	1,19	0,85	1,13	0,89	1,1	0,91	1,06	0,94
250	1,17	0,86	1,11	0,9	1,09	0,92	1,06	0,95
300	1,15	0,88	1,1	0,91	1,08	0,93	1,05	0,95
400	1,13	0,89	1,09	0,92	1,07	0,94	1,04	0,96
500	1,11	0,9	1,08	0,93	1,06	0,94	1,04	0,96
600	1,10	0,91	1,08	0,94	1,05	0,95	1,04	0,97
800	1,09	0,92	1,06	0,94	1,05	0,96	1,03	0,97
1000	1,08	0,93	1,05	0,95	1,04	0,96	1,03	0,97

Энергетикалық жүйе элементтерінің біразының істен шығу сандары Пуассон заңдылығына бағынады. t уақыттағы n істен шығу оқиғасының орын алу ықтималдылығы Пуассон заңдылығы бойынша былайша анықталады:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.7.9)$$

мұнда λ - істен шығу қарқыны.

Жоспарлы түрдегі жөндеу жұмыстарының көрсеткіштері

Жоспарлы түрдегі жөндеу жұмысының көрсеткіші ретінде жоспарлы жөндеудің жиілігі $\mu_{жж}$ (1/жыл) және жоспарлы жөндеу уақытының орташа ұзақтығы $T_{жж}$ (сағ.) деген ұғымдар қолданылады. Жөндеу жұмыстарының қайталану периодының ұзақтығы жоспарлы жөндеудің жиілігіне кері шама.

$$T_T = \frac{1}{\mu_{жж}} \quad (2.7.10)$$

Жоспарлы жөндеу жұмыстарының тұрақтап қалуын сипаттаушы коэффициент (жөндеу режимінің коэффициенті).

$$K_{жж} = \frac{\mu_{жж} T_{жж}}{8760} \quad (2.7.11)$$

Жоспарлы жөндеуге әдетте капиталды жөндеу және күнделікті жөндеулер кіреді. Жоспарлы жөндеу жұмыстары жүйелердің сенімділігін күрт нашарлатып жібермеуі керек. Мысалға, электр энергиясын өндіруші агрегаттарды капиталды жөндеуге қыс мерзімінде (энергияның жетіспеушілік кездерінде), әуе желілерін метеофакторлардың қолайсыз тұстарында (нөсер жаңбыр, найзағай, сымдарға мұз қату кездері, қатты жел т.с.с.) қою дұрыс емес.

Электр энергиясын тасымалдаушы әуе желілерінің істен шығу ағындары 100 км ұзындыққа шаққандағы мәнімен ω_{0l} сипатталады және тек тұрақты істен шығу оқиғаларын ғана есепке алады. Ұзындығы l километр әуе желісі үшін істен шығу ағынының параметрі:

$$\omega_l = \omega_{0l} \frac{l}{100} \quad (2.7.12)$$

2 – цепті тіректерде орналасқан желілердің сенімділігін анықтау кезінде екі цептің де бір мезетте істен шығу вариантын қарастыру қажет, яғни сенімділіктің екі көрсеткіші есепке алынады.

Әрбір цептің жекелей көрсеткіші былайша есептеледі:

$$\omega'_l = (1 - k_l) \omega_l \quad (2.7.13)$$

Екі цепті де бір мезетте істен шығуларына әкелетін істен шығу ағындарының параметрі былайша есептеледі:

$$\omega_l'' = k_l \omega_l \quad (2.7.14)$$

мұндағы $k_l = 0.1 - 0.3$ бір мезетте екі цептің де тоқырауларын есепке алатын коэффициент мөлшері (дара цептің істен шығу сандарының 10–30 % құрайды).

Күрделі жүйелердің сенімділігі

Құрамында бірнеше элементі бар жүйелер көптеген күйлерде болуы мүмкін. Мысалға, екі элементтен тұратын жүйе келесі күйлерде болуы ықтимал:

1. Екі элементте жұмыстық күйде;
2. Бірінші элемент еріксіз тұру (тоқырау) күйінде, ал екінші элемент жұмыстық күйде;
3. Бірінші элемент жұмыстық күйде, ал екінші элемент еріксіз тұру (тоқырау) күйінде;
4. Элементтердің екеуі де еріксіз тұру (тоқырау) күйінде.

Егер элементтердің түрлі күйдегі коэффициенттері белгілі болған жағдайда, жүйенің қандайда бір күйде болу ықтималдылығы коэффициенттер көбейтіндісімен айқындалады. Мысалы, 2 – трансформаторлы подстанцияның даярлық коэффициенті $K_D = 0.99943$ және еріксіз тұру коэффициенті

$K_{ET} = 0,00057$ белгілі болсын. Онда:

Екі трансформатордың да жұмыстық күйдегі коэффициенті

$$K_{DD} = K_D K_D = 0,99996$$

Бір трансформатордың еріксіз тұру күйіндегі коэффициенті

$$K_{ET,D} = K_{D1} K_{ET2} + K_{ET1} K_{D2} = 2 K_D K_{ET} = 2 \cdot 0,99943 \cdot 0,00057 = 1,14 \cdot 10^{-3}$$

Екі трансформатордың да еріксіз тұру күйіндегі коэффициенті

$$K_{ET,ET} = (K_{ET})^2 = 0,00057^2 = 0,33 \cdot 10^{-6}$$

Жалпы жағдайда, n элементтен тұратын жүйенің түрлі күйде болу коэффициенттері $(K_D + K_{ET})^n$ биномын жіктеу арқылы табылады, яғни

$$(K_D)_n^m = C_n^m K_D^m K_{ET}^{n-m} \quad (2.7.15)$$

мұнда

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}; \quad C_n^0 = 1; \quad C_n^n = 1$$

Бір топ элементтердің істен шығу параметрлері деп, дара элементтердің еріксіз тұру коэффициенттерінің орын алу оқиғасын айтады (в совпадении вынужденных простоев всех элементов группы).

Мысалға, 2-трансформатордан тұратын подстанцияның істен шығу параметрі

$$\omega = \omega_1 K_{ET2} + \omega_2 K_{ET1} \quad (2.7.16)$$

3-трансформатордан тұратын подстанцияның істен шығу параметрі

$$\omega = \omega_1 K_{ET2} K_{ET3} + \omega_2 K_{ET1} K_{ET3} + \omega_3 K_{ET1} K_{ET2} \quad (2.7.17)$$

2-трансформатор үшін еріксіз тұру коэффициенті

$$K_{ET} = K_{ET1} K_{ET2} \quad (2.7.18)$$

3-трансформатор үшін еріксіз тұру коэффициенті

$$K_{ET} = K_{ET1} K_{ET2} K_{ET3} \quad (2.7.19)$$

мұндағы ω_1 , ω_2 және ω_3 сәйкесінше трансформаторлардың істен шығу ағындарының параметрі, K_{ET1} , K_{ET2} және K_{ET3} трансформаторлардың еріксіз тұру коэффициенттері.

Қалыпқа келтіру уақыты ω және K_{ET} мәндері арқылы былайша анықталады:

$$T_{KK} = \frac{8760 K_{ET}}{\omega} = \frac{8760 K_{ET1} K_{ET2}}{\omega_1 K_{ET2} + \omega_2 K_{ET1}} \quad (2.7.20)$$

Ескерте кететін жәй, трансформаторлар мен әуе желілерінің істен шығу ағындарының параметрлерін талдау нәтижесінде келесі қорытындыны жасауға болады /6/:

– Жүйелерді сенімділікке есептеу барысында, екі трансформатордың бір мезеттегі істен шығуларын есепке алмаса да болады (мөлшермен 90 мың жылда 1 – рет орын алады).

– Сол сияқты, 3 – әуе желісінің бір мезеттегі істен шығуларын да есепке алмаса да болады (мысалға, ұзындығы 200 км, кернеуі 220 кВ болатын 3 – желінің бір мезеттегі істен шығуы мөлшермен 35 мың жылда 1 – рет орын алады екен).

Айта кететін жәй, жоғарыда айтылған қорытынды 2 – цепті желілер немесе параллель орналасқан желілер үшін тура емес.

Сенімділікті есептеу кезіндегі жоспарлы жөндеу жұмыстарын есепке алу

Жүйелерді сенімділікке есептеу кезінде қалыпты режимнен басқа, жоспарлы жөндеу режимі де, яғни элементтердің ішінен бір элемент

капиталдық немесе қарапайым жөндеуде болу оқиғасы да қарастырылуы қажет. Кей жағдайларда жоспарлы жөндеу кезіндегі жұмыс істеп тұрған элементтің кенеттен істен шығуы жүйе сенімділігін күрт нашарлатып жіберулері ықтимал. Жоспарлы жөндеу жұмыстарын есепке алу үшін, жөндеу процестері кезіндегі ақаусыз элементтердің (мысалға, резервтеуші элементтің) істен шығуларының сәйкес келіп (беттесіп) қалуларының орташа сандары және олардың бір мезетте тоқырап қалу уақыттарының орта мәндерін білу қажет. Бұл көрсеткіштер былайша анықталады.

Бірінші элемент үшін жоспарлы жөндеу жиілігі $\mu_{ЖЖ1}$ (1/жыл) және жоспарлы жөндеу уақытының орташа ұзақтығы (бір реттік жөндеу үшін) $T_{ЖЖ1}$ (сағ.) белгілі болсын, ал екінші элемент үшін – істен шығу ағындарының параметрі ω_2 (1/жыл) және қалыпқа келтіру уақыты $T_{КК2}$ (сағ.) белгілі болсын.

1 – ші элементтің жоспарлы жөндеу кезіндегі 2 – ші элементтің істен шығу оқиғасының беттесулерінің математикалық күтімі (1/жыл) былайша анықталады:

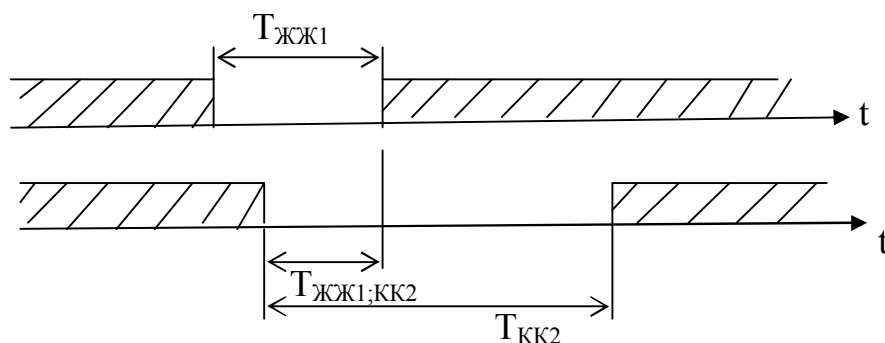
$$\omega_{2;ЖЖ1} = \omega_2 K_{ЖЖ1} = \omega_2 \frac{\mu_{ЖЖ1} T_{ЖЖ1}}{8760} \quad (2.7.21)$$

мұндағы $K_{ЖЖ1}$ жөндеу режимінің коэффициенті (жоспарлы жөндеу жұмыстарының тоқырауын сипаттаушы коэффициент).

1 және 2 элементтің бір мезеттегі тоқыраулары (1 – элемент жоспарлы жөндеуде, 2 – ші элемент істен шығу күйінде) 2.7.1-суретте келтірілген.

Егер $T_{КК2} \gg T_{ЖЖ1}$ болса (2.7.1-сурет) және $T_{ЖЖ1}$ интервалындағы істен шығу сандары біркелкі таралса, онда 2 – элементтің де бір мезеттегі тоқырауларының (1 – элемент жоспарлы жөндеуде, 2 – ші элемент істен шығу күйінде) орта уақыты мынаған тең:

$$T_{КК2;ЖЖ1} = 0,5 T_{ЖЖ1} \quad (2.7.22)$$



2.7.1-сурет. Жоспарлы жөндеу және істен шығу оқиғаларының беттесулері

Егер $T_{КК2} \ll T_{ЖЖ1}$ болса, онда 2 – элементтің де бір мезеттегі тоқырауларының орта уақыты былайша есептеледі:

$$T_{KK2;ЖЖ1} = T_{KK2} - \frac{T_{KK2}^2}{2T_{ЖЖ1}} \approx T_{KK2} \quad (2.7.23)$$

2– элементтің де бір мезеттегі тоқырауларының коэффициенті:

$$K_{KK2;ЖЖ1} = \frac{\omega_{2;ЖЖ1} T_{KK2;ЖЖ1}}{8760} \quad (2.7.24)$$

Егерде 1 – элементтің жоспарлы жөндеу кезінде 2 – ші элементтің істен шығу ықтималдылығы өте аз болса, онда (2.7.21) формуласына түзету коэффициентін ендіреді:

$$\omega_{2;ЖЖ1} = k_{\omega} \omega_2 K_{ЖЖ1} \quad (2.7.25)$$

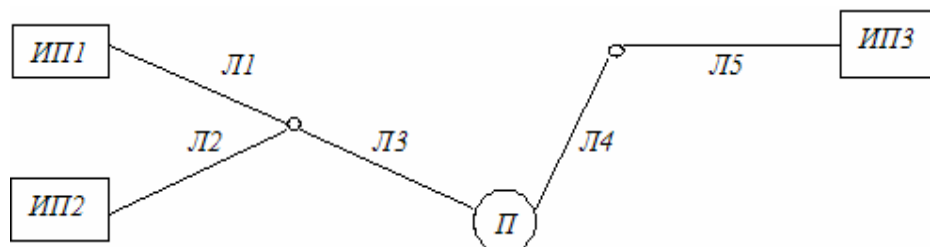
мұндағы $k_{\omega} < 1$ жоспарлы жөндеу кезіндегі істен шығу ағыны параметрінің төмендеуін сипаттаушы коэффициент.

Электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің сенімділігін блок – схема көмегімен талдау

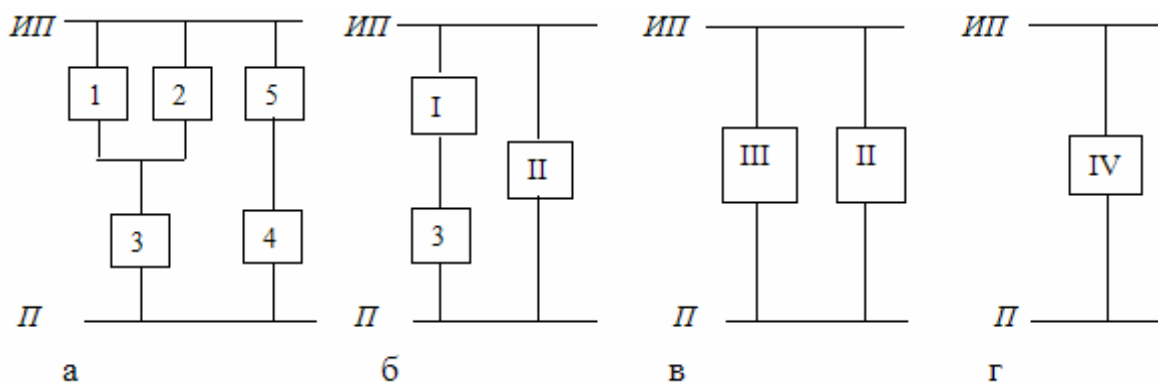
Электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің сенімділігін есептеуде тек қана әуе желілерінің істен шығулары мен жоспарлы түрдегі жөндеулерін есепке алса жеткілікті, себебі трансформаторлар үшін жоспарлы жөндеу уақыты мен кенеттен істен шығу оқиғасының беттесулері өте сирек оқиғалар қатарына жатады.

Бастапқы электр тораптарының схемасынан блок – схемаға көшу үшін, барлық қорек көздері өзара біріктіріледі, ал желілерді өзара, қорек көздерімен және тұтынушылармен жалғасып жатқан блоктармен алмастырылады. Мысалға, 2.7.2-суретте бастапқы торап, ал 2.7.3-суретте бастапқы схема арқылы құрылған блок – схема келтірілген.

2.7.3 г-суретте соңғы түрлендірілген блоктың (IV–блок) сенімділігі тұтынушыларды энергиямен қамтамасыз ететін тораптың сенімділігін анықтайды (іздістіріліп отырылған сенімділік).

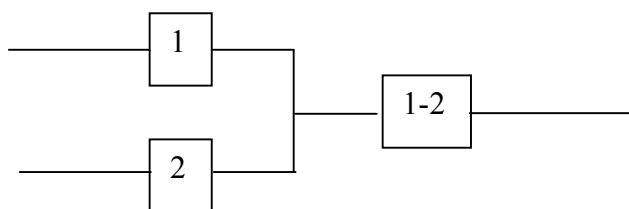


2.7.2-сурет. Бастапқы электр тораптарының схемасы:
ИП1, ИП2, ИП3 – қорек көздері; Л1, Л2, Л3, Л4, Л5 – электр желілері;
П – тұтынушы



2.7.3-сурет. а – электр тораптарының блок – схемасы; б, в және г – түрлендірілген блок – схемалар

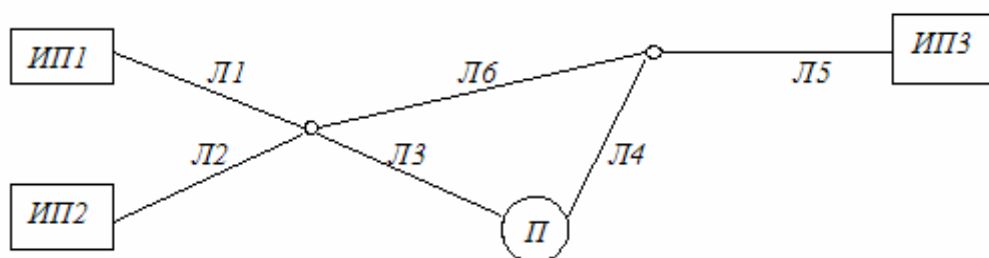
Блок – схемада 2 цепті желілер үш блокпен бейнеленеді (2.7.4-сурет).



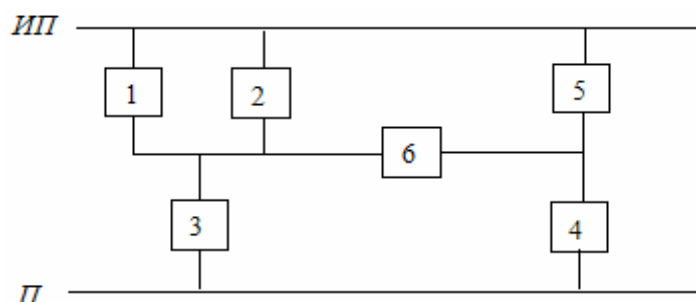
2.7.4-сурет.
2– цепті желілердің
блок – схемасы

1 және 2 блоктар әр элементтің істен шығуларын және жоспарлы жөндеулерін бейнелейді, ал (1 – 2) блок екі цептің де бір мезеттегі істен шығуларын сипаттайды.

Егер электр торабында тұйықталған контур болса, онда блок – схемада параллель тармақтарды өзара жалғайтын қосымша тізбек (перемычки) пайда болады (2.7.5 және 2.7.6-суреттер).



2.7.5-сурет. Тұйықталған контуры бар электр торабы



2.7.6-сурет. Тұйықталған контуры бар электр торабының блок – схемасы

Өзара *тізбектей* жалғанған n блоктың эквивалентті сенімділік көрсеткіштері (блоктар бір мезетте тоқырап қалмайды деп пайымдаған жағдайда) келесі формулалармен анықталады:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (2.7.26)$$

$$T_{KK} = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n T_{KKi} \omega_i \quad (2.7.27)$$

$$\mu_{ЖЖ} = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (2.7.28)$$

$$T_{ЖЖ} = \frac{1}{\mu_{ЖЖ}} \sum_{i=1}^n T_{ЖЖi} \mu_i \quad (2.7.29)$$

Егерде i және j элементтері *параллель* қосылса, онда сенімділік көрсеткіштері келесі формуламен есептеледі:

$$\omega = \omega_i (K_{ETj} + k_{\omega} K_{ЖЖj}) + \omega_j (K_{ETi} + k_{\omega} K_{ЖЖi}) \quad (2.7.30)$$

$$T_{KK} = \frac{1}{\omega} [T_{KK;KK} (\omega_i K_{ETj} + \omega_j K_{ETi}) + k_{\omega} (T_{KKi;ЖЖj} \omega_i K_{ЖЖj} + T_{KKj;ЖЖi} \omega_j K_{ЖЖi})] \quad (2.7.31)$$

мұндағы $T_{KK;KK}$ элементтердің бір мезеттегі еріксіз тұру уақыттарының орта мәні

$$T_{KK;KK} = \frac{T_{KKi} T_{KKj}}{T_{KKi} + T_{KKj}} \quad (2.7.32)$$

$T_{KKi;ЖЖj}$ және $T_{KKj;ЖЖi}$ жоспарлы жөндеу және істен шығу уақыттарының өзара беттесулерінің орташа ұзақтығы, (2.7.22) және (2.7.23) формулаларымен анықталады.

Егерде қорек көздері мен тұтынушыларды байланыстырып тұрған кейбір желілердің энергияны жіберу мүмкіндігі (пропускная способность) шектеулі немесе кейбір энергия көздерінің қуаты шектеулі болған жағдайда, сенімділікті есептеуде тұтынушыларды электрмен жабдықтаудың шектеу режимдерін де есепке алу қажет. Мысалы, егерде 2.7.2-суретте Л4 және Л5 желілерінің қуатты жіберу мүмкіншілігі шектеулі болса, немесе ИПЗ қорек көзінің қуаты шектеулі болса, онда тұтынушыларды электрмен толығымен қамтамасыз ете алмау мәселесі туындайды. Әрине, бұл жағдайда энергия дефициті ІІІ - блоктың (2.7.3 в-сурет) сенімділігіне және жоспарлы түрде жөндеу кезіндегі тоқырауларына тікелей тәуелді болады.

Тұтынушыларды электрмен жабдықтаудың шектеу режимдерін есепке алу үшін, тұйықталған контуры бар жүйелер (2.7.5 және 2.7.6-суреттер) екі схемаға жіктеледі:

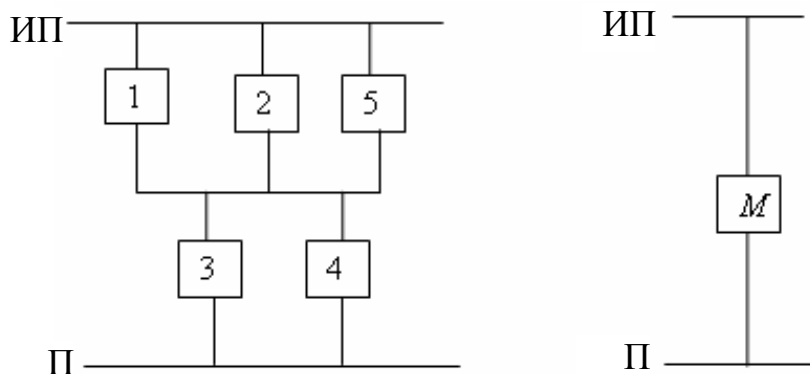
а) бірінші схемада 6 – блок қысқа тұйықталады да, М эквивалентті блокқа түрлендіріліп, сенімділігі есептеледі ($\omega_M; T_{KKM}$). Бұл жағдайда 6 – шы блоктың жоспарлы және еріксіз түрдегі тоқыраулары есепке алынбайды (2.7.7-сурет);

б) екінші схемада 6 – блок біржолата алынып тасталады да, L эквивалентті схемасына түрлендіріліп, сенімділігі есептеледі ($\omega_L; T_{KKL}$) (2.7.8-сурет).

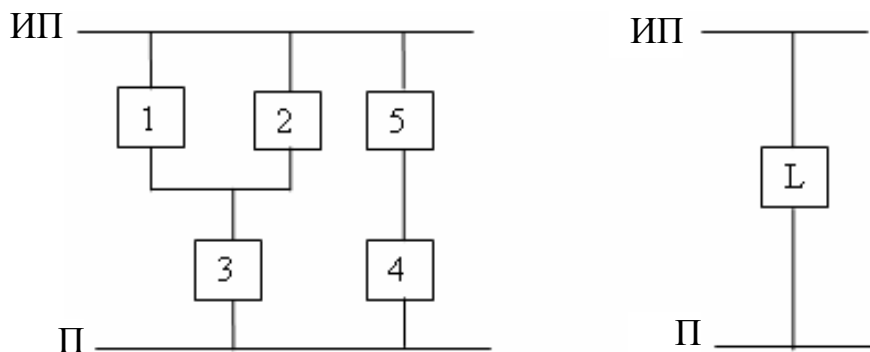
6 – блоктың жоспарлы ($K_{ЖЖi}$) және еріксіз тұру (K_{ETi}) коэффициенттері бойынша, электрмен қамтамасыз ету торабының сенімділігі былайша есептеледі.

$$\omega = \omega_M (1 - K_{ETi} - K_{ЖЖi}) + \omega_L (K_{ETi} + k_\omega K_{ЖЖi}) \quad (2.7.33)$$

$$T_{KK} = \frac{1}{\omega} [\omega_M (1 - K_{ETi} - K_{ЖЖi}) T_{KKM} + \omega_L (K_{ETi} + k_m K_{ЖЖi}) T_{KKL}] \quad (2.7.34)$$



2.7.7-сурет. 6 – шы элементті қысқа тұйықтау



2.7.8-сурет. 6 – шы элементті алып тастау

Мысал ретінде, 2.7.2-суретте келтірілген электрмен қамтамасыздандыру торабы үзілістерінің математикалық күтімін және орташа ұзақтығын есептейік. Желілердің параметрлері және олардың сенімділік көрсеткіштері 2.7.2-кестеде келтірілген.

2.7.2- кесте

Желілердің параметрлері және сенімділік көрсеткіштері

Желі	Кернеу кВ	Ұзындығы км	ω 1/жыл	T_{KK} сағ.	$\mu_{ЖЖ}$ 1/жыл	$T_{ЖЖ}$ сағ.
1	220	100	0,7	16	6	8
2	220	120	0,84	16	6	8
3	110	50	0,5	14	5	8
4	110	60	0,6	14	5	8
5	110	40	0,4	14	5	8

Жоспарлы жөндеулер тиімді климаттық жағдайларда жүргізіледі. Бұл жағдай $k_{\omega} = 0,5$ коэффициентімен ескеріледі.

Есептеу кезеңдері.

1. 1 және 2 параллель блоктардың эквивалент I блогының сенімділігін есептеу (2.7.3 а, б-суреті).

1 және 2 блоктың еріксіз және жоспарлы тұру коэффициенттері (2.7.8) және (2.7.11) формулалары арқылы анықталады:

$$K_{ET1} = \frac{\omega_1 T_{KK1}}{8760} = \frac{0,7 \cdot 16}{8760} = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{ET2} = \frac{\omega_2 T_{KK2}}{8760} = \frac{0,84 \cdot 16}{8760} = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{ЖЖ1} = K_{ЖЖ2} = \frac{\mu_{ЖЖ1} T_{ЖЖ1}}{8760} = \frac{6 \cdot 8}{8760} = 5,5 \cdot 10^{-3}$$

I блоктың істен шығу ағынының параметрі (2.7.30) формулаға сәйкес

$$\omega_I = \omega_1 (K_{ET2} + k_{\omega} K_{ЖЖ2}) + \omega_2 (K_{ET1} + k_{\omega} K_{ЖЖ1}) = 0,7(1,5 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3}) + 0,84(1,3 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3}) = 6,4 \cdot 10^{-3}; (1/\text{жыл})$$

1 және 2 блоктың бір мезеттегі еріксіз тұру коэффициенті (2.7.32) формуласы бойынша

$$T_{KK;KK} = \frac{T_{KK1} T_{KK2}}{T_{KK1} + T_{KK2}} = \frac{16 \cdot 16}{16 + 16} = 8 \text{ сағ.}$$

Жоспарлы жөндеу мен еріксіз тұру оқиғаларының беттесулерінің ұзақтығы (2.7.22) формуласы бойынша анықталады:

$$T_{KK1;ЖЖ2} = T_{KK2;ЖЖ1} = 0,5 \quad T_{ЖЖ2} = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ (сағ.)}$$

I блогты қалыпқа келтіру уақытының орта мәні (2.7.31) формуласы бойынша есептеледі:

$$T_{KKI} = \frac{1}{\omega_I} [T_{KK;KK} (\omega_1 K_{ET2} + \omega_2 K_{ET1}) + k_{\omega} (T_{KK1;ЖЖ2} \omega_1 K_{ЖЖ2} + T_{KK2;ЖЖ1} \omega_2 K_{ЖЖ1})] =$$

$$= \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-3}} [8(0,7 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} + 0,84 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}) + 0,5(4 \cdot 0,7 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 0,84 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3})] = 5,3$$

2. Тізбектей жалғанған 4 және 5 блоктардың эквивалентті блогының (II блок) жоспарлы тоқырауларын және сенімділік көрсеткіштерін есептеу.

II блогтың істен шығу ағынының параметрі және қалыпқа келтіру уақытының орта мәні сәйкесінше (2.7.26), (2.7.27) формулалармен анықталады:

$$\omega_{II} = \omega_4 + \omega_5 = 0,6 + 0,4 = 1 \text{ (1/жыл)}$$

$$T_{KK2} = \frac{1}{\omega_{II}} (T_{KK4} \omega_4 + T_{KK5} \omega_5) = \frac{1}{1} (14 \cdot 0,6 + 14 \cdot 0,4) = 14 \text{ (сағ.)}$$

Жоспарлы түрдегі жөндеу уақытының жиілігі және орта мәні (2.7.28) және (2.7.29) формулалармен анықталады:

$$\mu_{II} = \mu_4 + \mu_5 = 5 + 5 = 10 \text{ (1/жыл)}$$

$$T_{ПР2} = \frac{1}{\mu_{II}} (T_{ПР4} \mu_4 + T_{ПР5} \mu_5) = \frac{1}{10} (8 \cdot 5 + 8 \cdot 5) = 8 \text{ сағ.}$$

III және IV эквивалентті блоктар үшін сенімділік көрсеткіштері жоғарыдағы мысалдарға ұқсас есептеледі, төменде (2.7.3-кесте) есептеудің соңғы нәтижелері берілген.

2.7.3-кесте

Электрмен қамтамасыздандыру жүйесінің сенімділік көрсеткіштері

Блок	ω 1/жыл	T_B сағ.	μ 1/жыл	$T_{ПР}$ сағ.
I	0,006	5,3	0	0
II	1	14	10	8
III	0,506	14	5	8
IV	0,006	4,6	0	0

Ескерту: кестенің 4-жолы жүйенің қорытқы сенімділік көрсеткіштерін береді.

Электрмен қамтамасыздандыру жүйесінің тоқырауы 0,006 1/жыл санымен сипатталады, яғни 170 жылда 1 – рет болатын оқиға. Еріксіз тұру уақытының (қалыпқа келтіру уақыты) орта мәні 4,6 сағатты құрайды. Жоспарлы түрдегі тоқыраулар жоқ ($\mu = 0$).

Л4 және Л5 желілерінің беру қабілеті шектелген жағдайда, немесе ИПЗ қорек көзінің қуаты шектелген жағдайда тұтынушыларға энергия жетіспеушілік ІІІ – блокқа тәуелді болып қалады, яғни энергия дефициті ІІІ – блок жоспарлы және еріксіз тұрып қалған жағдайда туындайды. Еріксіз тұрып қалу оқиғасынан туындайтын шектеудің математикалық күтімі 0,506 1/жыл санымен сипатталады, яғни 2 жылда 1 рет туындайды да, энергияны шектеу уақыты 14 сағатқа тең. Ал жоспарлы түрдегі шектеулер жылына 5 рет орын алады да, шектеу уақытының орта мәні 8 сағатты құрайды.

Б қосымшасында кейбір энергетикалық қондырғылардың сенімділік көрсеткіштері келтірілген. Бұл көрсеткіштер практикалық жаттығулар кездерінде немесе аудиториядан тыс тапсырмаларды орындау кездерінде қолданыс табулары мүмкін.

Бақылау сұрақтары.

1. Электр энергиясын тарату торабының сенімділігін анықтаудың ерекшеліктері.
2. Жоспарлы түрдегі жөндеу жұмыстарының көрсеткіштері.
3. Электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің сенімділігін блок – схема көмегімен талдау.
4. Ұзындығы l километр әуе желісі үшін істен шығу ағынының параметрі қалай анықталады?
5. Тұйықталған контуры бар электр торабының блок – схемасын салыңдар.

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ СЕНІМДІЛІКТІҢ НЕГІЗГІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

3.1. Жалпы энергетикалық жүйе және оның элементтері

Жалпы энергетикалық жүйе құрамына бес арнайы жүйе кіреді: электр энергетикалық; ядерлік энергетикалық; мұнаймен қамтамасыздандыру; газбен қамтамасыздандыру; көмірмен қамтамасыздандыру.

Электр энергетикалық және ядерлік энергетикалық жүйелер тұтынушыларды электр энергиясымен және жылу энергиясымен қамтамасыз ету үшін құрылған. Ал қалған жүйелер түрлі өндірістерді (химиялық, металлургиялық, энергетикалық т.с.с.) органикалық отынмен, жанармаймен қамтамасыз етеді. Жоғарыда келтірілген энергетикалық жүйелер отын-энергетикалық жүйе деп аталады. Бұл жүйеде энергияның қайсыбір түрлерін түрлендіру және тұтыну, тасымалдау, өндіру процестері жүреді.

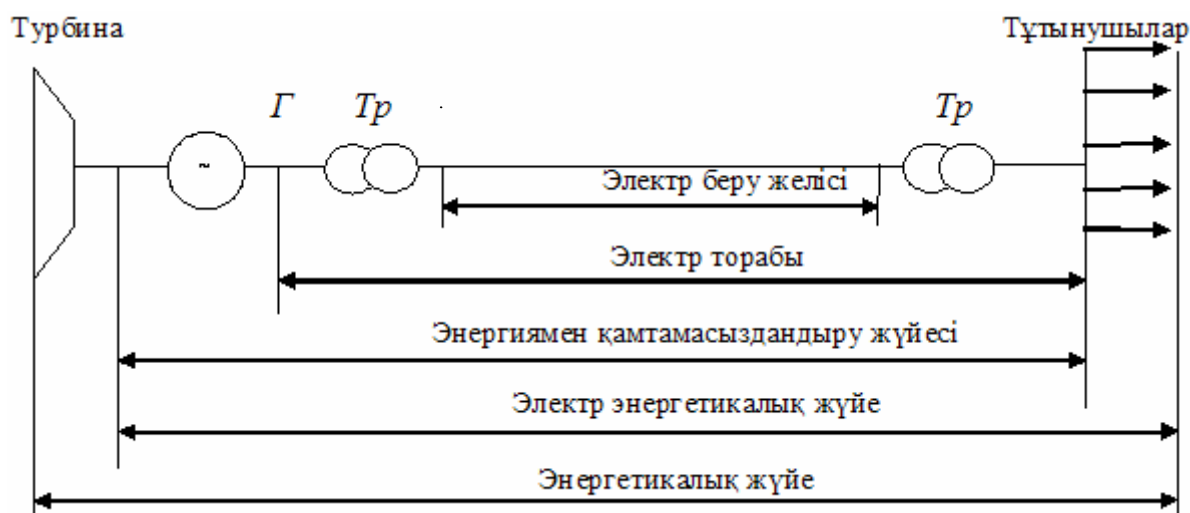
Энергетикалық өнім екі түрде болады: электрлік энергия және жылу энергиясы. Осыған орай энергетикалық жүйе шартты түрде екі категорияға бөлінеді – электр энергетикалық жүйе және жылу энергетикалық жүйе.

Жылу энергетикалық жүйе құрамына жылу энергиясын өндіруге негізделген барлық жабдықтар мен өнеркәсіп кіреді.

Электр энергетикалық жүйе – энергетикалық ресурстарды дайын өнімге – электр энергиясына өндеуге негізделген, технологиялық процестер мен өндірістердің бірлестігі. Процестер келесі этаптарды қамтиды: электр энергиясын өндіру; өндірілген энергияны тасымалдауға және таратуға ыңғайлы түрге түрлендіру. Әрбір этап энергетикалық өнеркәсіп және техникалық элементтер жәрдемімен жүзеге асады.

Электр энергиясын өндіру – электр станция көмегімен, электр энергиясын түрлендіру – трансформаторлар арқылы, ал энергияны тасымалдау және тарату процестері – электр беру желілерінің көмегімен жүзеге асырылады. Тұтынушылар ретінде түрлі электр қабылдағыштарды айтамыз (3.1.1–сурет).

Сонымен қатар, электр энергетикалық жүйеде бүкіл жүйені және жүйе элементтерін басқарып отыру үшін, басқару және реттеу құрылғылары қарастырылған. Энергияны тұтынушыларға беру электр тораптары арқылы жүзеге асады. Электр тораптары деп, белгілі бір территорияда орналасқан, электр энергиясын энергия көзінен қабылдағыштарға беруге арналған әуе және кабельдік желілердің жиынтығын айтамыз. Электр торабы – электр аппараттарымен және өлшеу аспаптарымен жабдықталған тарату түйіндерінен, сонымен қатар желілердің таралымдарынан тұрады. Қауіпсіздік шараларының шарты бойынша, электр тораптары екі топқа бөлінеді: кернеуі 1000 В дейінгі тораптар және кернеуі 1000 В жоғары болып келетін тораптар.



3.1.1-сурет. Электр энергетикасының элементтері:
Г - генератор, Tr – күштік трансформатор

Электр энергиясын тасымалдау кезінде ток пен кернеудің параметрлері трансформацияланады. Бұл операция трансформаторлардың көмегімен жүзеге асады. Желімен берілетін қуатты көтерудің қазіргі кезде екі жолы бар: біріншісінде – кернеуді жоғарылату болса, екіншісінде – параллель орналасқан желілердің санын арттыру. Берілетін қуат мөлшері кернеудің квадратына пропорционал, ал қуатты берудің шығыны – кернеудің бірінші дәрежесіне пропорционал ұлғаяды. Басқаша айтсақ, кернеуі 500 кВ тең бір әуе желісі кернеуі 220 кВ тең 4 – 5 әуе желісін айырбастай алады екен.

Айнымалы ток желісінен берілетін қуат мөлшерін – кернеуді көтеруден басқа, фаза конструкциясын өзгерту, яғни бір фазаны бірнеше сымдармен жабдықтау (расщепления провода фазы) арқылы да жоғарылатуға болады. Мұндай конструкция электрді беру жүйесінің электрлік сипаттамаларын жақсартады.

Электр энергиясын тасымалдауда айнымалы токпен қатар тұрақты ток та қолданылады. Тұрақты ток желілерінің артықшылығы – айнымалы токтағыдай үш сымның орнына екі сым қолданылады. Сонымен қатар бірқатар мәселелерді, мысалға орнықтылық мәселелері, жіберу қабілеттілігінің шектелуі т.с.с. шешу қажет болмай қалады. Бірақ та, тұрақты токпен беру жүйелерінің өздеріне тән бірқатар кемшіліктері де бар. Олар қосымша түрлендіру операцияларын, осыған орай қосымша түрлендіргіш қондырғыларды қажет етеді. Мұның бәрі қандай да бір энергияның шығынына әкеп соғады.

Ақырында, электрмен қамтамасыз ету жүйесі – электр энергия көзінен, трансформаторлық, түрлендіргіштік және тарату подстанцияларынан, сонымен қатар электр тораптарынан тұрады. Бұл комплекстің атқаратын функциясы – электр энергиясын өндіру, тасымалдау және тарату болып табылады.

Бақылау сұрақтары.

1. Жалпы энергетикалық жүйенің құрамдас бөліктері.
2. Энергетикалық жүйе элементтері.

3. Тұтынушыларға берілетін қуат мөлшерін көтерудің жолдары.
4. Электр энергиясын тасымалдауда қолданылатын айнымалы ток пен тұрақты токтың артықшылықтары мен кемшіліктері.

3.2. Электр энергетикалық жүйе элементтерінің істен шығуларының негізгі себептері

Электр энергетикалық жүйе элементтерінің (трансформаторлар, кабельдік және әуе желілері, генераторлар, двигательдер, коммутациялық аппараттар т.с.с.) істен шығуларының негізінде жылулық – механикалық қозу әсерлері жатыр. Мысалға, жылулық әсерлерінен пайда болатын трансформатор изоляцияларының изоляциялық қасиеттерін жоғалтуы, от ұшқынын жою камерасының тозуы, діріл нәтижесінде жабдықтар материалдарының беріктілігінің нашарлауы т.с.с.

Электр станция энергоблоктарының істен шығулары негізінен жылу – күштік, гидро-механикалық жабдықтардың және генераторлардың сенімділігіне тәуелді болып келеді (3.2.1-кесте).

Синхрондық машиналардың статор орамының зақымдануымен туындайтын істен шығу оқиғалары ротор орамының зақымдануымен туындайтын істен шығу оқиғаларымен салыстырғанда 2 – есе жиі кездеседі, ал активті болаттың зақымдануымен туындайтын істен шығу оқиғаларымен салыстырғанда 10 – есе сирек кездеседі. Қоздыру жүйесінің зақымдану сандары ротор орамының зақымдану сандарымен шамалас, ал подшипниктердің және суыту жүйелерінің зақымдануларынан туындайтын істен шығу оқиғалары, ротордың зақымдануымен салыстырғанда 2 – есе аз кездеседі.

Статор орамының зақымдануы әдетте изоляцияның электрлік тесілуінен туындайды. Изоляцияның механикалық зақымдануы изоляция орналасқан активті болаттың дірілінен туындайды. Сонымен қатар, изоляцияның бүлінуі су мен майдың әсерлерінен де туындайды.

Активті болаттардың істен шығулары, болат цилиндрдің жоғарғы жылдамдықпен айналу барысында, болаттарды бекіту детальдерінің босаңсуынан туындайды. Сол сияқты, изоляциялық пленкалардың зақымданулары болаттың кейбір аймақтарының қызып кетулеріне әкеп соғады, бұл жағдай өз кезегінде корпус изоляциясының бүлінуіне себебін тигізеді.

Подшипниктердің зақымданулары – баббиттің балқуларынан, майлаушы майлардың ағып кетулерінен туындайды. Сонымен қатар, подшипник токтары вкладыштер мен цапфтардың зақымдануларына әкеп соғады. Подшипник токтары негізінен машиналардың магниттік жүйелерінің асимметриясынан туындайды, мысалға ауа саңылауларының біркелкі еместігінен. Бұл құбылыспен күресу үшін, қоздыру орамы жағынан қалыңдығы 2 – 5 мм болатын гетинакс немесе текстолит материалдарымен подшипник оқшауландырылады.

3.2.1-кесте

Энергоблок тоқырауларының себептері мен сенімділік көрсеткіштері

№	Істен шығу оқиғалары	Істен шығу ағындарының параметрі, w , (1/жыл)	Қалыпқа келтіру уақытының орта мәні, $t_{\text{ккор}}$ (сағ)	Жоспарлы жөндеу уақытының орташа ұзақтығы, $T_{\text{жж}}$ (сағ/жыл)	Жоспарлы жөндеу уақытының жиілігі, $\mu_{\text{жж}}$ (1/жыл)
1	Генератор	0,10 - 1,5	50 – 180	-	-
2	Қоздыру цептері	0,01 - 0,05	2	-	-
3	Гидротурбиналар және басқа да гидрокүштік және гидротехникалық жабдықтар	0,03 - 0,05	200 – 300	200 - 800	1 - 2
4	Бу турбинасы және машина залының жабдықтары	0,5 - 3,5	20 – 100	900 - 1600	5 - 20
5	Бу генераторы және қазандық цехының жабдықтары	2 - 8	36 – 100	300 - 1000	5 - 20
6	Релелік қорғаныстардың жалған қосылулары	0,01 - 0,05	0,1 – 12	-	-
7	Персоналдардың қателіктері	0,02 - 0,06	0,1 – 12		-

Күштік трансформаторлардың істен шығу себептері

Трансформатор орамдары изоляцияларының зақымдануы – негізінен кернеудің күрт өсіп кетулерінен, қысқа тұйықталу токтарынан, трансформаторларды даярлау кездеріндегі кететін технологиялық олқылықтардан және қажетті мөлшерде суытудың болмауынан туындайды. Сол сияқты, трансформаторлардың істен шығулары кернеуді реттеу құрылғыларының дұрыс жұмыс істемеулерінен, контактілердің зақымдануларынан, майдың ағып кетулерінен де туындайды.

Трансформаторлардың істен шығу жиіліктері – олардың геометриялық өлшемдерінен, кернеу кластарына және эксплуатациялау шарттарына тәуелді болып келеді (3.2.2-кесте).

Трансформатордың сенімділік көрсеткіштері

Кернеу, кВ	Істен шығу ағындарының параметрі, w , (1/жыл)	Қалыпқа келтіру уақытының орташа мәні, $t_{\text{ккор}}$ (сағ)	Жоспарлы жөндеу уақытының орташа ұзақтығы, $T_{\text{жж}}$ (сағ/жыл)	Жоспарлы жөндеу уақытының жиілігі, $\mu_{\text{жж}}$ (1/жыл)
6 - 20	0,008 - 0,080	60 - 100	10 - 15	0,25
35	0,005 - 0,020	90 - 150	25 - 30	0,3 - 0,7
110	0,005 - 0,050	100 - 200	30 - 40	0,3 - 1,0
220	0,02 - 0,08	150 - 250	40 - 50	0,4 - 1,0
330	0,05 - 0,10	200 - 300	50 - 60	0,5 - 1,5
500	0,05 - 0,15	250 - 350	60 - 80	0,5

Ескерту: кестеде келтірілген ақпараттардың жоғарғы диапазондары жоғарғы қуатты трансформаторларға арналған.

Автотрансформаторлар мен трансформаторлардың істен шығу оқиғаларының мөлшер мен проценттік таралымы төменде келтірілген:

- Даярлаушы завод дефектісі – 35 %;
- Нөсер жаңбыр, найзағайдан туындаған зақым – 25 %;
- Эксплуатациялық қателіктер – 20 %;
- Сапасыз жөндеу жұмыстары – 10 %;
- Изоляцияның ескірулері – 10 %.

Электр қуатын тасымалдау желілері әдетте ең көп істен шығатын элементтер қатарына жатады. Желілердің істен шығуларының негізгі себептеріне жататындары:

- Мұз – жел жүктемелерінен туындайтын зақымданулар, мысалға сымдардың дірілі және мұз қатқан сымдардың жел өтіндегі билеулері;
- Нөсер жаңбыр, найзағай;
- Желі тіректерін түрлі механизмдердің, автокөліктердің құлатып кетулері;
- Завод тарапынан кеткен түрлі дефектілер;
- Құрылыс – монтаж жұмыстарынан кеткен қателіктер;
- Оперативті персоналдардан кеткен қателіктер;
- Жоспарлы жөндеу мерзімдерін сақтамау.

Электр қуатын берудің кабельдік жүйесінің істен шығулары негізінен жер қазу жұмыстарының дұрыс жүргізілмеулерінен туындайды (70% – дейін). Сонымен қатар, кабельдердің түйіскен жерлерінде (муфталарда) электрлік тесілу оқиғасы жиі орын алып тұрады. Кабель изоляциясының тозуы да,

олардың істен шығуларына әкеп соғады. Кабельдік желілерді істен шығу оқиғасынан кейін қалыпқа келтіру әуе желілерімен салыстырғанда әлдеқайда көп уақытты алады (ондаған сағаттар).

Коммутациялық аппараттар сенімділік тұрғысынан алып қарағанда өте күрделі болып келеді. Коммутациялық аппараттар автоматты (түрлі автоматтар, қорғағыштар т.с.с.) және автоматты емес (рубильниктер) болып бөлінеді. Коммутациялық аппараттардың істен шығуларының негізгі себептеріне жататыны:

- Жетектердің істемей қалулары;
- Механикалық зақымданулар;
- Отты ұшқынды сөндіру камерасының тозуы;
- Контактілердің жанып кетулері;
- Кернеудің күрт жоғарылау кездеріндегі изоляциялардың зақымдануы.

Коммутациялық аппараттардың электр желілерімен және трансформаторлармен салыстырғандағы ерекшелігі – олар дискретті-үздіксіз элементтер қатарына жатады. Сол себепті, олардың сенімділігін анықтау (есептеу) үздіксіз әрекетті элементтермен салыстырғанда біршама қиындау болып келеді.

Бақылау сұрақтары.

1. Электр станция энергоблоктарының істен шығу себептері.
2. Синхрондық машиналардың істен шығу себептері.
3. Күштік трансформаторлардың істен шығу себептері.
4. Электр энергиясын тасымалдау желілерінің істен шығу себептері.
5. Коммутациялық аппараттардың істен шығу себептері.

3.3. Сенімділікті қамтамасыз ету тәсілдері мен жабдықтары

Электр станцияларының сенімділігін көтеру келесі мәселелерді шешуге келіп тіреледі:

- Жүйелерді (элементтерді) резервтеу;
- Жабдықтардың конструкциясы мен материалдарын жетілдіру;
- Электр жабдықтарына дер кезінде және жоғарғы дәрежеде техникалық қызмет көрсету;
- Процестерді бақылап және басқарып отыру;
- Автоматтандыру және автоматты қорғауыштарды кең көлемде қолдану.

Электр энергетикалық жүйелердің және тарату тораптарының сенімділігін көтеру келесі мәселелерді шешуге келіп тіреледі:

- Электрлік байланыстардың рационалдық схемасын құру;
- Тораптарды апаттық жағдайлардан автоматты қорғау жабдықтарымен жабдықтау;
- Тұтынушыларда реактивті қуатты реттеу және компенсациялау қондырғыларын қарастыру;

- Подстанцияларды телеөлшеумен жабдықтау және телемеханизациялау;
- Күрделі тораптардағы оперативті қосу-ажырату операцияларын электрондық есептеу машиналарының көмегімен автоматты түрде жүзеге асыру;

- Микропроцессорлық техниканы қолдану арқылы, автоматика мен релелік қорғаныстардың логикалық мүмкіншіліктерін жоғарылату т.с.с.

Әуе және кабельдік желілердің сенімділігін жоғарылатудың жолдары:

- Зақымданған жерлерді іздестіру құрылғысын енгізу;
- Түрлі апаттардан кейінгі қалыпқа келтіру мерзімін қысқарту;
- Жөндеу жұмыстарын желілер жұмыстық күйде болған жағдайда жүргізу технологиясын ендіру;

- Жөндеу жұмыстарын жүргізу базасын қажетті қосалқы бөлшектермен, көліктермен және механизмдермен қамтамасыз ету;

- Профилактикалық жөндеу жұмыстарын оптимизациялау.

Жоғарыда келтірілген сенімділік шараларының ішінде маңызы зор шаралар ретінде – электр станцияларының және электр энергетикалық жүйелердің схемаларын жетілдіру және профилактикалық жөндеу жұмыстарын оптимизациялау болып табылады.

Бақылау сұрақтары.

1. Электр станцияларының сенімділіктерін көтерудің негізгі тәсілдері.
2. Электр энергетикалық жүйелердің және тарату тораптарының сенімділігін көтеру жолдары.
3. Әуе және кабельдік желілердің сенімділігін жоғарылатудың жолдары.

3.4. Жүйелерге профилактикалық қызмет көрсету

Профилактикалық қызмет деп – істен шығу ықтималдылықтарын төмендетуге бағытталған арнайы шаралар жиынтығын (техникалық қадағалау, жүйе элементтерін дер кезінде ауыстырып отыру, реттеу, баптау т.с.с. шаралар) айтамыз.

Профилактикалық қызметтің негізгі мәселесі – профилактика мерзімін және профилактикалық жұмыстардың мазмұнын анықтау болып табылады.

Профилактиканы жоспарлау алдағы уақытта орын алатын істен шығу оқиғаларының қаншалықты орын алатындығының ықтималдылығына тәуелді болып келеді. Егерде істен шығу оқиғасы өте сирек болатын оқиғалар қатарына жатса және де кенеттен орын алатын, кездейсоқ түрде өтсе, онда жүйе элементтерін (детальдерін) жоспарлы түрде жиі-жиі ауыстырып отырудың мағынасы жоқ. Бұл жағдайда ауыстырылған элемент жүйенің сенімділігін жоғарылатпайды, кей уақытта керісінше төмендетеді. Егерде істен шығудың себебі біртіндеп қажалу, тозу, қартаю процестерінен туындаған жағдайда, элементтерді жоспарлы түрде және кешіктірмей, дер кезінде ауыстырып тұру жүйе сенімділігін біршама жоғарылатады.

Көп жағдайларда элементтердің қызметтік мерзімдері (срок службы) белгісіз болып келеді. Сол себептен элементтердің техникалық параметрлерін үнемі бақылап және өлшеп тұру қажет.

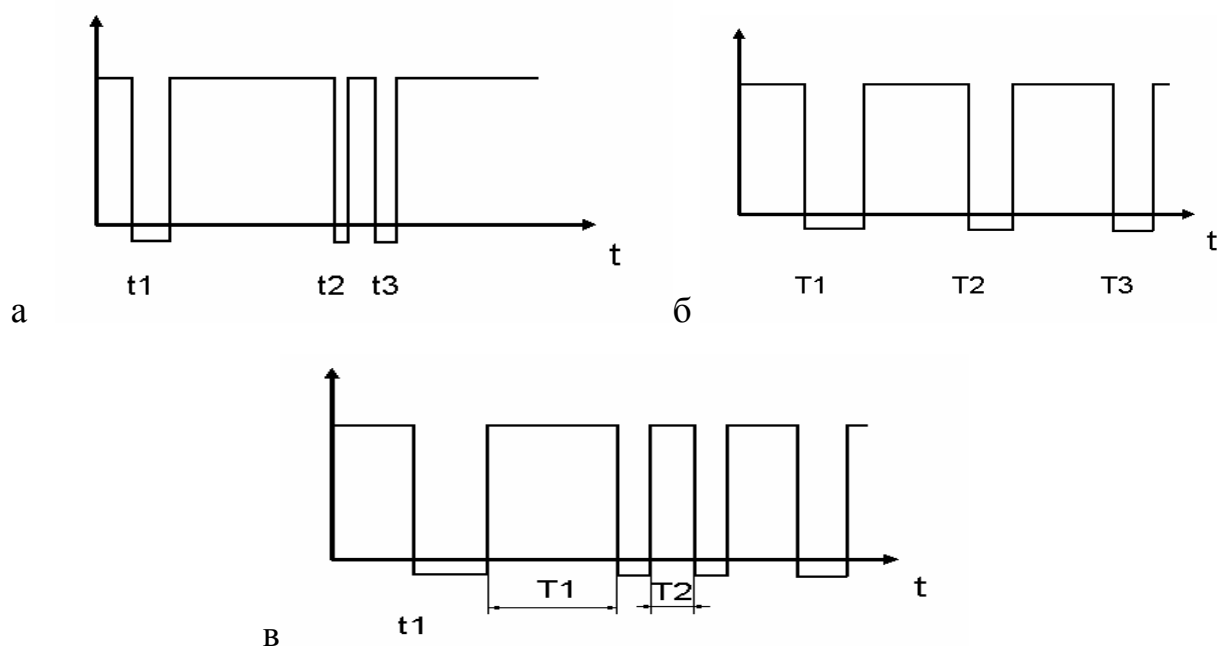
Профилактика мерзіміне (периодына) істен шығу оқиғасының алып келер зияны (салдары) және профилактиканың экономикалық тиімділігі өз әсерлерін тигізеді. Егерде істен шығу оқиғаларының салдары апатқа әкеп соқпаса, экономикалық шығындары болымсыз болса, онда профилактиканы өткізу мерзімдерін ұзартса да болады.

Сонымен, профилактикалық қызметтің стратегиясын құру, яғни жұмыс күрделілігін, көлемін және қайталану мерзімін тағайындау істен шығу және қалыпқа келтіру ағындарының сипатына, істен шығу оқиғаларының түрлеріне, сенімділікке қойылатын талаптарға және экономикалық тиімділікке тәуелді болып келеді.

Профилактикалық қызмет келесі принциптер бойынша ұйымдастырылады: регламенттік қызмет; календарлық қызмет; аралас, яғни регламенттік және календарлық қызмет (3.4.1-сурет).

Регламенттік қызмет – жүйе (элемент) параметрлерінің қандай да бір регламенттелген көрсеткіштеріне жеткен кезде жүргізіледі. Жүйенің жұмысқа қабілеттілік қасиеті мен қандай да бір техникалық параметрлердің (ток күші, кернеу, кедергі, температура т.с.с.) араларындағы байланыс белгілі болған жағдайда, регламенттік қызмет принципі қолданылады.

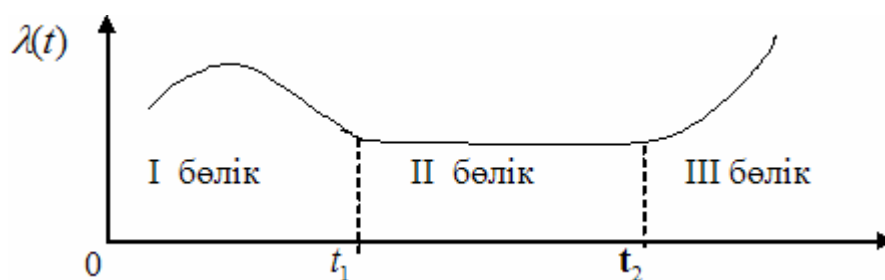
Регламенттік қызметте (3.4.1а-сурет) $t_1, t_2, \dots, t_i$ уақыттарда жүйе профилактикаға тұрады, себебі оның параметрлері критикалық мәнге жетті (дербес жағдайда – жүйе істен шығуы мүмкін). t_i – уақыты кездейсоқ шама ретінде қарастырылады.



3.4.1-сурет. Қызмет көрсету варианттары:
 а – регламенттік; б – календарлық; в; – аралас

Календарлық қызметте (3.4.1б-сурет) профилактика істен шығу сандарына тәуелсіз, тұрақты T уақыты өткен соң ғана өткізіледі. Календарлық қызмет істен шығу оқиғаларының заңдылығын білудің негізінде жүргізіледі.

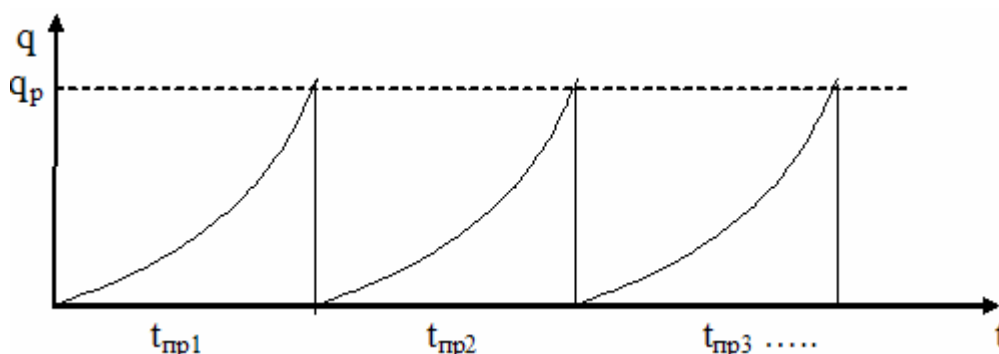
Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігі 3.4.2-суреттегідей болсын деп ұйғарайық. Бұл жағдайда, II бөлікте алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының таралым заңдылығы *экспоненциалдық заңдылыққа* бағынады да, істен шығу оқиғалары негізінен кенеттен орын алады. III бөлікте алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының таралым заңдылығы *қалыпты заңдылыққа* бағынады да, істен шығу оқиғаларының сипаты негізінен қажалу – тозуға жатады. I бөліктегі істен шығу оқиғалары негізінен даярлаушы заводта кеткен түрлі ақаулықтардың арқасында орын алады.



3.4.2-сурет. Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігі:

*I бөлік – қалыптасу (шынығу) кезеңі; II бөлік – қалыпты эксплуатация кезеңі;
III бөлік – қартаю кезеңі*

Жүйе сенімділігін жоғарылатуға негізделген профилактикалық қызметтер әдетте t_1 уақытынан басталады. $t_1 \div t_2$ уақыт аралықтарында профилактика уақыты келесі шарттан $q \leq Q_p$ анықталады, яғни тағайындалған профилактикалық мерзім аралықтарында жүйенің істен шығу ықтималдылығы q рұқсат етілген ықтималдылықтан (допустимая вероятность) Q_p артық болмауы қажет (3.4.3-сурет).



3.4.3-сурет. Кенеттен істен шығу оқиғалары үшін профилактика мерзімін тағайындау мәселесіне. $t_{пpi}$ – профилактикалық қызмет көрсету уақыттары

Экспоненциалдық заңдылық үшін $q = 1 - e^{-\lambda t}$, ($\lambda(t)=const$), сондықтан

$$1 - e^{-\lambda t} \leq Q_p$$

Соңғы шарттан профилактика уақытын тапсақ

$$t_{\text{пр}} \leq \frac{-\ln(1 - Q_p)}{\lambda} \quad (3.4.1)$$

$t > t_2$ болған жағдайда (3.4.2-сурет), профилактика уақыты $t_1 \div t_2$ уақыт аралықтарындағыдай, $q \leq Q_{\text{доп}}$ шартынан анықталады. Бұл жерде, істен шығу оқиғасы негізінен қажалу, тозу, қартаю процестерімен анықталатындықтан, Q_p ықтималдылығы $f(t)$ қисығының астында жатқан штрихтелген ауданмен анықталады (3.4.4-сурет).

Тозған элементтерді ауыстыруға негізделген календарлық қызмет уақытын анықтау үшін, тозу нәтижесінен туындаған істен шығуға дейінгі жұмыс істеу уақыттарының алдын ала орташа мәндерін T және орта квадраттық ауытқуын $\sigma(t)$ анықтау қажет. Бұл параметрлер анықталған жағдайда, профилактика мерзімі былайша анықталады:

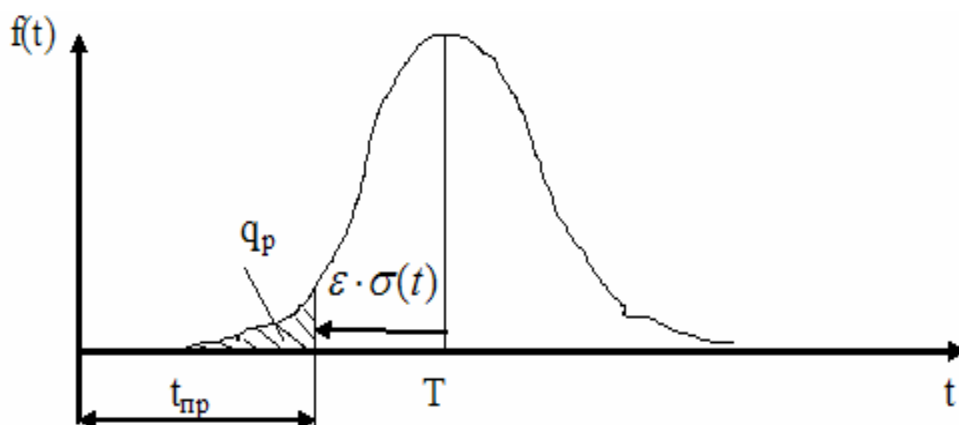
$$t_{\text{пр}} = T - \varepsilon \cdot \sigma(t) \quad (3.4.2)$$

мұндағы ε -нің мәні $Q < Q_p$ шартын қанағаттандыратындай етіп, 3.4.1-кестесінен алынады.

3.4.1-кесте

ε -нің мәнін Q_p ықтималдылығы бойынша алу

$Q_{\text{доп}}$	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
ε	2,526	2,323	2,053	1,96	1,88	1,75	1,643	1,554	1,475	1,404	1,34	1,282



3.4.4-сурет. Қажалу, тозу, қартаю периодындағы (III бөлік) профилактика мерзімін тағайындау мәселесіне

Бақылау сұрақтары.

1. Профилактиканың мақсаты.
2. Профилактикалық қызмет көрсетудің негізгі принциптері.
3. Істен шығу қарқыны туралы мәлімет.
4. Істен шығу оқиғасы кенеттен болған жағдайда профилактика мерзімі қалайша тағайындалады?
5. Істен шығу оқиғасы қажалу нәтижесінен орын алған жағдайда профилактика мерзімі қалайша тағайындалады?

3.5. Профилактикалық қызметтің оптималды периодтылығы

Кез келген техникалық жүйенің төрт күйін атап өтуге болады:

H_1 – қалыпты жұмыстық күй; H_2 – жұмыссыздық күй, жүйе құр босқа тұр, себебі істен шығу оқиғасы индикациядан өтпеген; $H_{3(3')}$ – жұмыссыздық күй, жүйеде жоспарлы түрде немесе жоспардан тыс апаттық – профилактикалық жөндеу жұмыстары өтіп жатыр; H_4 – жұмыссыздық күй, жүйеде жоспарлы түрде профилактика өтіп жатыр.

Жүйенің жұмыс істеу барысының сапалығы келесі шамалар арқылы бағаланады: даярлық коэффициенті K_D ; жүйелердің істен шықпай жұмыс істеулерінің бірлік уақытындағы меншікті шығыны (удельные затраты) C ; жүйелердің істен шықпай жұмыс істеулерінің бірлік уақытындағы меншікті пайдасы (удельная прибыль) E ; қандай да бір оперативті уақыттағы Z жүйелердің істен шықпау ықтималдылығы $R(Z)$.

Қалыпқа келтіру аралықтарындағы периодтарда жүйелердің $i = 1, 2, 3(3'), 4$ күйлерде болуларының орташа уақытын T_i деп белгілесек, онда даярлық коэффициенті және жүйелердің істен шықпай жұмыс істеулерінің бірлік уақытындағы меншікті шығыны былайша есептеледі:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_1}{\sum_{i=1}^4 T_i} \quad (3.5.1)$$

$$C = \frac{\sum_{i=2}^4 C_i T_i}{T_1} \quad (3.5.2)$$

мұндағы C_i – әрбір жұмыссыздық күй бойынша ($i = 2, 3(3'), 4$) меншікті шығындар.

Жүйелердің істен шықпай жұмыс істеулерінің бірлік уақытындағы меншікті пайдасы.

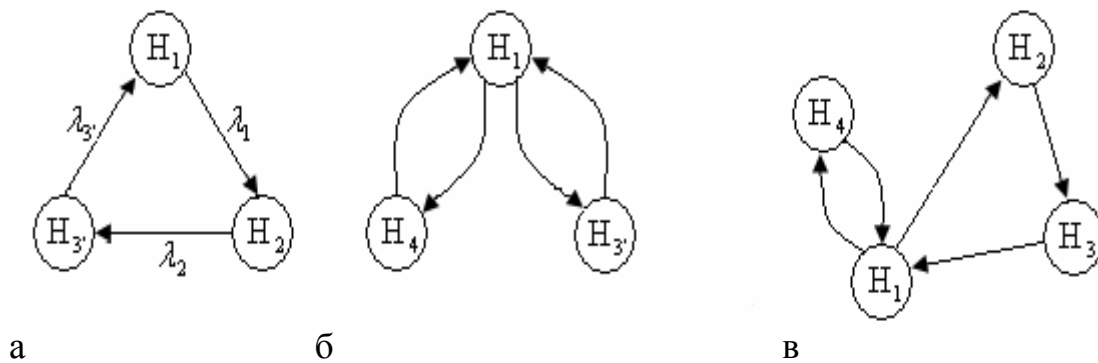
$$E = (C_1 - C)K_r \quad (3.5.3)$$

мұндағы C_1 – жұмыстық күйдегі меншікті пайда.

Жүйелерді толығымен қалыпқа келтіру бойынша қызмет көрсетудің үш стратегиясын айтуға болады.

А стратегиясы

Жүйені толық қалыпқа келтіру істен шығу оқиғасын индикациялаудан кейін ғана жүзеге асады. Бұл жағдайда тек қана жоспардан тыс апаттық – профилактикалық жөндеу жұмыстары орындалады. Істен шығуды индикациялауға және жөндеуге кететін уақыттың таралымы кездейсоқ. Мұндай жүйелер үшін граф өткел 3.5.1 а-суретте келтірілген.



3.5.1-сурет. Граф өткелдер

Бұл жағдайда орташа уақыт T_i

$$T_i = \int_0^{\infty} [1 - F_i(t)] dt; \quad i = 1, 2, 3' \quad (3.5.4)$$

мұндағы $F_1(t)$ – жүйенің істен шықпай жұмыс істеу уақыттарының таралым функциясы; $F_2(t)$ – индикациялау уақытының таралым функциясы; $F_{3'}(t)$ – жоспардан тыс апаттық – профилактикалық жөндеу уақытының таралым функциясы;

А стратегиясы үшін, оперативтік уақыттағы істен шықпау ықтималдылығы.

$$R(Z) = K_r \left\{ 1 - \frac{1}{T_1} \int_0^z [1 - F_1(t)] dt \right\} \quad (3.5.5)$$

В стратегиясы

Жүйені толық қалыпқа келтіру – жүйенің істен шығу моментінде орындалатын жоспардан тыс апаттық – профилактикалық жөндеу арқылы, немесе алдын ала тағайындалған жоспарлы түрдегі ескерту профилактикасының календарлық уақыт моментінде жүзеге асады.

(3.5.1 б-сурет). Жоспарлы профилактика уақытын θ деп белгілейік.

Жүйені қалыпқа келтіру уақытын θ уақытымен салыстырғанда ескермесе де болады. Бұл жағдайда стратегияның негізгі міндеті – қызмет көрсету сапалығын сипаттаушы көрсеткіштерді экстремумға алып келетін θ уақытының интервалын анықтау болып табылады.

$F_1(t)$ таралым функциясы белгілі болсын дейік. Бұл жағдайда, даярлық коэффициентін K_Γ максимумға жеткізетін, жоспарлы түрдегі ескерту–профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуді шешу арқылы анықталады.

$$B(\theta) = \frac{T_4}{T_{3'} - T_4} \quad (3.5.6)$$

мұнда

$$B(\theta) = -F_1(\theta) + \lambda(\theta) \int_0^\theta [1 - F_1(t)] dt \quad (3.5.7)$$

Істен шығу қарқыны

$$\lambda(t) = \frac{1}{[1 - F_1(t)]} \cdot \frac{d}{dt} [F_1(t)] \quad (3.5.8)$$

Егерде теңдеудің шешімі θ^* болса, онда даярлық коэффициентінің максимальдық мәні былайша анықталады:

$$\max K_\Gamma = \frac{1}{1 + (T_{3'} - T_4) \lambda(\theta^*)} \quad (3.5.9)$$

Егерде теңдеудің шешімі болмаса, онда $\theta^* = \infty$ деп ұйғару қажет, яғни ескерту профилактикасы жүргізілмейді. Бұл жағдайда

$$K_\Gamma(\theta) = \frac{T_1}{T_1 + T_{3'}} \quad (3.5.10)$$

Орташа меншікті шығынды C минимизациялайтын, жоспарлы түрдегі ескерту – профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуден анықталады.

$$B(\theta) = \frac{C_4 T_4}{C_{3'} T_{3'} - C_4 T_4} \quad (3.5.11)$$

(3.5.11) – теңдеуінің сол жағы (3.5.7) – теңдеуі арқылы анықталады.

Егерде есептің θ^* – шешімі болса, онда

$$\min C(\theta) = (C_{3'} T_{3'} - C_4 T_4) \lambda(\theta^*) \quad (3.5.12)$$

Егерде есептің шешімі болмаса, онда ескерту профилактикасын жүргізу тиімсіз болып келеді, және

$$\min C(\theta) = \frac{C_3 T_3}{T_1} \quad (3.5.13)$$

Істен шықпау ықтималдылығын оперативтік уақытта Z максимальдайтын, жоспарлы түрдегі ескерту–профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуді шешу арқылы анықталады.

$$B(\theta) = \frac{T_4 [1 + \lambda(\theta)Z]}{T_3 - T_4 + Z} \quad (3.5.14)$$

(3.5.14) – теңдеуінің сол жағы (3.5.7) – теңдеуі арқылы анықталады.

Егерде есептің θ^* - шешімі болса, онда

$$\max R(Z, \theta) = \frac{\int_0^{\theta^*} [1 - F_1(t + z)] dt}{\int_0^{\theta^*} [1 - F_1(t)] dt + T_4 + (T_3 - T_4) F_1(\theta^*)} \quad (3.5.15)$$

Егерде есептің шешімі болмаса, онда ескерту профилактикасын жүргізу тиімсіз болып келеді

$$\max R(Z, \theta) = \frac{1}{T_1 + T_3} \left[T_1 - \int_0^Z [1 - F_1(t)] dt \right] \quad (3.5.16)$$

С стратегиясы

Жүйені толық қалыпқа келтіру – жүйенің істен шығуына тәуелсіз, алдын ала тағайындалған календарлық уақыт моменттерінде жүзеге асады. Мұндай стратегия жүйелердің өздігінен істен шығу мүмкіншіліктері жоқ кездерде қолданылады, мысалға сақталу режиміндегі (в режиме хранения) жүйелер үшін. Жүйелердегі орын алатын істен шығуларды ескерту, анықтау және жою үшін жоспарлы ескерту профилактикасы және жоспарлы апаттық-профилактикалық жөндеу қарастырылады. Егерде тағайындалған жоспарлы ескерту профилактикасы кезінде жүйеде істен шығу оқиғасы орын алса, онда жоспарлы апаттық-профилактикалық жөндеу жұмыстары жүргізіледі. Бұл жерде, істен шығу уақытынан бастап жоспарлы апаттық-профилактикалық жөндеу жұмыстары басталғанға дейін жүйе тоқырау режимінде (жұмыссыздық күйде) болады. Мұндай жүйенің граф өткелі 3.5.1 в-суретте келтірілген.

Бұл стратегияның негізгі міндеті – қызмет көрсету сапалығын сипаттаушы көрсеткіштерді экстремумға алып келетін жоспарлы профилактиканың оптималды периодын анықтау болып табылады.

Даярлық коэффициентін K_T максимумға жеткізетін, жоспарлы профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуді шешу арқылы анықталады.

$$B(\theta) = \frac{1}{T_3 - T_4} \left[T_4 - \frac{\int_0^\theta t dF_1(t)}{1 - F_1(\theta)} \right] \quad (3.5.17)$$

(3.5.17) – теңдеуінің сол жағы (3.5.7) – теңдеуі арқылы анықталады.

Егерде есептің θ^* - жалғыз шешімі болса, онда

$$\max K_\Gamma(\theta) = \frac{1 - F_1(\theta^*)}{1 + (T_3 - T_4) \dot{F}_1(\theta^*)} \quad (3.5.18)$$

Бұлай болмаған жағдайда, оптималдық мән көп түбірлердің іштерінен таңдау (перебор) тәсілімен анықталады.

Орташа меншікті шығынды C минимизациялайтын жоспарлы профилактиканың оптималды периоды келесі теңдеудің түбірі болып келеді.

$$B(\theta) = \frac{1}{C_3 T_3 - C_4 T_4} \left[C_4 T_4 - C_2 \frac{\int_0^\theta t dF_1(t)}{1 - F_1(\theta)} \right] \quad (3.5.19)$$

Бұл жағдайда

$$\min C(\theta) = C_2 \frac{F_1(\theta^*)}{1 - F_1(\theta^*)} + \lambda(\theta^*) (C_3 T_3 - C_4 T_4) \quad (3.5.20)$$

Бақылау сұрақтары.

1. Профилактикалық қызметтің оптималды периодтылығын қалай түсінесің?
2. Техникалық жүйелердің күйлері.
3. Жүйе жұмысының сапалығы қандай көрсеткіштер арқылы бағаланады?
4. Жүйелерді толығымен қалыпқа келтіру бойынша қызмет көрсетудің стратегиялары. Стратегиялардың граф өткелдері.

3.6. Электр шаруашылығын эксплуатациялау кезіндегі қойылатын негізгі қауіпсіздік талаптары

Электр шаруашылығын эксплуатациялауды дұрыс ұйымдастырушы нормативтер ретінде келесі құжаттар қолданылады: «Электр қондырғылары құрылымының ережелері», «Тұтынушылардың электр қондырғыларын техникалық эксплуатациялау ережелері», «Тұтынушылардың электр қондырғыларын эксплуатациялаудағы техникалық қауіпсіздік ережелері» және «Электр энергиясын қолдану ережелері». Бұл құжаттар энергиямен қамтамасыз ету мекемелері болсын, тұтынушылар болсын, міндетті болып саналады.

Квалификациялық комиссияда техникалық қауіпсіздік шаралары бойынша жекелей білімдерін периодты түрде тексертіп отыратындарға жататындары: электр зертханасының қызметкерлері; электр қондырғыларына қызмет көрсететін немесе электромонтаждық, наладка, жөндеу және профилактикалық сынақтан өткізетін қызметкерлер, сонымен қатар түрлі жұмыстарды орындауға тапсырама беруші, ұйымдастырушы қызметкерлер. Жоғарыда аталған қызметкерлер жылына бір рет білімдерін тексертеді. Ал электр қондырғыларындағы оперативтік жұмыстармен тікелей байланысы жоқ, инженерлік-техникалық қызметкерлер – үш жылда бір рет білімін тексертуге міндетті.

Квалификациялық комиссия құрамына мамандықтары сәйкес келетін ең кем дегенде үш адам кіреді. Тексеруден өткен жұмыскерлерге техникалық қауіпсіздік шаралары бойынша квалификациялық куәлік тапсырылады. Егерде жұмыскерлер жұмысты атқару барысында қандай да бір ережелерді бұзған жағдайда, олар білімін кезектен тыс тексертуге мәжбүр болады.

Тұтынушылардың электр қондырғыларын эксплуатациялаушы адамдардың міндеттері:

- электр қондырғыларының сенімді, тиімді және қауіпсіз жұмыстарын қамтамасыз ету;
- электр энергиясын үнемдеуші түрлі шараларды ендіру;
- электр қондырғыларының сенімді, тиімді және қауіпсіз жұмыстарын қамтамасыз ететін жаңа техникалар мен технологияларды ендіру;
- электр қондырғыларын және аппараттарды жоспарлы түрде профилактикалық жөндеулер мен сынақтардан өткізуді ұйымдастыру және дер кезінде орындау;
- жүктеме графигін жүйелі түрде бақылап отыру;
- электр энергиясының шығынын есепке алып отыру;
- қорғаушы жабдықтардың бар болуын және дер кезінде сынақтан өтулерін қадағалап отыру;
- энергонадзордың ескертулерін дер кезінде орындап отыру;
- техникалық құжаттарды, қажетті нұсқауларды жасап, енгізу.

Электр қондырғыларын қауіпсіз эксплуатациялауды ұйымдастыру

Мекеме бастығы электр қондырғыларын нормативті құжаттардың талаптарына сәйкес эксплуатациялауға және техникалық қызмет көрсету шараларын ұйымдастыруға міндетті. Ол үшін келесі мәселелер қарастырылуы қажет:

Электр шаруашылығының ақаусыз күйін қамтамасыз ететіндей, инженерлік-техникалық қызметкерлерден жауапты адамдарды тағайындау. Тағайындалған адамдардың электр техникалық даярлықтары және қауіпсіздік шаралары бойынша квалификациялық куәліктері болулары қажет.

– мекеменің энергетикалық қызметтері жайлы ақпараттарды, қызметтік инструкциялар мен техникалық қауіпсіздік және еңбек қорғау бойынша инструкцияларды бекіту;

– жұмыскерлердің білімдерін тексеруді дер кезінде ұйымдастыру;

– электр қондырғыларын апатқа қарсы және профилактикалық сынақтардан өткізуді қамтамасыз ету және қондырғылардың параметрлерін дер кезінде өлшеп тұру;

– электр қондырғыларын техникалық куәліктендірулерден өткізуді қамтамасыз ету.

Электр қондырғыларына оперативтік қызмет көрсететін жұмыскерлерге қойылатын талаптар

Электр қондырғыларына оперативтік қызмет көрсетуге оперативтік схемаларды білетін, қызметтік, эксплуатациялық және еңбек қорғау инструкцияларын алған, сонымен қатар қауіпсіздік шаралары бойынша квалификациялық куәліктері бар адамдарды тағайындайды. Оперативті жұмысшылар кернеуі 1000 В электр қондырғыларына қызмет ету үшін, электр қауіпсіздігі бойынша IV топты игеру қажет, ал кернеуі 1000 В дейінгі электр қондырғыларына қызмет ету үшін, электр қауіпсіздігі бойынша III топты игеру қажет.

Оперативті жұмыскерлердің өз кезектерін ауыстыру кездеріндегі міндеттері:

– схема бойынша жабдықтардың күйлерімен және жұмыс режимдерімен танысу;

– кезекшіден жұмыс істеп тұрған және жөндеуде тұрған жабдықтар туралы мәліметтер алу;

– саймандарды, материалдарды, қорғаныс жабдықтарын, оперативтік құжаттарды және инструкцияларды тексеріп, қабылдап алу;

– алдыңғы кезекте орын алған оқиғалар мен журналда жазылған деректермен танысып шығу;

– журналға кезекті қабылдап алу туралы мәліметті жазып, толтыру;

– лауазымы өзінен жоғары тұрған адамға кезекті қабылдап алғандығын және кезекте болған кемшіліктерді жеткізу.

Электр қондырғыларында жұмыс жүргізу

Сақтандыру шаралары бойынша электр қондырғыларында жұмыс жүргізу үш категорияға бөлінеді:

– кернеу берілмеген қондырғыларда жұмыс жүргізу;

– ток жүретін бөліктерде және солардың маңайларында кернеу беріліп тұрған жағдайда жұмыс жүргізу;

– ток жүретін бөліктерден аулақта, кернеу беріліп тұрған жағдайда жұмыс жүргізу.

Кернеуі 1000 В астам электр қондырғыларына кернеу беріліп тұрған жағдайда, ток жүретін бөліктерде және солардың маңайларында жұмыс жүргізу үшін:

- жөндеу жүргізіліп жатқан бөліктерді жақын маңдағы тогы бар бөліктерден қоршау;
- диэлектрлік аяқ киіммен жұмыс істеу;
- саймандардың ұстайтын жерлері изоляцияланған болуы қажет, немесе диэлектрлік қолғаппен жұмыс істеу қажет.

Қорғағыштарды (предохранителей) алу және салу үшін, алдымен кернеуді өшіру қажет. Егерде қорғағыштарды кернеуге қосылған кездерде алып – салу қажет болса, онда қорғағыш жабдықтарын қолдану қажет (қысқыштар, көзәйнектер және диэлектрлік қолғап).

Бақылау сұрақтары.

1. Электр шаруашылығын эксплуатациялауды дұрыс ұйымдастырушы нормативтер ретінде қандай құжаттар қолданылады?
2. Тұтынушылардың электр қондырғыларын эксплуатациялаушы адамдардың міндеттері.
3. Электр қондырғыларын қауіпсіз эксплуатациялауды ұйымдастыру.
4. Электр қондырғыларына оперативтік қызмет көрсететін жұмыскерлерге қойылатын талаптар.

4. ТЕОРИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ПЫСЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ПРАКТИКАЛЫҚ ЖАТТЫҒУЛАР

4.1. Жүйелердің сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін анықтау

4.1.1. Элементтің істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының таралу заңдылығы қалыпты заңдылыққа бағынады. Заңдылықтың параметрлері белгілі: $m=100$ сағ. және $\sigma^2=1000$ сағ. $t=70$ сағ. дейінгі және $t=70$ -тен $t+\Delta t=90$ сағ. дейінгі уақыт интервалындағы элементтің сенімділік көрсеткіштерін айқындандар.

Есептің шығарылымы: 70 сағаттағы элементтің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы

$$P(70) = 1 - \Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{70-100}{31,6}\right) = 1 - \Phi(-0,95) = \Phi(0,95)$$

Қосымшада келтірілген мәліметті пайдаланып, табатынымыз $P(70) = 0,829$ (70, 90) сағат аралығындағы элементтің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы

$$P(70,90) = \frac{1 - \Phi\left(\frac{90-100}{31,6}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{70-100}{31,6}\right)} = \frac{\Phi(0,32)}{\Phi(0,95)}$$

Қосымшада келтірілген мәліметті пайдаланып, табатынымыз $\Phi(0,32)=0,626$, бұл жағдайда істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы

$$P(70,90) = \frac{0,626}{0,829} \approx 0,755$$

70 сағаттағы элементтің істен шығу ықтималдылығы

$$Q(70) = 1 - P(70) = 1 - 0,829 = 0,171$$

(70, 90) сағат аралығындағы элементтің істен шығу ықтималдылығы

$$Q(70,90) = 1 - P(70,90) = 0,245$$

Алғашқы істен шыққанға дейінгі элементтің жұмыс істеу уақытының орта мәні таралым параметрімен анықталады, яғни $T_{cp} = m = 100$ сағ.

70 сағаттағы элементтің істен шығу жиілігі

$$f(70) = \frac{1}{31,6\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(70-100)^2}{2 \cdot 1000}} = 0,8 \cdot 10^{-2}, 1/\text{сағ.}$$

70 сағаттағы элементтің істен шығу қарқыны

$$\lambda(70) = \frac{f(70)}{P(70)} = \frac{0,8 \cdot 10^{-2}}{0,829} = 0,965 \cdot 10^{-2}, \text{ 1/сағ.}$$

4.1.2. Істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыты қалыпты заңдылыққа бағынады. Заңдылық параметрлері белгілі: $m=1000$ сағ. және $\sigma=500$ сағ.

$t = 100, 500, 1000, 1500, 2000$ сағ. деп алып, жүйенің сенімділік көрсеткіштерін есептеңдер. Есептеу нәтижелерін пайдаланып, $p(t)$ және $\lambda(t)$ тәуелділіктерін тұрғызып, талдау жасаңдар.

4.1.3. Элементтің істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыты экспоненциалдық заңдылыққа бағынады. Заңдылық параметрі $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}$, 1/сағ., ал $t = 100, 500, 1000, 1500, 2000$ сағ. тең деп алып, жүйенің сенімділік көрсеткіштерін анықтаңдар және $p(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$ тәуелділіктерін тұрғызып, талдау жасаңдар. (1000, 1500 сағ.) уақыт интервалындағы элементтің істен шықпау және істен шығу ықтималдылықтарын анықтаңдар.

4.1.4. Жүйелердің сенімділігі (механикалық жабдықтар, қуатты генераторлық шамдар, кейбір шала өткізгішті аспаптар) Вейбулла таралымымен сипатталады. Таралымның берілген параметрлері үшін $\alpha = 0,2 \cdot 10^{-4}$, 1/сағ. және $K=2,6$. Жүйелердің $t = 200, 400, 600, 800, 1000$ сағ. сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін тауып, $p(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$ тәуелділіктерін тұрғызыңдар. $K = 1,0$ және $K = 0,5$ деп алып, есептеулерді қайталаңдар. Есептеу нәтижесін талдап, K параметрінің сенімділікке тигізер әсерін анықтаңдар.

4.1.5. $t = 120$ сағаттағы автоматты жүйенің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы $0,9$ тең. Экспоненциалдық таралу заңдылығын қолдана отырып, істен шығу жиілігі мен істен шығу қарқынын анықтаңдар.

Жауабы: $\lambda = 0,83 \cdot 10^{-3}$, 1/сағ.; $f(120) = 0,747 \cdot 10^{-3}$, 1/сағ.; $T_{cp} = 1200$, сағ.

4.1.6. Жүйелердің алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттарының орта мәні 640 сағ. тең. Экспоненциалдық заңдылыққа сүйене отырып, $t=120$ сағаттағы жүйенің істен шықпау ықтималдылығын және істен шығу жиілігі мен қарқынын анықтаңдар.

4.1.7. $t=150$ сағаттағы элементтің істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы $0,9$ тең. Істен шықпай жұмыс істеу уақыты Вейбулла заңдылығына бағынады. Заңдылық параметрі $K=2,6$ тең болған жағдайда, $t=150$ сағаттағы элементтің істен шығу қарқынын және жұмыс уақытының орта мәнін табыңдар.

4.1.8. Аппараттардың істен шығу мәліметтерін талдау нәтижесінде, істен шығу жиілігінің заңдылығы келесі түрде алынған.

$$f(t) = c_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$$

Келтірілген заңдылықты пайдаланып, аппараттардың қалған сенімділік көрсеткіштерін анықтаңдар.

Есептің шешімі: Істен шықпау ықтималдылығын (2.12) формуласы арқылы табамыз:

$$P(t) = 1 - \left[\int_0^t (c_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) dt \right] = 1 - (c_1 + c_2) + c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t}$$

$c_1 + c_2$ қосындысын $\int_0^{\infty} f(t) dt = 1$ интегралынан табамыз:

$$\int_0^{\infty} (c_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) dt = c_1 + c_2 = 1$$

Соңғы теңдеуді ескере отырып алатынымыз $p(t) = c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t}$ Істен шығу ықтималдылығы (2.14) формуласы арқылы анықталады:

$$\lambda(t) = \frac{c_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}}{c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t}}$$

Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін (2.18) формуласы арқылы табамыз:

$$T_{OP} = \int_0^{\infty} (c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t}) dt = \frac{c_1}{\lambda_1} + \frac{c_2}{\lambda_2};$$

Істен шығу ағынының параметрі операторлық формада былайша жазылады (3.6 формула)

$$\omega(s) = f(s) / [1 - f(s)]$$

мұндағы

$$f(s) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} \cdot dt = \int_0^{\infty} (c_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) \cdot e^{-st} \cdot dt = \frac{c_1 \lambda_1}{\lambda_1 + s} + \frac{c_2 \lambda_2}{\lambda_2 + s}$$

Алынған нәтижені операторлық формаға қойып, алатынымыз:

$$\omega(s) = \frac{c_1 \lambda_1 + c_2 \lambda_2}{s + \lambda_1(1 - c_1) + \lambda_2(1 - c_2)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{s[s + \lambda_1(1 - c_1) + \lambda_2(1 - c_2)]};$$

Түпнұсқаны $\omega(t)$ табу үшін, $\omega(s)$ функциясына Лапластың кері түрлендіруін жүргіземіз. Бөлшек бөлімінің түбірлерін тапсақ:

$$s_1 = 0; \quad s_2 = -\lambda_1(1 - c_1) - \lambda_2(1 - c_2)$$

Сондықтан

$$\omega(t) = (c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2) \cdot e^{-[\lambda_1(1-c_1)+\lambda_2(1-c_2)] \cdot t} + \lambda_1\lambda_2 \cdot$$

$$\cdot \left[\frac{1}{\lambda_1(1 - c_1) + \lambda_2(1 - c_2)} - \frac{e^{-[\lambda_1(1-c_1)+\lambda_2(1-c_2)] \cdot t}}{\lambda_1(1 - c_1) + \lambda_2(1 - c_2)} \right]$$

Істен шығу жиілігі параметрінің қасиетіне сүйене отырып $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = 1/t_{OP}$, істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының орта мәнін табамыз.

$$t_{OP} = \frac{1}{\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t)} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1c_2 + \lambda_2c_1}, \text{ сағ.}$$

4.1.9. Лезде қалыпқа келтірілетін жүйелердің таралым тығыздығы келесі функциямен берілген:

$$f(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$$

Істен шығу қарқынын, істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақытының орта мәнін және істен шығу ағындарының параметрін табыңдар.

$$\text{Жауабы: } \lambda(t) = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}}; \quad \omega(t) = 0,67\lambda(1 - e^{-3,2t}); \quad t_{OP} = \frac{1,5}{\lambda}$$

4.1.10. Элементтің істен шығу жиілігі $\lambda = 0,02$, 1/сағ, ал қалыпқа келтіру уақытының орта мәні $t_{cp} = 10$ сағ. Элементтің даярлық функциясын және даярлық коэффициентін есептеңдер.

$$\text{Жауабы: } t_{ЖОР} = T_{OP} = 50 \text{ сағ; } K_D = 0,83; \quad K_D(t) = 0,83 + 0,17 \cdot e^{-0,12t}$$

4.1.11. Аппараттардың істен шығу ағындарының параметрі келесі формуламен берілген $\omega(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - e^{-0,6 \cdot 10^{-3} \cdot t})$. Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін табыңдар.

$$\text{Жауабы: } T_{OP} = 5000 \text{ сағ.}$$

4.1.12. Істен шығу жиілігінің тәуелділігі берілген

$$f(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$$

Сенімділіктің келесі көрсеткіштерінің $P(t)$, $\lambda(t)$, T_{OP} , $\omega(t)$, t_{OP} мәндерін табыңдар:

$$\text{Жауабы: } p(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}; \quad \lambda(t) = \lambda(1 - e^{-\lambda t}) / (1 - 0,5 \cdot e^{-\lambda t});$$

$$T_{OP} = 3/2\lambda ; \quad \omega(t) = \frac{2}{3}\lambda(1 - e^{-3\lambda t}); \quad t_{ЖОР} = 3/2\lambda .$$

4.1.13. Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігі келесі формуламен берілген $\lambda(t) = K^2 t / (1 + Kt)$. Сенімділіктің келесі көрсеткіштерін $p(t)$, $f(t)$, T_{OP} анықтаңдар.

Жауабы: $p(t) = e^{-kt}(1 + kt) ; f(t) = k^2 \cdot t \cdot e^{-kt}; T_{OP} = 2/k$

4.1.14. Бұйымның істен шығу жиілігі белгілі $f(t) = k^2 t e^{-kt}$. Бұйымның істен шығу ағынының параметрін $\omega(t)$ және жұмыс уақытының орта мәнін $t_{ср}$ табыңдар.

Жауабы: $\omega(t) = \frac{k}{2} \cdot (1 - e^{-2kt}); \quad t_{ЖОР} = k/2 \text{ сағ.}$

4.1.15. Аппараттардың істен шығу ағындарының параметрі келесі формуламен берілген:

$$\omega(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - e^{-0,6 \cdot 10^{-3} \cdot t})$$

Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін табыңдар.

4.1.16. Қалыпқа келтірілетін күрделі жүйенің істен шығу қарқыны тұрақты шама $\lambda = 0,015 \text{ 1/сағ.}$ Қалыпқа келтіру уақытының орта мәні $t_{ККОР} = 100 \text{ сағат.}$ $t_0 = 10 \text{ сағаттағы}$ жүйенің жұмыстық күйде болу ықтималдылығын $K_D(t)$ есептеңдер.

Жауабы: $K_D(10) \approx 0,867$

4.1.17. Қалыпқа келтірілетін жүйенің даярлық коэффициенті $K_D = 0,9$. Қалыпқа келтіру уақытының орта мәні $t_{ККОР} = 100 \text{ сағ.}$ $t = 12 \text{ сағаттағы}$ жүйенің ақаусыз күйде болатындығының $K_F(t)$ ықтималдылығын табыңдар.

Жауабы: $K_D(12) = 0,987$

4.1.18. Қалыпқа келтірілетін жүйені сынау кезінде, жүйелердің істен шығу аралықтарындағы жұмыс істеу уақыттары тіркеліп отырылды. Сынақ нәтижесі төменгі кестеде берілген. Жұмыс уақытының таралымы қалыпты заңдылыққа бағынады.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
120 сағ.	110 сағ.	80 сағ.	130 сағ.	120 сағ.	140 сағ.	80 сағ.	150 сағ.	130 сағ.	140 сағ.

Сенімділік ықтималдылығын $\alpha=0,9$ тең деп алып, жүйенің жұмыс уақытының математикалық күтімі мен дисперсиясының төменгі және жоғарғы шекаралық мәндерін табыңдар.

4.1.19. Энергетика саласында 1986 жылы әуе желісін қысқа тұйықталудан қорғау кезінде ажыратқыштардың (воздушных выключателей) 21 рет істен шығу оқиғалары тіркелген. Ажыратқыштардың жалпы саны $S = 1750$ дананы құрайды.

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының таралымы экспоненциалдық заңдылыққа бағынады деп пайымдап, істен шығу ағыны параметрінің орта мәнін анықтаңдар. Сонымен қатар, сенімділік ықтималдылығын 0,95 деп алып, істен шығу ағыны параметрінің төменгі және жоғарғы шекаралық мәндерін бағалаңдар.

Ескерту: Ізделіп отырылған шамаларды келесі формулалармен анықтаңдар:

$$\omega_{OP} = \frac{n_{\Sigma} - 1}{S}$$

$$\omega_{OP}^H = \frac{\chi^2(\alpha; 2n_{\Sigma})}{2S}$$

$$\omega_{OP}^B = \frac{\chi^2(1 - \alpha; 2n_{\Sigma} + 2)}{2S}$$

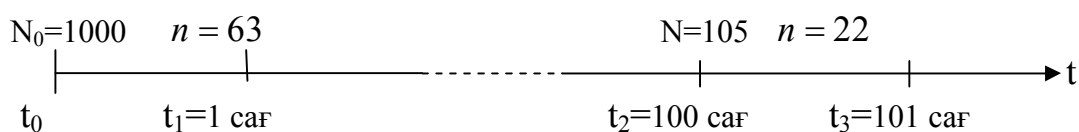
4.2. Сынақ нәтижелері бойынша жүйе сенімділігін бағалау

4.2.1. Сынаққа $N_0 = 1000$ аппарат қойылды. Алғашқы 1 – сағаттың ішінде $n(1) = 63$ аппарат істен шықты. 100 сағат сынақтан кейін сынақта $N(100) = 105$ аппарат қалды. Сынақтың келесі бір сағатында тағы да 22 аппарат істен шығып үлгерді.

Сынақтың алғашқы бір сағатындағы және ең соңғы бір сағатындағы орын алған істен шығу қарқынын анықтаңдар. Есептеу нәтижелеріне қарай сәйкесінше қорытынды жасаңдар.

Есептің шығарылымы:

Есептің шартын төмендегі сурет арқылы бейнелейміз



Есептің графикалық бейнеленуі

Берілген интервалдағы істен шығу қарқынының статистикалық анықталуы

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_{OP} \Delta t}$$

мұндағы $n(t, t + \Delta t)$ – Δt уақыт интервалындағы істен шыққан жүйелер саны, $N_{OP} - \Delta t$ уақыт интервалындағы жұмыс істеп тұрған жүйелердің орташа саны, N_i және N_{i+1} – уақыт интервалының басындағы және аяғындағы жұмыс істеп тұрған жүйелердің саны.

$$N_{OP} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$$

Есептің шартынан формулаға сандық мәндерін қойып, алатынымыз:

$$\lambda^*(1) = \frac{63}{968,5 \cdot 1} = 0,065; 1/\text{сағ.}$$

$$\lambda^*(101) = \frac{22}{94 \cdot 1} = 0,234; 1/\text{сағ.}$$

Сонымен, сынақтың аяғындағы істен шығу сандары бас жағымен салыстырғанда біршама аз болғанымен, бұдан жүйенің сенімділігі жоғары екен деген қорытынды шығаруға болмайды. Егер істен шығу қарқындарын салыстырып көрсек, онда жүйенің сенімділігі сынақтың бас жағында жоғары екендігін байқаймыз.

4.2.2. Алғашқы істен шығуға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін анықтау үшін сынаққа $N_0 = 100$ бір типті конденсаторлар қойылды. Сынақ нәтижесі әрбір 100 сағатта тіркеліп отырылды. Қарастырылып отырылған интервалдардағы конденсаторлардың істен шығу сандары $n(\Delta t)$ төмендегі кестеде берілген. Сынақ нәтижесі бойынша, конденсаторлардың істен шықпау ықтималдылығын $P^*(t)$, істен шығу жиілігін $f^*(t)$, істен шығу қарқынын $\lambda^*(t)$ және алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін T_{OP}^* анықтау қажет.

t, сағ	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700
$n(\Delta t)$	0	7	15	33	40	3	2

Есептің шығарылымы.

Әр интервалдардың басындағы конденсаторлардың істен шықпау ықтималдылығын былайша анықтаймыз:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$$

мұндағы $n(t)$ – t уақыттағы істен шыққан жүйелер саны

$$P^*(0) = 1$$

$$P^*(100) = \frac{100 - 0}{100} = 1$$

$$P^*(200) = \frac{100 - 7}{100} = 0,93$$

т.с.с.

Берілген интервалдағы істен шығу қарқынының статистикалық анықталуы (4.2.1 – есепті қараңыз):

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_{OP} \Delta t}$$

Сандық мәндерін орындарына қойып, алатынымыз:

$$\lambda^*(0 - 100) = 0 \text{ 1/сағ.}$$

$$\lambda^*(100 - 200) = \frac{7}{96,5 \cdot 100} = 7,75 \cdot 10^{-4} \text{ т.с.с.}$$

Берілген интервалдағы істен шығу жиілігінің статистикалық анықталуы:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_0 \Delta t}$$

Сандық мәндерін орындарына қойып, алатынымыз:

$$f^*(0 - 100) = 0 \text{ 1/сағ.}$$

$$f^*(100 - 200) = \frac{7}{100 \cdot 100} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ 1/сағ.}$$

т.с.с.

Есептеу нәтижелері төмендегі кестеде берілген.

Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін келесі формуламен анықтаймыз:

$$T^*_{OP} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^7 t_i$$

мұндағы t_i – интервалдардың ортасына сәйкес келетін уақыт мөлшері.

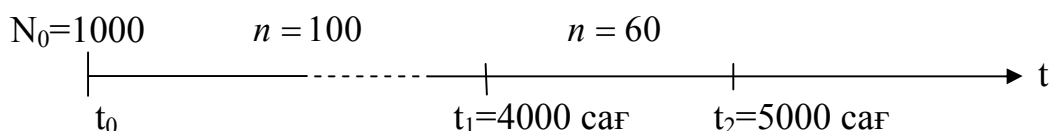
Сандық мәндерін орындарына қойып, алатынымыз:

$$T_{OP}^* = \frac{1}{100} (0 \cdot 50 + 7 \cdot 150 + 15 \cdot 250 + 33 \cdot 350 + 40 \cdot 450 + 3 \cdot 550 + 2 \cdot 650) = 373 \text{ сағ.}$$

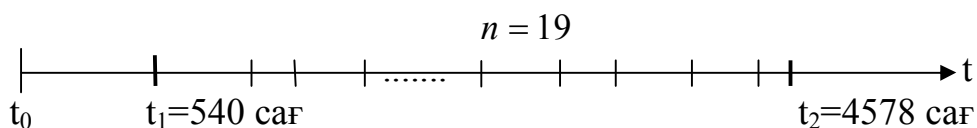
Есептеу нәтижелері

$\Delta t, \text{сағ.}$	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700
$n(\Delta t)$	0	7	15	33	40	3	2
$P^*(t)$	1	1	0,93	0,78	0,45	0,05	0,02
$\lambda^*(\Delta t), 1/\text{сағ.} \cdot 10^{-4}$	0	7,25	17,54	53,66	160,00	85,71	200,0
$f^*(\Delta t), 1/\text{сағ.} \cdot 10^{-4}$	0	7,0	15,0	33,0	40,0	3,0	2,0

4.2.3. Сынаққа $N_0 = 1000$ бір типті резисторлар қойылды. Алғашқы 4000 сағатта 100 резистор істен шықты. Ал 4000 – 5000 уақыт интервалында тағы да 60 резистор істен шықты. 4000 – 5000 уақыт интервалында орын алған істен шығу қарқынын $\lambda^*(4000-5000)$ және істен шығу жиілігін $f^*(4000-5000)$ анықтаңдар. Есептің графикалық бейнеленуі төмендегі суретте келтірілген.



4.2.4. Фидерлерді қорғаушы электрондық блоктың жұмысын бақылау барысында істен шығу оқиғалары 19 рет тіркелген. Бақылауды бастамас бұрын электрондық блок 540 сағат жұмыс істеп үлгерген. Ал бақылаудың соңында электрондық блоктың жұмысы 4578 сағатты құрады. Электрондық блоктың істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының математикалық күтімін табыңдар. Есептің графикалық бейнеленуі төмендегі суретте келтірілген.



Есептің шешімі.

Электрондық блоктың істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының математикалық күтімі келесі формула арқылы табылады:

$$T_{OP}^* = \frac{t_2 - t_1}{n(\Delta t)}$$

Сандық мәндерін орындарына қойып, табатынымыз:

$$T_{OP}^* = \frac{4578 - 540}{19} = 212,5 \text{ сағ.}$$

4.2.5. Сынаққа $N = 35$ элемент қойылсын. Сынақ кезінде әр сағат сайын элементтердің істен шығу сандары есепке алынып отырылды. Сынақ нәтижесі төмендегі кестеде келтірілген.

Сынақ нәтижелері

Уақыт моменттері t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Істен шығу саны $n(t_i)$	0	3	3	5	8	7	6	2	1	0

Сынақ нәтижесі бойынша таралымның эмпирикалық функциясын тұрғызыңдар және сенімділік көрсеткіштерін анықтаңдар.

Есептің шығарылымы.

Таралымның эмпирикалық функциясын келесі формула арқылы анықтауға болады:

$$F^*(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^i n(t_j)$$

Есептеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F^*(t_i)$	0	0,086	0,172	0,314	0,543	0,743	0,914	0,971	1,0	1,0

$t_0=4$ сағаттағы элементтің істен шықпау ықтималдылығы:

$$P^*(4) = 1 - F^*(4) = 1 - 0,314 = 0,686$$

Егерде элемент $t=2$ сағатқа дейін үздіксіз жұмыс жасаған жағдайда, оның $t=2$ сағаттан $t+\Delta t = 6$ сағатқа дейінгі істен шықпау ықтималдылығы:

$$P^*(2,6) = \frac{1 - F^*(6)}{1 - F^*(2)} = \frac{1 - 0,743}{1 - 0,086} \approx 0,28$$

$t_0=4$ сағаттағы элементтің істен шығу ықтималдылығы:

$$Q^*(4) = F^*(4) = 0,314$$

Егерде элемент $t=2$ сағатқа дейін үздіксіз жұмыс жасаған жағдайда, оның $t=2$ сағаттан $t+ \Delta t = 6$ сағатқа дейінгі істен шығу ықтималдылығы:

$$Q^*(2,6) = 1 - P^*(2,6) = 1 - 0,28 = 0,72$$

Алғашқы істен шыққанға дейінгі элементтің жұмыс істеу уақытының орта мәні:

$$T_{cp}^* = \sum_{i=1}^K P^*(t_i) \cdot \Delta t_i = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^K P^*(t_i)$$

мұндағы $\Delta t=1$ сағ, $K=10$ және $P^*(t)_i = 1 - F^*(t_i)$.

Формулаға сәйкесінше сандық мәндерді қойып, табатынымыз:

$$T^*_{cp} = 1+0,914+0,828+0,686+0,457+0,257+0,086+0,029=4,257 \text{ сағ.}$$

Істен шығу жиілігін келесі формула арқылы анықтаймыз:

$$f^*(t_i) = \frac{n(\Delta t_i)}{N \cdot \Delta t_i}$$

мұндағы $n(\Delta t_i)$ мәні $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ уақыт интервалындағы істен шығу санымен анықталады.

Есептеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

Есептеу нәтижелері

t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f^*(t_i)$	0	0,086	0,086	0,143	0,229	0,2	0,171	0,057	0,029	0

Істен шығу қарқынын келесі формула бойынша анықтаймыз:

$$\lambda^*(t_i) = \frac{n(\Delta t_i)}{N(t_i) \cdot \Delta t_i}$$

мұндағы $N(t_i) = N - \sum_{j=1}^{i-1} n(t_j)$ – t_i моментіндегі жұмыс істеп тұрған элементтер саны.

Есептеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

Есептеу нәтижелері

t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda^*(t_i)$	0	0,086	0,094	0,172	0,333	0,457	0,667	0,667	1,0

4.2.6. Сынақтан өтетін жүйелер саны $N=8$. Әрбір жүйенің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыты төмендегі кестеде берілген.

Сынақ нәтижесі

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
12300	7600	14100	2900	9300	8500	10600	13100

Сынақ нәтижелері бойынша алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін $T^*_{ор}$, сонымен қатар дисперсия $D^*(t)$ мен орта квадраттық ауытқуын $\sigma^*(t)$ анықтаңдар.

4.2.7. Сынақтан өтетін радиоэлектрондық бұйымдардың жалпы саны $N=45$. Сынақ нәтижесінде осы бұйымдардың істен шығулары туралы мәліметтер жиналып, төмендегі кестеде толтырылған.

Сынақ нәтижесі

Δt_i , сағ.	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
$n(\Delta t_i)$	19	13	8	3	0	1	1

Кестедегі нәтижені қолдана отырып, бұйымдардың істен шықпау, істен шығу ықтималдылықтарын және істен шығу қарқынын графиктік түрде тұрғызып, олардың уақыт бойынша тәуелділігінің формуласын анықтаңдар. Сонымен қатар, жұмыс істеу уақыттарының орта мәнін табыңдар.

4.2.8. Сынақ NUT жоспары бойынша жүргізілген. Жоспар бойынша $N=40$, $T=480$ сағ. Сынақ нәтижелері төмендегі кестеде берілген. Сынақ нәтижелері бойынша істен шығу қарқынын λ^* табыңдар.

Сынақ нәтижесі

t_1 сағ.	t_2 сағ.	t_3 сағ.	t_4 сағ.	t_5 сағ.	t_6 сағ.	t_7 сағ.	t_8 сағ.	t_9 сағ.
51	65	100	138	158	261	320	365	422

4.2.9. Сынақтан өтетін жүйелер саны $N=8$. Әрбір жүйенің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыттары төмендегі кестеде берілген. Сынақ нәтижелері бойынша T^* ор, $D^*(t)$, $B^*(t)$ мәндерін анықтаңдар.

Сынақ нәтижесі

t_1 сағ.	t_2 сағ.	t_3 сағ.	t_4 сағ.	t_5 сағ.	t_6 сағ.	t_7 сағ.	t_8 сағ.
12300	7600	14100	2900	9300	8500	10600	13100

4.2.10. Сынаққа N бұйым қойылған. Сынақ кезінде t – сағатта $n(t)$ бұйым істен шықты. Келесі Δt уақыт интервалында $n(\Delta t)$ бұйым істен шықты (сынақ нәтижесі төмендегі кестеде келтірілген). t және $t+\Delta t$ мерзімдеріндегі бұйымның істен шықпау ықтималдылығын анықтаңдар. Сонымен қатар Δt уақыт интервалындағы істен шығу жиілігін және істен шығу қарқынын табыңдар. Бастапқы мәліметтер мен жауаптар төмендегі кестеде берілген.

4.2.11. Қалыпқа келтірілетін N жүйе бақылауға алынған. Бұлардың әрбір жүйесі t_i сағ. жұмыс істеп, сәйкесінше n_i істен шығу оқиғасы орын алған. Бүкіл жүйе үшін жұмыс істеу уақыттарының орта мәнін табыңдар. Бақылау нәтижесі төмендегі кестеде келтірілген.

4.2.12. Сынақ NUN жоспары бойынша жүргізілген. Жоспар бойынша N=10. Әрбір жүйенің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыты төменде берілген.

Бастапқы мәліметтер мен жауаптар

Мәліметтер					Жауаптар				
Вариант	N	t, сағ.	n(t)	Δt , сағ.	n(Δt)	P(t)	P(t+ Δt)	f(t), 1/сағ.	$\lambda(t)$, 1/сағ.
1	400	3000	200	100	100	0,5	0,25	$2,5 \times 10^{-3}$	$6,7 \times 10^{-3}$
2	1000	0	0	100	50	1,0	0,95	$0,5 \times 10^{-3}$	$0,514 \times 10^{-3}$
3	45	30	40	10	3	0,11	0,044	$6,67 \times 10^{-3}$	$5,7 \times 10^{-2}$
4	20	1000	16	100	2	0,2	0,1	1×10^{-3}	$6,67 \times 10^{-3}$
5	45	0	0	5	1,0	1,0	0,978	$4,4 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-3}$
6	1000	11000	410	1000	40	0,59	0,55	4×10^{-5}	7×10^{-5}
7	100	6000	50	500	20	0,5	0,3	4×10^{-4}	1×10^{-3}
8	10	100	1	100	1	0,9	0,8	1×10^{-3}	$1,17 \times 10^{-3}$
9	1000	0	0	1000	20	1,0	0,98	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,202 \times 10^{-4}$
10	45	5	1	5	5	0,978	0,867	22×10^{-3}	24×10^{-3}

Бақылау мәліметтері және жауаптары

Вариант №	N	Мәліметтер										Жауаптар T _{ор} , с.
		n ₁	t ₁ сағ.	n ₂	t ₂ сағ.	n ₃	t ₃ сағ.	n ₄	t ₄ сағ.	n ₅	t ₅ сағ.	
1	3	1	300	3	600	2	400	-	-	-	-	216
2	5	3	90	6	270	4	140	5	230	3	180	43
3	4	10	1020	26	3120	24	3480	18	2700	-	-	132
4	3	6	144	5	125	3	80	-	-	-	-	25
5	4	12	960	15	1112	8	808	7	1940	-	-	104

Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнінің T^* орнүктелік және интервалдық бағалануларын табындар.

Жүйелердің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақыттары

t ₁ сағ.	t ₂ сағ.	t ₃ сағ.	t ₄ сағ.	t ₅ сағ.	t ₆ сағ.	t ₇ сағ.	t ₈ сағ.	t ₉ сағ.	t ₁₀ сағ.
60	10	15	50	100	25	30	90	40	70

4.2.13. N=100 қалыпқа келтірілетін жүйелерді эксплуатациялау кезінде істен шығу сандарын n әрбір $\Delta t=100$ сағ. интервалында тіркеуге алып отырған. 1000 сағ. өткендегі бақылау нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

Бақылау нәтижелері

Δt_i сағ.	0-100	100- 200	200- 300	300- 400	400- 500	500- 600	600- 700	700- 800	800- 900	900- 1000
n	2	4	6	7	8	9	9	10	10	10

Сынақ нәтижелері бойынша істен шығу қарқынын $\lambda(t)$ есептеп, графигін тұрғызындар.

Ескертпе: Есептеу кезінде келесі формуланы қолданындар $\lambda(t_i) = \frac{n(\Delta t_i)}{N(t_i) \cdot \Delta t}$,

мұндағы $N(t_i)$ - t_i уақыт моментіндегі сынақтан өтіп жатқан жүйелер саны, Δt – интервал ұзақтығы, $n(\Delta t_i)$ - i -ші интервалда орын алған істен шығу сандары.

4.2.14. NUN жоспары бойынша $N = 15$ жүйе сенімділік сынағынан өткізілді. Сынақ нәтижелері төмендегі кестеде берілген. Алғашқы істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін T_{OP}^* және сенімділік ықтималдылығын $1 - \alpha = 0,9$ деп алып, сенімділік интервалының шекаралық мәндерін анықтаңдар.

Сенімділік сынағының нәтижелері

t_1 сағ.	t_2 сағ.	t_3 сағ.	t_4 сағ.	t_5 сағ.	t_6 сағ.	t_7 сағ.	t_8 сағ.	t_9 сағ.	t_{10} сағ.	t_{11} сағ.	t_{12} сағ.	t_{13} сағ.	t_{14} сағ.	t_{15} сағ.
922	766	153	250	604	553	731	411	505	310	140	214	308	415	981

Ескерту: сенімділік интервалының төменгі және жоғарғы шекаралық мәндерін келесі формулаларды қолданып табындар:

$$T_{OPH} = 1 - \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \frac{\sigma^*}{T_{OP}^*} \cdot x_{(1-\alpha/2)}; \quad T_{OPB} = 1 + \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \frac{\sigma^*}{T_{OP}^*} \cdot x_{(1-\alpha/2)};$$

мұндағы σ^* орта квадраттық ауытқу, $x_{(1+\alpha)/2}$ – қалыпты таралымның квантили (мұнда $x_{(1-\alpha/2)} = x_{0,95} = 1,645$)

4.2.15. NRT жоспары бойынша қалыпқа келтірілетін $N = 20$ жүйелер сенімділік сынағынан өткізілді. Сынақ кезінде $n_{\Sigma} = 10$ істен шығу оқиғасы тіркелді. Сынақ мерзімі $T = 1000$ сағ.

Істен шығу ағындары параметрінің ω^* және істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының математикалық күтімінің t_{op}^* нүктелік және интервалдық бағалануларын анықтаңдар (сенімділік ықтималдылығын $1 - \alpha = 0,9$ деп алындар).

Ескерту: істен шығу ағындары қарапайым деп қабылдаңдар.

4.2.16. NRT жоспары бойынша қалыпқа келтірілетін $N = 10$ жүйелер сенімділік сынағынан өткізілді. Сынақ кезінде істен шығу оқиғасы орын алмаған ($n_{\Sigma} = 0$). Сынақ мерзімі $T = 1000$ сағ.

Істен шығу ағындары параметрінің ω^* және істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының математикалық күтімінің t_{op}^* интервалдық бағалануларын анықтаңдар (сенімділік ықтималдылығын $1 - \alpha = 0,95$ деп алыңдар).

Ескерту:

а) істен шығу ағындары қарапайым деп қабылдаңдар.

б) $n_{\Sigma} = 0$ болғандықтан істен шығу ағындары параметрінің төменгі шекаралық мәні $\omega_H^* = 0$. Сол себептен біржақты шекаралық мән төмендегі формуланы қолдана отырып анықталады:

$$\omega_B^* = \frac{\chi_{(1-\alpha;2)}^2}{2S} = \frac{\chi_{(1-\alpha;2)}^2}{2NT}$$

4.2.17. $n=100$ бұйым бақылау сынағына қойылған. $\lambda_m = 0,1$ тұтынушылар жағынан және $\lambda_0 = 0,05$ жабдықтаушы жағынан сәйкесінше істен шығу қарқындарының нормативтері алдын ала берілген. Жабдықтаушы тәуекелі γ (қабылдамау ықтималдылығы), және β – тұтынушы тәуекелі (қабылдау ықтималдылығы) өзара тең деп алып ($\gamma = \beta = 0,1$), бақылау графигін тұрғызыңдар.

Тұрғызылған график бойынша және берілген шамалар бойынша қабылдау немесе қабылдамау туралы шешімнің шартын табыңдар.

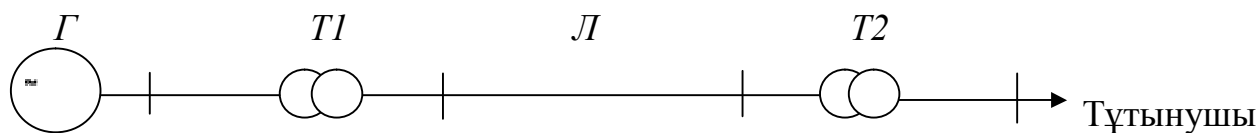
4.2.18. Қалыпқа келтірілетін жүйелерді (t_1, t_2) уақыт интервалында қадағалау кезінде $n(t_1, t_2)$ істен шығу оқиғасы тіркелген. Қадағалауға дейін жүйе t_1 уақыт жұмыс істеген, ал қадағалаудың аяғында жүйенің жалпы жұмыс істеу уақыты t_2 -ге тең. Жүйенің істен шықпай жұмыс істеу уақытының орта мәнін табыңдар. Есепті шешуге қажетті мәліметтер төмендегі кестеде келтірілген.

Мәліметтер және жауаптар

№ вариант	Мәліметтер			Жауаптар T_{op} , сағ
	t_1 , сағ	t_2 , сағ	$n(t_1, t_2)$	
1	350	1280	15	62
2	1000	6400	9	600
3	540	1200	5	132
4	12	184	16	10,75
5	570	2000	27	53

4.3. Күрделі жүйелердің сенімділігін есептеу

4.3.1. Тұтынушыларға электр қуатын беру жүйесі келесі элементтерден тұрады (төмендегі суретті қараңыз): G – генератор, $T1$ – жоғарылатушы трансформатор, L – электр қуатын беру желісі, $T2$ – төмендетуші трансформатор



Элементтердің істен шығу ықтималдылықтары белгілі:

$$q_G = 2 \cdot 10^{-5}; \quad q_{T1} = 5 \cdot 10^{-5}; \quad q_L = 2 \cdot 10^{-3}; \quad q_{T2} = 4 \cdot 10^{-5};$$

Элементтердің істен шығулары өзара тәуелсіз деп есептеп, тұтынушылардың электр энергиясын ала алмай қалу ықтималдылығын (жүйенің істен шығу ықтималдылығы) анықтаңдар.

Есептің шығарылымы.

1 – тәсіл. Тұтынушыларға электр қуатын беру жүйесі жұмыстық күйде болу үшін, жүйе элементтерінің барлығы да жұмыстық күйде болулары қажет. Сондықтан, жүйенің істен шықпай жұмыс істеуі жеке элементтердің істен шықпау оқиғаларының көбейтіндісімен анықталады, яғни

$$P_c = (1 - q_G) (1 - q_{T1}) (1 - q_L) (1 - q_{T2})$$

Сан мәндерін орындарына қойсақ, $P_c = 0,9959$

Жүйенің істен шығу ықтималдылығы

$$Q_c = 1 - P_c = 0,0041$$

2 – тәсіл. Егерде жүйе құрамына кіретін элементтердің ең болмағанда біреуі істен шыққан жағдайда, бүкіл жүйе істен шығатыны белгілі. Сол себептен біріккен оқиғаларды қосу теоремасын қолдана отырып, жүйенің істен шығу ықтималдылығын былайша табатынымыз:

$$Q_c = q_G + q_{T1} + q_L + q_{T2} - q_G q_{T2} - q_G q_L - q_G q_{T2} - q_{T1} q_L - q_{T1} q_{T2} - q_L q_{T2} + q_G q_{T1} q_L + q_G q_{T1} q_{T2} + q_{T1} q_L q_{T2} + q_G q_L q_{T2} - q_G q_{T1} q_L q_{T2}$$

Инженерлік есептеулерде көп жағдайда істен шығу ықтималдылықтарының көбейтіндісін есепке алмайды. Сол себептен

$$Q_c \approx q_G + q_{T1} + q_L + q_{T2} = 4,09 \cdot 10^{-3}$$

Соңғы нәтижені қорытындыласақ, жүйе элементтері өзара тізбектей жалғанған жағдайда, жүйенің істен шығу ықтималдылығы жуықтап былайша анықталады:

$$Q_C(q) \approx \sum_{i=1}^n q_i$$

мұндағы n – элементтер саны.

4.3.2. Тұтынушылар электр энергиясын өзара параллель орналасқан екі әуе желілері арқылы алады. Желілердің істен шығу ықтималдылықтары өзара тең $q_{\text{л}} = 4 \cdot 10^{-3}$, сонымен қатар әрбір желі өзінен 100 % қуатты өткізе алады. Желілердің істен шығулары өзара тәуелсіз деп, тұтынушылардың электр энергиясын ала алмау ықтималдылығын анықтаңдар.

Есептің шығарылымы.

1 – тәсіл. Тұтынушылар электр энергиясынсыз қалу үшін, екі желі де бір мезетте істен шығуы қажет. Ал мұндай оқиғаның ықтималдылығы көбейту теоремасы бойынша анықталады, яғни

$$Q_c = q_{\text{л}} q_{\text{л}} = q_{\text{л}}^2 = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

Тұтынушыларды 100 % қуатпен қамтамасыз ету үшін, екі желінің ең болмағанда біреуі жұмыс істеп тұруы қажет. Бұл ықтималдылық:

$$P_c = 1 - Q_c = 0,999984$$

2 – тәсіл. Тұтынушылар электр энергиясын екі жағдайда ала алады:

а) екі желі де істен шықпаған. Бұл оқиғаның ықтималдылығы:

$$P_{\text{л}} P_{\text{л}} = (1 - q_{\text{л}}) (1 - q_{\text{л}}) = (1 - q_{\text{л}})^2$$

б) екі желінің біреуі істен шыққан, екіншісі жұмыста. Бұл оқиғаның ықтималдылығы:

$$q_{\text{л}} P_{\text{л}} = 2(1 - q_{\text{л}}) q_{\text{л}}$$

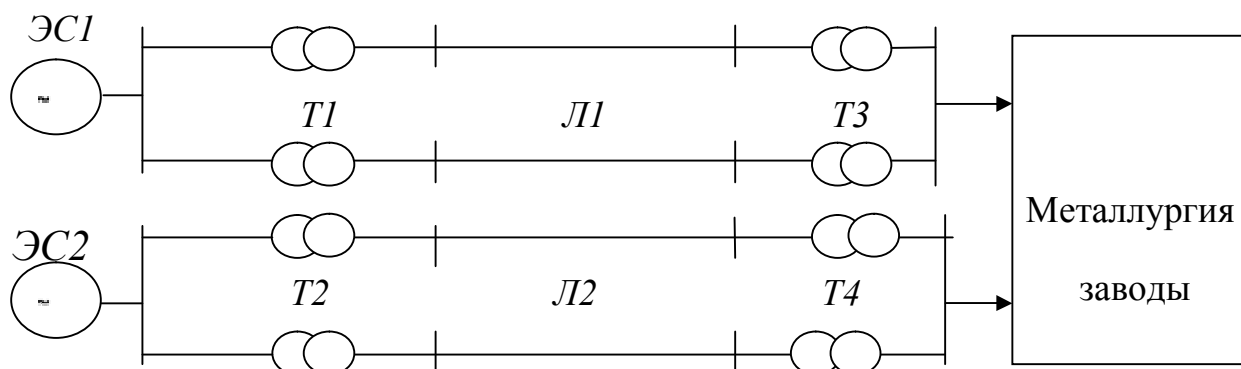
Тұтынушыларға 100 % электр қуатын жеткізу – жоғарыда келтірілген екі оқиғаның ең болмағанда біреуі орын алғанда ғана орындалады. Ықтималдылықтарды қосу теоремасы бойынша:

$$P_c = P_{\text{л}} P_{\text{л}} + q_{\text{л}} P_{\text{л}} = (1 - q_{\text{л}})^2 + 2(1 - q_{\text{л}}) q_{\text{л}} = 0,999984$$

4.3.3. Металлургия заводына электр энергиясы екі электр станциясынан ЭС1, ЭС2 төрт желінің көмегімен жеткізіледі (төмендегі суретті қараңыз). Желілердің бас жағында екі жоғарылату трансформаторлары Т1, Т2 орналасқан, ал аяқ жағында екі төмендету трансформаторлары Т3, Т4 орналасқан.

Әрбір трансформаторлар және әрбір желілер заводқа қажетті қуаттың жартысын ғана өздерінен өткізе алады. Жүйе элементтерінің істен шығулары өзара тәуелсіз және істен шығу ықтималдылықтары белгілі:

$$q_{\text{Т1}}; q_{\text{Т2}}; q_{\text{Т3}}; q_{\text{Т4}}; q_{\text{л1}}; q_{\text{л2}}$$



Заводтың өзіне қажетті электр қуатын алу ықтималдылығын анықтаңдар.

Есептің шығарылымы.

Заводтың қажетті қуатты алу мүмкіншілігі 4 – параллель желінің ең болмағанда екі желісінің (кез келген) жұмыс істеу шартымен анықталады. Электр станцияларын есепке алмағанда, жүйе сенімділігі (істен шығу оқиғасы) 4 – желінің үшеуінің немесе төртеуінің істен шығу ықтималдылығымен айқындалады. Ықтималдылықтарды қосу теоремасы бойынша, әрбір желінің істен шығу күйлерін былайша анықтаймыз.

1 – ші желі үшін:

$$q_1 = q_{T1} + q_{L1} + q_{T3} - q_{T1} q_{L1} - q_{T1} q_{T3} - q_{L1} q_{T3} + q_{T1} q_{L1} q_{T3} \approx q_{T1} + q_{L1} + q_{T3}$$

Сол сияқты қалған желілер үшін:

$$q_2 \approx q_{T1} + q_{L1} + q_{T3}$$

$$q_3 \approx q_{T2} + q_{L2} + q_{T4}$$

$$q_4 \approx q_{T2} + q_{L2} + q_{T4}$$

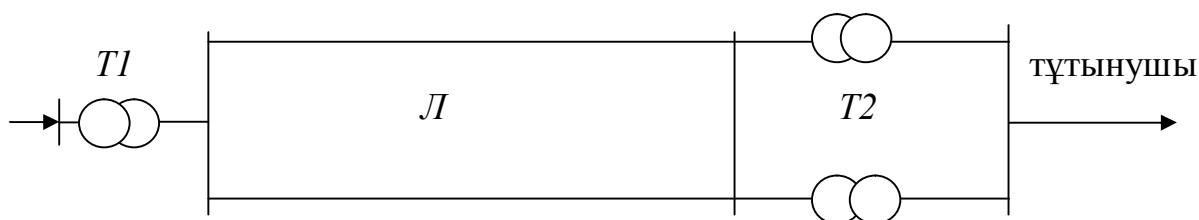
Үш және одан да көп желілердің істен шығу ықтималдылықтары:

$$Q_c = q_1 q_2 q_3 q_4 + q_1 q_2 q_3 p_4 + q_1 q_2 q_4 p_3 + q_1 q_3 q_4 p_2 + q_2 q_3 q_4 p_1 = \\ = q_1^2 q_3^2 + 2 q_1^2 q_3 (1 - q_3) + 2 q_1 q_3^2 (1 - q_1)$$

Ал екі немесе одан да көп желінің істен шықпау ықтималдылығы:

$$P_c = 1 - Q_c = 1 - q_1 q_2 q_3 q_4 + q_1 q_2 q_3 p_4 + q_1 q_2 q_4 p_3 + q_1 q_3 q_4 p_2 + q_2 q_3 q_4 p_1 = \\ = q_1^2 q_3^2 + 2 q_1^2 q_3 (1 - q_3) + 2 q_1 q_3^2 (1 - q_1)$$

4.3.4. Тұтынушыларға электр қуатын беру жүйесі келесі элементтерден тұрады (төмендегі суретті қара): Т1 – бір жоғарылатушы трансформатор, Л – екі электр қуатын беру желісі және Т2 – екі төмендетуші трансформатор.



Жүйенің әрбір жеке дара желісі және жоғарылату трансформаторы $T1$ тұтынушылардың қажетті қуатын толығымен, яғни 100 % қамтамасыз ете алады. Ал төмендетуші трансформатор $T2$ қажетті қуаттың тек 50 % ғана өзінен өткізе алады. Жүйе элементтерінің істен шығу ықтималдылықтары сәйкесінше: $q_{T1} = 0,005$; $q_L = 0,03$; $q_{T2} = 0,006$

Элементтердің істен шығулары өзара тәуелсіз деп, қуатты 100 % мөлшерде беру ықтималдылығын, 50 % мөлшерде беру ықтималдылығын, және 0 % мөлшерде беру ықтималдылығын анықтаңдар.

Есептің шығарылымы.

1) Қуатты 100 % мөлшерде беру ықтималдылығының шарты:

$T1$ трансформаторы жұмыста, $T2$ трансформаторларының екеуі де жұмыста және желілердің ең болмағанда біреуі жұмыста.

$$P_c(100\%) = P_{T1} P_{T2}^2 2 P_L q_L + P_{T1} P_{T2}^2 P_L^2 = P_{T1} P_{T2}^2 [2q_L (1 - q_L) + (1 - q_L)^2] = \\ = P_{T1} P_{T2}^2 (1 - q_L^2) = 0,982$$

2) Қуатты 50 % мөлшерде беру ықтималдылығының шарты:

$T1$ трансформаторы жұмыста, $T2$ трансформаторларының біреуі істен шыққан және желілердің ең болмағанда біреуі жұмыста.

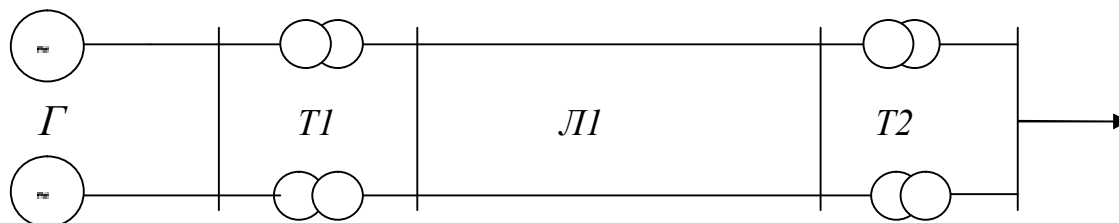
$$P_c(50\%) = P_{T1} 2q_{T2} P_{T2} (1 - q_L^2) = 0,01185$$

3) Қуатты 0 % мөлшерде беру ықтималдылығының шарты:

$T1$ трансформаторы істен шыққан, $T2$ трансформаторларының екеуі де істен шыққан және желілердің барлығы істен шыққан.

$$P_c(0\%) = q_{T1} + q_L^2 + q_{T2}^2 - q_{T1} q_L^2 - q_{T1} q_{T2}^2 - q_L^2 q_{T2}^2 + q_{T1} q_L^2 q_{T2}^2 \approx q_{T1} + q_L^2 + q_{T2}^2 = \\ = 0,005 + 0,03^2 + 0,006^2 = 0,005936$$

4.3.5. Тұтынушылар энергияны екі генератордан G , қосарланған жоғарылату және төмендету трансформаторларынан $T1$, $T2$ және екі желіден алады (төмендегі суретті қараңыз).



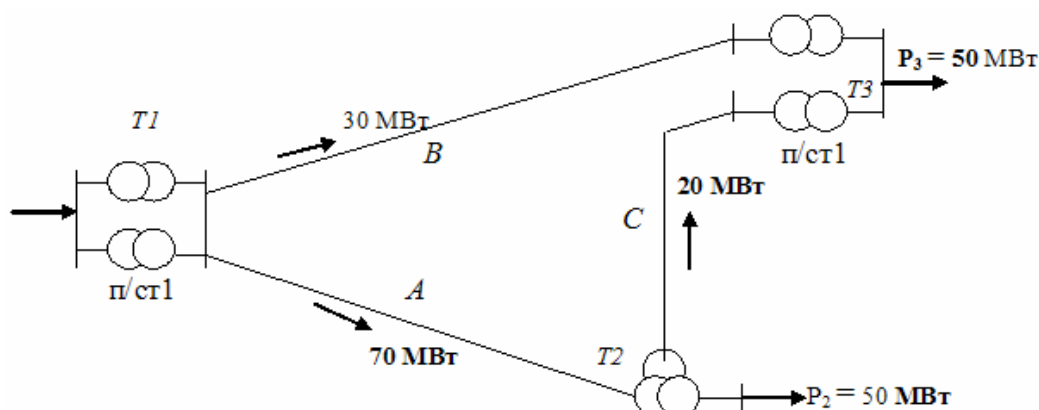
Әрбір жеке-жеке желі арқылы және әрбір жоғарылату трансформаторы $T1$ арқылы тұтынушыға қажетті қуаттың 100 % беріледі. Ал төмендеткіш трансформатордың $T2$ өткізу қабілеті берілетін қуаттың 50 % құрайды. Сонымен

қатар, әрбір генератор қажетті қуаттың 50 % ғана өндіреді. Жүйе элементтерінің істен шығулары өзара тәуелсіз және істен шығу ықтималдылықтары белгілі:

$$Q_G; Q_{T1}; Q_L; Q_{T2};$$

Тұтынушыларға қуатты 100 %, 50 % және 0 % мөлшерде жеткізу ықтималдылықтарын анықтаңдар.

4.3.6. Тұтынушыларға электр энергиясын тарату жүйесі (төмендегі суретті қараңыз) үш подстанциядан п/ст1, п/ст2 және п/ст3 тұрады. Бірінші подстанцияда п/ст1 екі жоғарылату трансформаторы $T1$ орналасқан. Екінші және үшінші подстанцияларда п/ст2, п/ст3 үш төмендеткіш трансформаторлар $T2$ (бір дана), $T3$ (екі дана) орналасқан. Подстанциялар өзара A , B және C желілерімен байланысқан.



Жүйе элементтерінің сипаттамалары (қуатты өткізу мүмкіншіліктері және істен шығу ықтималдылықтары) төмендегі кестеде берілген.

Тұтынушылардың 50 MWt және 70 MWt қуатты ала алмай қалу ықтималдылықтарын анықтаңдар.

Жүйе элементтерінің сипаттамалары

Ақпараттар	Жүйе элементтері					
	A	B	C	T1	T2	T3
Өткізу мүмкіншіліктері, MWt	70	30	20	100/10	70/20/50	30/20
Істен шығу ықтималдылығы, q	0,08	0,05	0,01	0,003/0,003	0,004	0,002/0,002

Есептің шығарылымы.

Тұтыну қуатының жалпы мөлшері

$$P_2 + P_3 = 50 \text{ MWt} + 50 \text{ MWt} = 100 \text{ MWt}$$

Тұтынушылардың 50 MWt қуатты ала алмай қалу оқиғасы келесі жағдайда орын алады.

1) Бірінші подстанцияда орналасқан трансформаторлардың ең болмағанда біреуі жұмыс істеп тұруы шарт.

2) А – желісі және Т2 трансформаторы зақымданбауы қажет (үш орамды трансформатордың ең болмағанда бір орамы зақымданса, трансформатор істен шығады).

Бұл шарт орындалған жағдайда, тұтынушылардың 50 МВт қуатты ала алмай қалу ықтималдылығы келесі өрнектен табылады:

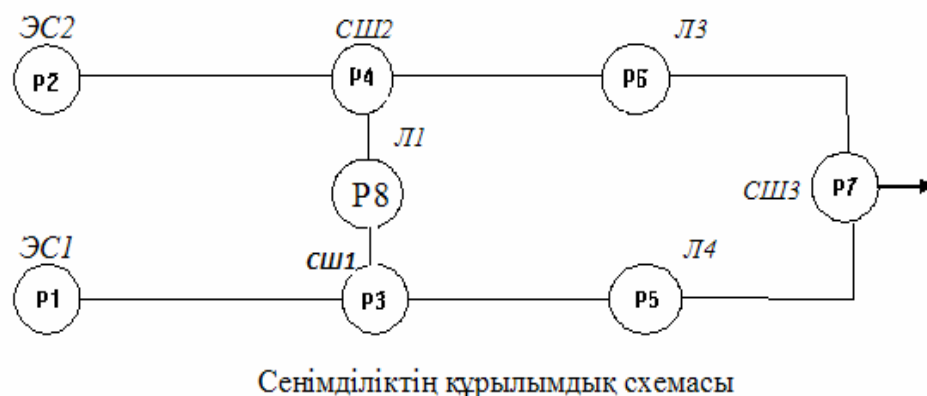
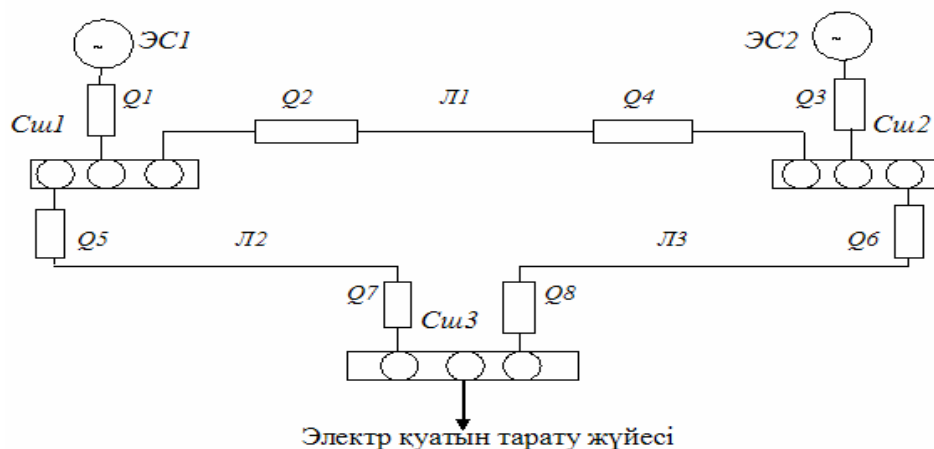
$$P(50\%) = (1 - q_{T1}^2) (1 - q_A) (1 - q_{T2}) (q_B + q_{T3} - q_B q_{T3}) (q_C + q_{T3} - q_C q_{T3}) = 0,00057$$

мұндағы $(q_B + q_{T3} - q_B q_{T3}) (q_C + q_{T3} - q_C q_{T3})$ өрнегі В – Т3 және С – Т3 тізбектерінің бір мезеттегі істен шығу ықтималдылықтарын сипаттайды.

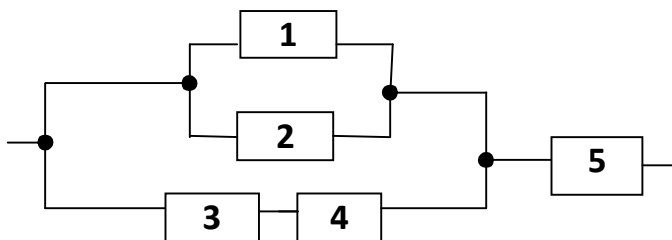
Сол сияқты, тұтынушылардың 70 МВт қуатты жоғалту ықтималдылығы келесі өрнектен табылады:

$$P(70\%) = (1 - q_{T1}^2) (1 - q_B) (1 - q_{T2}) (q_A + q_{T2} - q_A q_{T2}) = 0,079337$$

4.3.7. Төмендегі суретте жүйе құрамына кіретін элементтер келтірілген. Жүйе сенімділігінің құрылымдық схемасы бойынша істен шықпау ықтималдылығын анықтаңдар. Схемадағы элементтердің істен шықпау ықтималдылықтары өзара тең. Сандық мәндері $P_i = 0,9$ ($i=1-8$).



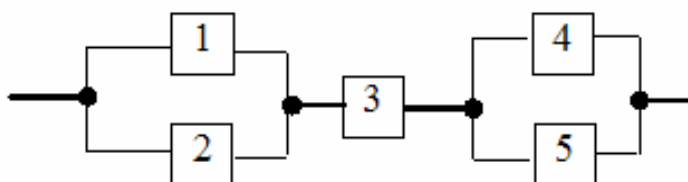
4.3.8. Төменде келтірілген схеманың (жүйенің) сенімділігін анықтаңдар. Схемаға кіретін элементтердің істен шықпау ықтималдылығы белгілі: $P_1 = P_2 = 0,6$; $P_3 = P_4 = 0,8$ және $P_5 = 0,9$;



Жауабы: $P_{\text{ж}} = 0,846$

4.3.9. Резервтелген құрылғының структуралық схемасы төмендегі суретте көрсетілген. Схема элементтерінің істен шығу қарқыны сәйкесінше:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-3}, 1/\text{сағ}; \lambda_3 = 0,5 \cdot 10^{-4}, 1/\text{сағ}; \lambda_4 = \lambda_5 = 0,4 \cdot 10^{-3}, 1/\text{сағ}$$



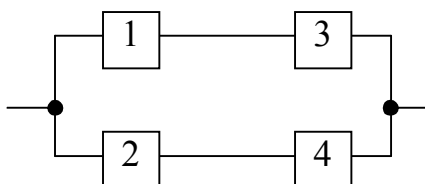
Құрылғының істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін және істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігін анықтаңдар.

Ескерту: $T_{OP} = \int_0^{\infty} P_{\text{ж}}(t) dt$ және $\lambda(t) = \frac{f_{\text{ж}}(t)}{P_{\text{ж}}(t)} = \frac{1}{P_{\text{ж}}(t)} \cdot \frac{d}{dt} P_{\text{ж}}(t)$

Жауабы: $T_{OP} \approx 2590$ сағ.

4.3.10. Төмендегі суретте сенімділікті есептеу схемасы көрсетілген. Схемаға кіретін элементтердің істен шығу қарқындары сәйкесінше: $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,3 \cdot 10^{-3}, 1/\text{сағ}$; $\lambda_3 = \lambda_4 = 0,7 \cdot 10^{-3}, 1/\text{сағ}$.

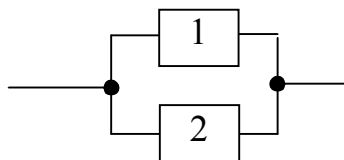
Жүйенің сенімділік көрсеткіштерін және сенімділік көрсеткіштерінің $t=100$ сағаттағы сандық мәндерін табыңдар.



Жауабы: $P_{\text{ж}}(t) = 1 - [1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}]^2$; $P_{\text{ж}}(100) = 0,99$; $T_{OP} = \frac{3}{2(\lambda_1 + \lambda_2)} = 1500$ сағ;

$f_{\text{ж}}(100) = 1,8 \cdot 10^{-4}, 1/\text{сағ}$. $\lambda_{\text{ж}}(100) \approx 1,8 \cdot 10^{-4}, 1/\text{сағ}$;

4.3.11. Төмендегі суретте келтірілген схемадағы элементтердің істен шыққанға дейінгі жұмыс уақыттарының орта мәндері сәйкесінше T_1 және T_2 сағ. Элемент сенімділіктері экспоненциалдық заңдылыққа бағынады деп пайымдап, жүйенің істен шыққанға дейінгі жұмыс уақытының орта мәнін табындар.



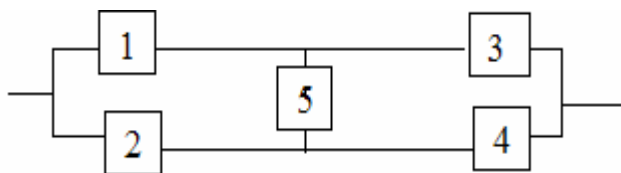
Жауабы: $T_{OP} = T_1 + T_2 - \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$

4.3.12. Жүйе үш элементтен құрылған. Электрондық элементтің істен шығу қарқыны $\lambda_1 = 0,16 \cdot 10^{-3}$, 1/сағ., ал қалған екі электромеханикалық элементтердікі уақытқа сызықты тәуелді, яғни $\lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot t$, 1/сағ және $\lambda_3 = 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot t^{2,6}$, 1/сағ. Жүйенің істен шықпау және істен шығу ықтималдылықтарын анықтаңдар. Ықтималдылықтардың $t = 100$ сағаттағы мәндерін есептеп шығарыңдар.

Жауабы: $P_{\text{ж}}(t) = e^{-(\lambda_1 t + 0,23 \cdot 10^{-4} \frac{t^2}{2} + 0,06 \cdot 10^{-6} \frac{t^{3,6}}{3,6})}$;

$P_{\text{ж}}(100) \approx 0,33$; $Q_{\text{ж}}(100) = 0,67$;

4.3.13. Үшбұрыш схемасын жұлдызды схемаға түрлендіру тәсілін қолданып, төмендегі көпірлік схеманың сенімділігін есепте. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні $P_i = 0,9$ - ға ($i = 1 - 5$) тең деп алыңдар.



4.3.14. Күрделі құрылымды схеманы базалық элементке жіктеу тәсілін қолдана отырып, 4.3.13 есебінде келтірілген көпірлік схеманың сенімділігін есепте. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні $P_i = 0,9$ ($i = 1 - 5$) тең деп алыңдар.

Ескерту: базалық элемент ретінде 5 – ші элементті алыңдар.

4.3.15. Күй тәсілін (метод перебора состояний) қолдана отырып, 4.3.13 есебінде келтірілген көпірлік схеманың сенімділігін есепте. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні:

$$P_i = 0,9 \quad (i = 1 - 5) \text{ тең деп алыңдар.}$$

Ескерту: Күй тәсілі бойынша есептеу барысында төмендегі кестені қолданған жөн.

Жұмыстық күй реттері	Бөлшектердің күйлері					Күйлердің ықтималдылықтары
	1	2	3	4	5	
1						
2						
...						
16						

Кестені толтыру барысында «+» таңбасымен (немесе P_i таңбасымен) бөлшектердің жұмыстық күйін, ал «-» таңбасымен (немесе q_i таңбасымен) істен шығу күйлерін белгілеу қажет (жұмыстық күй саны 16 тең). Жүйенің ізделіп отырған сенімділігі әрбір күй ықтималдылықтарының (кестенің соңғы бағанасы) қосындысына тең.

4.3.16. Минимальдық жол тәсілін қолдана отырып, 4.3.13 есебінде келтірілген көпірлік схеманың сенімділігін есепте. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні $P_i = 0,9 \quad (i = 1 - 5)$ тең деп алыңдар.

4.3.17. Минимальдық қима тәсілін қолдана отырып, 4.3.13 есебінде келтірілген көпірлік схеманың сенімділігін есепте. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні $P_i = 0,9 \quad (i = 1 - 5)$ тең деп алыңдар.

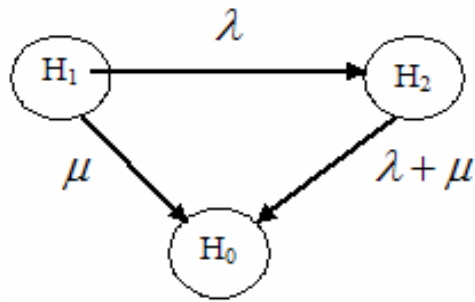
4.3.18. 4.3.13 есебінде келтірілген көпірлік схеманың сенімділігін логика-ықтималдылық тәсілмен есептендер. Есептеу барысында жүйе бөлшектерінің сенімділіктері бірдей және сандық мәні $P_i = 0,9 \quad (i = 1 - 5)$ тең деп алыңдар.

4.3.19. Жүйе кез келген уақытта екі жұмыстық күйдің H_1 , H_2 біреуінде, сонымен қатар бір істен шығу күйінде H_0 бола алады. Жүйе үшін граф өткел төмендегі суретте келтірілген. Өту процесінің параметрлері λ , μ граф өткел суретінде келтірілген.

Жүйенің істен шықпау ықтималдылығын, істен шығу жиілігін және істен шығу қарқынын анықтаңдар.

Есептің шығарылымы:

2.4 бөлімшеде келтірілген, дифференциалдық теңдеулер жүйесін құрудың тәртібін қолдана отырып, жүйелердің бір күйден екінші күйге өту процестерін сипаттаушы келесі дифференциал теңдеулер жүйесін аламыз:



$$\dot{p}_1 = -(\lambda + \mu)p_1$$

$$\dot{p}_2 = \lambda p_1 - (\lambda + \mu)p_2$$

$$\dot{p}_0 = \mu p_1 - (\lambda + \mu)p_2$$

Бастапқы шарттар: $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = P_0(0) = 0$;

Қосымша шарт: $P_1 + P_2 + P_0 = 1$;

Теңдеулер жүйесінің бірінші теңдеуін шешіп, алатынымыз.

$$p_1(t) = e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Табылған шешімді екінші теңдеуге қойсақ

$$\dot{p}_2 = \lambda e^{-(\lambda + \mu)t} - (\lambda + \mu)p_2$$

Бұл, оң жағы нөлге тең емес теңдеуді $P_2(0) = 0$ шартын қолдана отырып шешсек

$$p_2(t) = \lambda t e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Қосымша шарттан $P_1 + P_2 + P_0 = 1$ табатынымыз.

$$p_0(t) = 1 - (\lambda t + 1)e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Қарастырылып отырған жүйенің істен шықпау ықтималдылығы.

$$P_{\text{ж}}(t) = p_1(t) + p_2(t) = (\lambda t + 1)e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Істен шығу жиілігі.

$$f(t) = -\frac{d}{dt} p(t) = [\mu + (\lambda + \mu)\lambda t]e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Істен шығу қарқыны.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{\mu(\lambda + \mu)\lambda t}{\lambda t + 1}$$

4.3.20. Жүйе екі күйде бола алады – жұмыстық және істен шығу күйлерінде. Істен шығу күйіне ауысу қарқыны λ , ал жұмыстық күйге ауысу қарқыны μ -ге тең. Жүйенің сенімділігін есептеңдер (есептеулерді Лаплас түрлендіруін қолдану арқылы шығарыңдар).

Жауабы:
$$P_{\text{ж}}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}$$

4.3.21. Төмендегі суретте агрегаттың құрылымдық схемасы және граф өткелдері көрсетілген. Мұндағы:

0 – ші күй, екі элементте жұмыстық күйде;

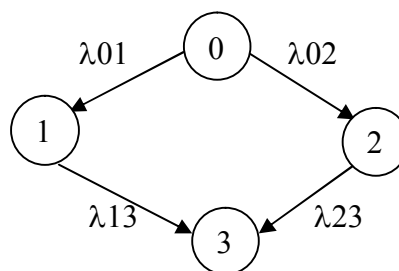
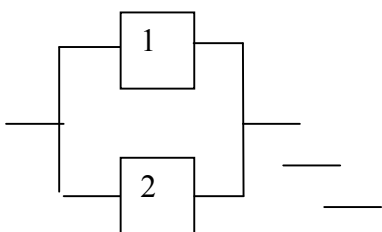
1 – ші күй, бірінші элемент істен шықты (екінші элемент жұмыстық күйде);

2 – ші күй, екінші элемент істен шықты (бірінші элемент жұмыстық күйде);

3 – ші күй, екі элементтің де істен шығу күйіне сәйкес келеді.

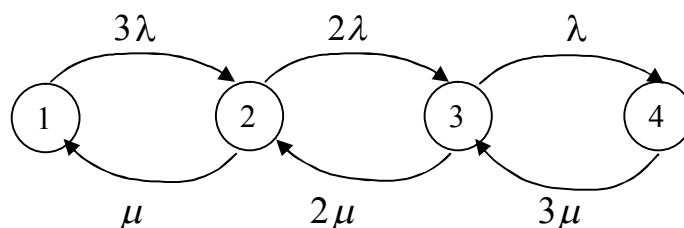
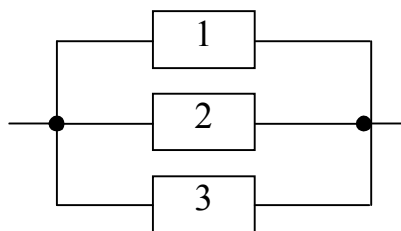
Өткелдердің қарқыны $\lambda_{01} = \lambda_{02} = \lambda_{13} = \lambda_{23} = \lambda$

Граф теориясын қолдана отырып, жүйенің сенімділік көрсеткіштерін анықтаңдар.



Жауабы: $P_0(t) = e^{-2\lambda t}$; $P_1(t) = P_2(t) = e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$

4.3.22. Жүйе үш бөліктен тұрады. Жүйе сенімділігінің құрылымдық схемасы және қалыпқа келтіруді есепке алғандағы күйлердің граф өткелдері төмендегі суретте келтірілген.

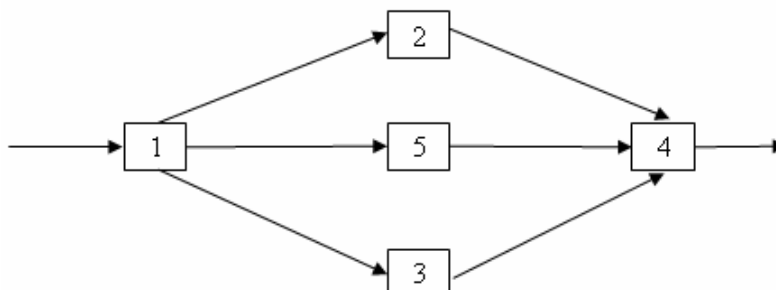


Әр бөліктің істен шығу қарқыны $\lambda = 0,01$ 1/сағ. тең, ал қалыпқа келтіру қарқыны $\mu = 2,0$ 1/сағ. Жүйенің жұмыс қабілеттілігінің ықтималдылықтарын және жүйенің даярлық коэффициентін табыңдар (ықтималдылықтардың қосындысымен анықталады).

Ескерту: ықтималдылықты есептеу кезінде (2.4.32) және (2.4.33) формулаларын қолданыңдар.

Жауабы: $P_1 = 0,985$; $P_2 = 0,014$; $P_3 = 0,0001$; $K_D = 0,9991$;

4.3.23. Жүйе сенімділігінің құрылымдық схемасы бойынша (төмендегі сурет), жүйенің минимальдық жолын және минимальдық қимасын табындар. Табылған жолдар мен қималар бойынша, жүйенің сенімділігін төменнен және жоғарыдан бағаландар. Жүйе құрамына кіретін элементтердің сенімділік көрсеткіштері (істен шықпау ықтималдылықтары) өзара тең, ал сандық мәні 0,9.



Ескертпе: Есепті басқа да тәсілдермен шығарып, нәтижелерін салыстырындар.

4.3.24. Қалыпқа келтірілетін жүйенің қалыпқа кетіру уақыты $t_{KK} = 20$ сағатты құрасын. Жүйенің даярлық коэффициенті 0,87-ге тең.

Істен шығу және қалыпқа келтіру ағындары қарапайым деп, $t = 150$ сағаттағы жүйенің істен шықпаған күйде болу ықтималдылығын табындар.

Жауабы: $K_D(150) = 0,89$; $\lambda = 7,5 \cdot 10^{-3}$ 1/сағ.

4.4. Жүйелерге профилактикалық қызмет көрсету

4.4.1. Таралымның экспоненциалдық заңдылығы үшін істен шығу ықтималдылығы $q = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$, мұндағы істен шығу қарқыны $\lambda = 0,0001$ 1/сағ.

Істен шығу ықтималдылығының тағайындалған мәні $q_p = 0.01$ 1/сағ. деп алып, календарлық қызмет көрсету уақытын $t_{пр}$ анықтандар.

Ескерту: $t_{пр}$ уақыты келесі шарттан $q \leq q_p$ табылады.

Жауабы: $t_{пр} = 100$ сағ.

4.4.2. Істен шығу оқиғасы негізінен қажалу, тозу, қартаю процестерімен анықталады деп пайымдап, тозған элементтерді ауыстыруға негізделген календарлық қызмет уақытын анықтандар. Тозу нәтижесінен туындаған істен шығуға дейінгі жұмыс істеу уақытының орташа мәні $T=120$ сағ., орта квадраттық ауытқу $\sigma(t)=2$ сағ. Істен шығу ықтималдылығының рұқсат етілген мәні $q_p = 0.01$ 1/сағ.

Ескерту: профилактика мерзімі былайша анықталады:

$$t_{пр} = T - \varepsilon \cdot \sigma(t),$$

мұндағы ε мәні $q < q_p$ шартын қанағаттандыратындай етіп, төмендегі кестеден алынады.

ε мәнін q_p ықтималдылығы бойынша алу

$q_{доп}$	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
ε	2,526	2,323	2,053	1,96	1,88	1,75	1,643	1,554	1,475	1,404	1,34	1,282

Жауабы: $t_{пр} = 115$ сағ.

4.4.3. Істен шыққан жүйені толық қалыпқа келтіру жоспардан тыс апаттық-профилактикалық жұмыс жүргізудің нәтижесінде орындалады. Істен шығуды индикациялау уақытының параметрі V тең және көрсеткіштік заңдылыққа бағынады. Істен шыққаннан кейінгі қалыпқа келтіру уақытының параметрі μ тең, көрсеткіштік заңдылыққа бағынады. Істен шықпай жұмыс істеу уақыты сол сияқты экспоненциалдық заңдылыққа бағынады (таралым параметрі λ).

Жүйеге қызмет көрсету (обслуживания системы) сапалығының көрсеткіштерін анықтаңдар: даярлық коэффициенті k_Γ ; істен шықпай жұмыс істеудің бірлік уақыттағы меншікті шығынның орташа мәні C ; бірлік уақыттағы орташа пайда E ; оперативтік уақыттағы істен шықпау ықтималдылығы $R(z)$;

Ескерту: Таралымның экспоненциалдық заңдылығы үшін

$$T_1 = \frac{1}{\lambda}; \quad T_2 = \frac{1}{\nu}; \quad T_3 = \frac{1}{\mu};$$

$$\text{Жауабы: } k_D = \frac{\mu\nu}{\lambda\nu + \mu\nu + \mu\lambda}; \quad C = \frac{C_2 T_2 + C_{3'}}{T_1} = \frac{\lambda\mu C_2 + \lambda\nu C_{3'}}{\mu\nu};$$

$$E = \frac{\mu\nu C_1 - \lambda\mu C_2 - \lambda\nu C_{3'}}{\mu\nu + \lambda\mu + \lambda\nu}; \quad R(z) = k_D \left(1 - \lambda \int_0^z e^{-\lambda \cdot t} dt \right) = k_\Gamma e^{-\lambda z};$$

4.4.4. Қалыпқа келтірілетін жүйелерге А – стратегиясы бойынша ескерту – профилактикалық жөндеу жұмыстары өткізілді. Параметрлердің мәндері белгілі: $\lambda = 0,02$ 1/сағ., $\mu = 0,5$ 1/сағ., $\nu = 2,5$ 1/сағ.

Меншікті шығындар $C_1 = 5$ бірлік/сағ., $C_2 = 2$ бірлік/сағ., $C_3 = 1$ бірлік/сағ. Жүйенің оперативті жұмыс істеу уақыты $z = 8$ сағ.

Жүйе сапалығының көрсеткіштерін анықтаңдар.

Жауабы: $T_1 = 50$ сағ., $T_2 = 0,4$ сағ., $T_{3'} = 2$ сағ., $k_\Gamma = 0,954$; $C = 0,056$ бірлік/сағ., $E = 4,72$; $R(8) = 0,813$;

4.4.5. Жүйенің жұмыстық уақытының таралым функциясы белгілі:

$F_i = 1 - e^{-\lambda_i \cdot t}$, $i = 1, 3', 4$. Жүйенің даярлық коэффициентін максимизациялайтын ескерту профилактикасының оптималды периоды анықтаңдар.

Жауабы: Жоспарлы профилактиканы өткізіп қажеті жоқ.

$$k_D = \frac{\lambda_{3'}}{\lambda_1 + \lambda_{3'}};$$

4.4.6. Жүйенің даярлық коэффициентін максимальдайтын ескерту профилактикасының оптималды периоды табындар. Жұмыстық уақыттардың таралым функциялары белгілі:

$F_1(t) = 1 - e^{-5 \cdot 10^{-5} t^2}$ - Вейбулла таралымы, $F_{3'}(t) = 1 - e^{-0,025t}$ - экспоненциалдық таралым, $F_4(t) = 1 - e^{-0,1t}$ - экспоненциалдық таралым.

Есептің шешімі.

Даярлық коэффициентін K_r максимумға жеткізетін, жоспарлы түрдегі ескерту-профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуді шешу арқылы анықталады.

$$B(\theta) = \frac{T_4}{T_{3'} - T_4}$$

мұнда

$$B(\theta) = -F_1(\theta) + \lambda(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F_1(t)] dt$$

Істен шығу қарқыны.

$$\lambda(t) = \frac{1}{[1 - F_1(t)]} \cdot \frac{d}{dt} [F_1(t)]$$

Параметрлердің сандық мәндері.

$$\lambda(t) = 10^{-4} \cdot t; \quad T_{3'} = \frac{1}{\lambda_{3'}} = 40; \quad T_4 = \frac{1}{\lambda_4} = 10; \quad \frac{T_4}{T_{3'} + T_4} = 0,333;$$

Сандық мәндерді оптималдық период теңдеуіне қойып, табатынымыз:

$$0,333 = -1 + e^{-5 \cdot 10^{-5} \theta^2} + 10^{-4} \theta \int_0^{\theta} e^{-5 \cdot 10^{-5} t^2} dt$$

Әдетте бұл теңдеу жуықтау тәсілімен шешіледі, мысалға графикалық тәсілмен. Жаңа айнымалыларды енгізсек $10^{-2} \cdot \theta = u; \quad 10^{-2} \cdot t = z;$

Бұл жағдайда

$$B(u) = -1 + \sqrt{2\pi} [\Phi(u) + u\{\Phi(u) - 0,5\}]$$

Қосымшадағы арнайы кестені қолдану арқылы, табатынымыз (төмендегі кестені қараңыз).

u	0,4	0,6	0,8	1,0
$B(u)$	0,08	0,167	0,304	0,462

Бұдан оптималды периодтың мәні $\theta^* = 84$ сағат екендігін табамыз. Ал даярлық коэффициентінің оптималды мәні

$$\max K_D = \frac{1}{1 + (T_{3'} - T_4)\lambda(\theta^*)} = 0,8$$

Профилактиканың оптималды периодының ұтымдылығын ескерту профилактикалық шара қолданбаған жағдайдағы сенімділік коэффициентімен салыстыру арқылы айқындауға болады. Профилактикалық шара қолданбаған жағдайдағы даярлық коэффициенті.

Бұл жағдайда

$$T_1 = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{\lambda^{\frac{1}{\alpha}}} = \frac{\Gamma(1,5)}{(5 \cdot 10^{-5})^{\frac{1}{2}}} = 135,3; \quad K_D = \frac{T_1}{T_1 + T_{3'}} = 0,76$$

4.4.7. 4.4.6 есебіндегі мәліметтерді қолдана отырып, жүйенің меншікті шығынының орта мәнін минималдайтын ескерту профилактикасының оптималды периодын табыңдар.

Берілгені $C_{3'} = 5$ бірлік/сағат, $C_4 = 2$ бірлік/сағат.

Есептің шешімі.

Орташа меншікті шығынды C минимизациялайтын, жоспарлы түрдегі ескерту–профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуден анықталады.

$$B(\theta) = \frac{C_4 T_4}{C_{3'} T_{3'} - C_4 T_4}$$

мұнда

$$B(\theta) = -F_1(\theta) + \lambda(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F_1(t)] dt$$

Сандық мәндерін қойсақ $B(\theta) = 0,11$. Бұл теңдеуді қанағаттандыратын θ -ның мәні $\theta^* = 48$ сағ. Бұл жағдайда, орташа меншікті шығын

$$C(\theta^*) = (C_{3'} T_{3'} - C_4 T_4) \lambda(\theta^*) = 0,86 \text{ бірлік/сағат.}$$

Егерде ескерту профилактикалық шаралар қолданбаған жағдайда, шығын мөлшері

$$C(\theta) = \frac{C_{3'} T_{3'}}{T_1} = 1,6 \text{ бірлік/сағат.}$$

Салыстыру, шығынның мөлшермен 2 есе артатынын көрсетеді.

4.4.8. 4.4.6 есебіндегі мәліметтерді қолдана отырып, оперативті уақыт аралығындағы $Z = 15$ сағ. жүйенің істен шықпау ықтималдылығын максимальдайтын ескерту профилактикасының оптималды периодын табыңдар.

Есептің шешімі.

Істен шықпау ықтималдылығын оперативтік уақытта Z максимальдайтын, жоспарлы түрдегі ескерту–профилактикасының оптималды периоды θ^* төмендегі теңдеуді шешу арқылы анықталады.

$$B(\theta) = \frac{T_4 [1 + \lambda(\theta)Z]}{T_3 - T_4 + Z}$$

мұнда

$$B(\theta) = -F_1(\theta) + \lambda(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F_1(t)] dt = 0,22 + 0,33 \cdot 10^{-4} \theta \approx 0,22$$

Оптималды период теңдеуін графикалық тәсілмен шешу арқасында, периодтың мәнін $\theta^* = 72$ сағ. деп табамыз. $Z = 15$ сағ. істен шығу ықтималдылығының максимальдық мәні

$$\begin{aligned} R(Z, \theta^*) &= \frac{\int_0^{\theta^*} [1 - F_1(t+z)] dt}{\int_0^{\theta^*} [1 - F_1(t)] dt + T_4 + (T_3 - T_4) F_1(\theta^*)} = \\ &= \frac{\int_0^{72} e^{-5 \cdot 10^{-5} (t+15)^2} dt}{10 + 30(1 - e^{-5 \cdot 10^{-5} \cdot 72^2}) + \int_0^{72} e^{-5 \cdot 10^{-5} t^2} dt} = 0,75 \end{aligned}$$

Егерде жүйеде ескерту профилактикасы жүргізілмесе, онда істен шықпау ықтималдылығының мәні

$$R(Z, \theta) = \frac{1}{T_1 + T_3} \left[T_1 - \int_0^{15} e^{-5 \cdot 10^{-5} t^2} dt \right] = 0,67$$

Бұл жерде $R(Z, \theta^*) \geq R(Z, \theta)$ екендігі көрініп тұр.

4.4.9. Сақталу режимінде тұрған жүйелердің даярлық коэффициентін максимальдайтын, жоспарлы ескерту профилактикасының оптималды периодын табыңдар. Белгілі шамалар:

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}; (i=1,3,4), \lambda_1 = 0,005; 1/\text{сағ.}, \lambda_3 = 0,03; 1/\text{сағ.}, \lambda_4 = 0,1; 1/\text{сағ.}$$

Есептің шешімі:

Таралымның экспоненциалдық заңдылығы үшін

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_1} = 200 \text{ сағ.} \quad T_3 = \frac{1}{\lambda_3} = 33,3 \text{ сағ.} \quad T_4 = \frac{1}{\lambda_4} = 10 \text{ сағ.}$$

Оптималды периодтың θ^* теңдеуін құрамыз. Теңдеудің сол жағы 0-ге тең, яғни

$$B(\theta) = -1 + e^{-\lambda_1 \theta} + \lambda_1 \int_0^{\theta} e^{-\lambda_1 t} dt = 0$$

Теңдеудің оң жағы

$$\frac{1}{T_3 - T_4} \left[T_4 + e^{\lambda_1 \theta} \int_0^{\theta} t d e^{-\lambda_1 t} \right] = \frac{1}{T_3 - T_4} \left(T_4 + \theta + \frac{1 - e^{\lambda_1 \theta}}{\lambda_1} \right)$$

Есепті жуықтау тәсілімен шығарамыз. $e^{\lambda_1 \theta}$ функциясын қатарға жіктейміз (дәлдігі 4-ші мүшеге дейін). Бұл жағдайда теңдеу келесі түрге түрленеді:

$$2T_4 = \lambda_1 \theta^2;$$

Бұдан ізделіп отырған шаманы тапсақ $\theta^* = 63 \text{ сағ.}$
Даярлық коэффициентінің максимальдық мәні:

$$K_{\Gamma}(\theta^*) = \frac{e^{-\lambda_1 \theta^*}}{1 + (T_3 - T_4) \lambda_1 e^{-\lambda_1 \theta^*}} = 0,673$$

4.4.10. Жүйенің орташа меншікті шығынын минимизациялайтын жоспарлық профилактиканың оптималды периодын табыңдар. Есепті шешуге қажетті мәліметтерді 4.4.9 есептен алу қажет. Қосымша мәліметтер төменде келтірілген: $C_1 = 5$ бірлік/сағат, $C_2 = 3$ бірлік/сағат, $C_3 = 1$ бірлік/сағат, $C_4 = 2$ бірлік/сағ.

Есептің шығарылымы.

Оптималды периодты төмендегі теңдеуден анықтаймыз:

$$\frac{\lambda_1 C_4 T_4}{C_2} = \lambda_1 \theta; \text{ бұдан } \theta^* = 51,6 \text{ сағ.}$$

Сондықтан $C(\theta^*) = 0,94$ бірлік/сағ.

4.4.11. Егер $F_1(t) = 1 - e^{-5 \cdot 10^{-5} t^2}$, $T_3 = 40 \text{ сағ.}$, $T_5 = 10 \text{ сағ.}$ болса, жүйенің сақталу режимінде жүргізілетін профилактикалық жұмыстардың оптималды периодын табыңдар.

Жауабы: $\theta^* = 48 \text{ сағ.}$

5. ҚАРАПАЙЫМ СТАТИСТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ЖҰМЫСТАРЫН ОРЫНДАУҒА АРНАЛҒАН ЖАТТЫҒУЛАР

Бұл тараудың негізгі мақсаты – студенттерді (магистранттарды) қандайда бір статистикалық деректерді өңдеу кезінде математикалық – статистика тәсілдерін қолдана білуге машықтау болып табылады.

Студенттердің, магистранттардың жаттығулары үшін келтірілген төмендегі статистикалық өңдеу жұмыстарын орындау барысында түрлі модельдеу орталарын (Mathcad, Excel т.с.с.) қолдана отырып жүргізу тиімді. Өңдеу жұмыстары жаттығуларда берілген қажетті нұсқаулар мен қысқаша мағлұматтарға сүйене отырып орындалады.

5.1. Жүйелердің істен шығу оқиғалары жөніндегі статистикалық мәліметтерді өңдеу (экспоненциалдық заңдылықтың мысалы)

Жүйелердің сенімділігін айқындауда, алғашқы ақпараттар ретінде істен шығу оқиғаларын тіркейтін тіркеу журналының мәліметтері қолданылады. Төменде мысал ретінде (5.1.1-кесте) бес жүйенің сынақтан өту кезіндегі істен шығу оқиғалары жөніндегі мәліметтер келтірілген. Тіркелген ақпараттарды өңдеу барысында, әдетте жүйенің сенімділік сипаттамалары анықталады.

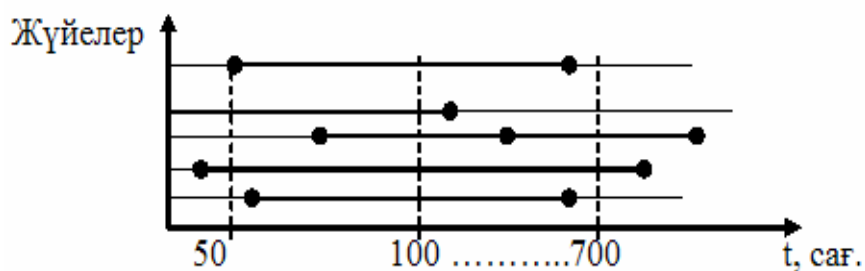
Жұмыс жоспары

- 1) Істен шығу уақытының кестесін құру, немесе диаграммасын тұрғызу.
- 2) Статистикалық мәліметтерді өңдеуге даярлау және эмпирикалық заңдылықтарды тұрғызу.
- 3) Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігін тұрғызу.
- 4) Эмпирикалық функцияларды аналитикалық заңдылықтармен аппроксимациялау.
- 5) Эмпирикалық және аналитикалық таралым заңдылықтарының сәйкестігі туралы гипотезаны тексеру.

Жұмысты орындау барысы.

5.1.1. Істен шығу уақытының кестесін құру және диаграммасын тұрғызу

5.1.1-кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, жүйелердің істен шығу уақытының кестесі (5.1.2-кесте) құрылады немесе диаграммасы тұрғызылады (5.1.1-сурет). Істен шығу ағындарының уақыттық диаграммасы жүйелердің істен шыққанға дейінгі жұмыс істеу уақытын және де көрші істен шығу оқиғаларының аралық уақыттарын көрсетеді. Келешекте бұл мәліметтер жүйелердің істен шығу қарқынын тұрғызуда қажет болады.



5.1.1-сурет. Істен шығу ағындарының уақыттық диаграммасының мысалы

5.1.1-кесте

Істен шығу аралықтарындағы жұмыс уақыттарының мәндері

Істен шығу №	Жұмыс істеу уақыты, сағ.				
	№1 жүйе	№2 жүйе	№3 жүйе	№4 жүйе	№5 жүйе
1	2	3	4	5	6
1	21	1	1	18	19
2	31	63	13	18	12
3	13	45	22	15	16
4	18	11	37	5	1
5	15	12	15	66	15
6	5	25	3	3	5
7	12	25	51	16	10
8	74	64	26	30	1
9	27	3	42	27	46
10	7	24	21	21	7
11	10	55	5	1	33
12	3	48	84	27	25
13	8	72	30	5	4
14	86	18	17	1	9
15	16	3	50	21	1
16	32	45	36	1	10
1	2	3	4	5	6
17	20		18	21	
18	12		11	9	
19	31		2	16	
20	62		6	21	
21	1		7	23	
22	3		16	9	
23	104		27	8	
24			15	11	
25			6	9	
26			31	10	
27			24	1	
28			18		
29			6		

30			6		
31			5		
32			27		
33			5		

5.1.2. Статистикалық мәліметтерді өңдеуге даярлау және эмпирикалық заңдылықтарды тұрғызу

Статистикалық мәліметтерді өңдеудің алдында, әдетте істен шығудың вариациондық қатары құрылады. Вариациондық қатар деп, жүйелердің жұмыстық уақыттарының мәндерін шама жағынан өсу ретімен орналастырып шығуды айтамыз. Студенттер өздігінен 5.1.2 – кестені толтырулары қажет.

5.1.2-кесте

Жүйелердің істен шығу уақыттарының кестесі

Істен шығу №	Жұмыс істеу уақыты, сағ.				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	2	3	4	5	6
1	21	1	1	18	19
2	52	64	14	36	31
3	65	109	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
16	.	514	.	.	214
.	.				
.	.		.		
23	611		.	.	
24			.	.	
1	2	3	4	5	6
25			.	.	
26			.	.	
27			.	413	
.			.		
.			.		
33			683		

5.1.3-кестеге әр жүйелер үшін құрылған вариациондық қатар толтырылуы қажет.

Вариациондық қатарға сүйене отырып, таралым тығыздығының эмпирикалық функциясы (жұмыс уақыты таралымының гистограммасы) тұрғызылады. Ол үшін уақыт осі өзара тең $\Delta t = 10$ сағ. интервалдарға бөлініп, әр интервалдарға сәйкес жиіліктердің мәндері анықталады. Тығыздықтың эмпирикалық функциясы келесі формуланы қолдана отырып тұрғызылады.

Вариациялық қатарлар

Істен шығу №	Жұмыс істеу уақыты, сағ.				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1
2	3	3	2	1	1
3	3	3	.	.	.
4	5	11	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
16	.	72	.	.	46
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
23	104	.	.	.	.
24	.	.	.	.	.
25	.	.	.	.	.
26	.	.	.	.	.
27	.	.	.	66	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
33	.	.	84	.	.

$$f^*(t) = \frac{n_i}{N\Delta t} \quad (5.1.1)$$

мұндағы $N=115$ - істен шығудың жалпы саны, n_i - i - ші интервалға түскен істен шығу сандары.

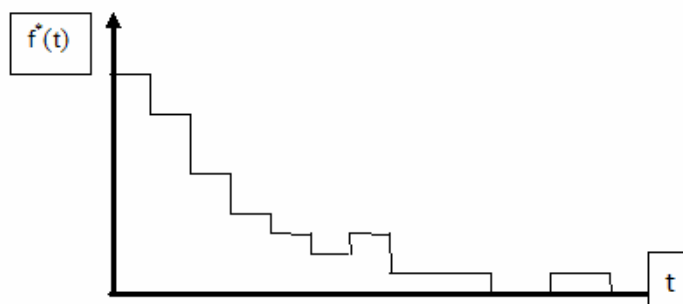
Есептеу нәтижелері бойынша 5.1.2 – суреттегідей эмпирикалық функцияның графигі тұрғызылады.

Вариациондық қатарға сүйене отырып, істен шығу $Q(t)$ және шықпау $P(t)$ ықтималдылықтарын сипаттаушы функцияларды (сенімсіздік және сенімділік функциялары) тұрғызуға болады. Бұл функциялар төмендегі сәйкесінше формулалар арқылы тұрғызылады.

$$Q^*(t) = \frac{n(i)}{N} \quad (5.1.2)$$

$$P^*(t) = 1 - \frac{n(i)}{N} \quad (5.1.3)$$

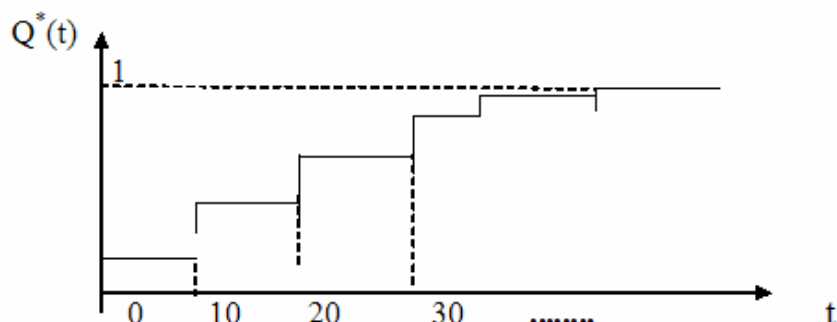
мұндағы $n(i)$ - 5 жүйе үшін $[1 \div i]$ интервалында жатқан істен шығу аралықтарындағы жұмыстық уақыттар мәндерінің жалпы саны (жиынтықталған жиілік).



5.1.2-сурет. Эмпирикалық функция графигінің көрінісі

$Q^*(t)$ функциясының өзгеру заңдылығын сипаттаушы қисықтың түрі.

5.1.3 – суретте келтірілген. $P^*(t)$ функциясы сәйкесінше тұрғызылады. Эмпирикалық функцияларды тұрғызу үшін алдын ала 5.1.4-кестесі толтырылады.



5.1.3-сурет. Эмпирикалық функция графигінің көрінісі

5.1.4-кесте

$f^*(t)$, $Q^*(t)$ және $P^*(t)$ функцияларын тұрғызуға мәліметтер

№	Δt_i , сағ.	n_i	$n(i)$	$f(t_i)$	$Q(t_i)$	$P(t_i)$
1	0 – 10					
2	10 – 20					
3	20 – 30					
·						
·	100 – 110					
11						

5.1.3. Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігін тұрғызу

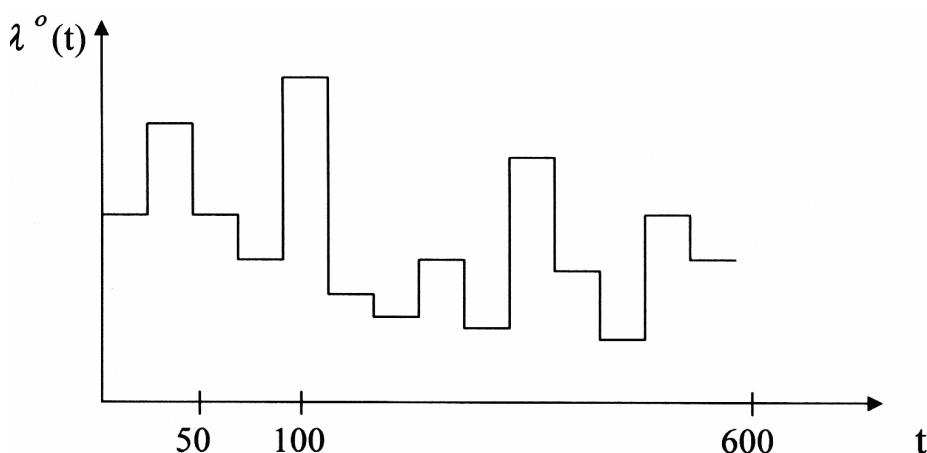
5.1.1 – суреттегі немесе 5.1.2 – кестедегі мәліметтерді пайдалана отырып, істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігін тұрғызуға болады. Тұрғызылған тәуелділіктің өзгеру заңдылығына қарап, мысалға жүйелердің бастапқы физикалық қартаю мерзімі туралы ақпараттарды алуға болады. Істен шығу қарқынының эмпирикалық функциясын тұрғызу барысында уақыт өсін өзара

тең $\Delta t = 50$ сағ., интервалдарына бөліндер. Істен шығу қарқынының эмпирикалық функциясын тұрғызу барысында келесі формула қолданылады:

$$\lambda^*(t) = \frac{n_i}{N(t)\Delta t} \quad (5.1.4)$$

мұндағы $N(t)$ – t уақытындағы жұмыс істеп тұрған (істен шықпаған) жүйелер саны, n_i – i -ші интервалында орын алған істен шығу оқиғаларының сандары (5 жүйе үшін).

(5.1.4) формуласы бойынша $\lambda^*(t_i)$ мәндері есептеліп, сипаттамасы тұрғызылады (5.1.4-сурет).



5.1.4-сурет. Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігінің көрінісі

5.1.4. Эмпирикалық функцияларды аналитикалық заңдылықтармен аппроксимациялау

Жоғарыда қарастырылған статистикалық қатарды экспоненциалдық таралым заңдылығын қолдана отырып аппроксимациялауға болады, яғни

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (t > 0) \quad (5.1.5)$$

мұндағы $\lambda = const$, экспоненциалдық таралымның параметрі.

Экспоненциалдық заңдылықта таралым параметрі λ мен кездейсоқ шаманың (жұмыс уақыты) математикалық күтімінің T араларындағы байланыс былайша анықталады.

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad (5.1.6)$$

Аппроксимациялаудың негізінде таралым параметрінің мәнін рационалды түрде алу жатыр. λ параметрінің рационалды мәні теориялық таралымның

математикалық күтімі мен кездейсоқ шаманың статистикалық орта мәндерінің өзара тең болу шартынан анықталады. Статистикалық орта мән келесі формуламен анықталады:

$$T^* = \sum_{i=1}^k t_i \frac{n_i}{N} = \sum_{i=1}^k t_i P_i \quad (5.1.7)$$

мұндағы k – интервалдар саны, P_i – i -ші интервалға түскен істен шығу оқиғасының жиілігі, t_i – i -ші интервалдың ортасына сәйкес келетін уақыт.

Келесі шарттан

$$T = T^* = \frac{1}{\lambda}, \quad (5.1.8)$$

таралым параметрін табамыз

$$\lambda = \frac{1}{T^*} \quad (5.1.9)$$

Таралым параметрінің және аппроксимациялаушы қисықтың сандық мәндерін есептеп шығару үшін 5.1.5 – кесте және 5.1.6 – кестелері толтырылады. Есептелген мәліметтерді пайдалана отырып, аналитикалық және эмпирикалық функцияларды бір сызбада беттестіріп салу қажет.

5.1.5-кесте

λ анықтауға арналған мәліметтер

№	Δt_i , сағ.	t_i , сағ.	P_i	$t_i P_i$
1	0 – 10	5		
2	10 – 20	15		
3	20 – 30	25		
...	...	...		
11	100 – 110	105		

5.1.6-кесте

Аппроксимациялаушы қисықты тұрғызуға қажетті мәліметтер

t_i , сағ.	5	15	25		105
$P(t) = e^{-\lambda t_i}$					
$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t_i}$					
$f(t) = \lambda e^{-\lambda t_i}$					

5.1.5. Эмпирикалық және аналитикалық таралым заңдылықтарының сәйкестігі туралы гипотезаны тексеру

Әдетте статистикалық таралымды аналитикалық қисықпен аппроксимациялау барысында, олардың араларында біраз алшақтық туындайды. Бұл алшақтық екі жағдайға байланысты туындауы мүмкін: өңделетін статистикалық мәліметтердің аз мөлшерде болуынан немесе алынған аппроксимациялаушы аналитикалық қисық статистикалық қатарды өте нашар сипаттайды. Пайымдалған таралым түрін тексеру келісім критерийлері арқылы жүзеге асырылады. Келісім критерийі таралымның алға тартылған гипотезаға қайшы келмейтіндігінің ықтималдылығын бағалайды. Келісім критерийлерінің ішіндегі жиі қолданылатын критерийлердің бірі – Пирсонның хи квадрат (χ^2) критерийі.

Пирсонның келісім критерийінде эмпирикалық және аналитикалық таралым заңдылықтарының өзара алшақтық мөлшерін бағалау үшін χ^2 – шамасы қолданылады. χ^2 шамасының тәжірибелік мәні төмендегі формула арқылы анықталады:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (5.1.10)$$

мұндағы $n = N = 115$, $n_i - i$ -ші интервалға түскен жүйелердің істен шығу сандары.

Формулада i -ші интервалға түсудің теориялық ықтималдылығы (P_i) келесі формуламен есептеледі:

$$p_i = e^{-\lambda t_i} - e^{-\lambda t_{i+1}} \quad (5.1.11)$$

мұндағы t_i және t_{i+1} - уақыт интервалының шекаралық мәндері.

χ^2 мәнін есептеу үшін 5.1.7 – кесте қолданылады.

Пайымдалған гипотезаны тексеру үшін, алдын ала тағайындалған маңыздылық деңгейі бойынша $\alpha = 0,05$ (әдетте маңыздылық деңгейінің мәндерін 0,1; 0,05; 0,01; 0,001 деп қабылдайды), A – қосымшасының $A1$ кестесінен ($k-\alpha-1$) еркіндік дәрежесіне сәйкес келетін χ_{α}^2 -таралымының мәнін анықтаймыз, (мұндағы a –теориялық таралымдағы бағаланатын параметрлердің сандары, k – интервалдар саны).

5.1.7-кесте

χ_0^2 мәнін есептеуге арналған мәліметтер

Δt_i	0-10	10-20	т.с.с.	100-110
n_i				
P_i				
$\frac{[n(\Delta t_i) - NP_i]^2}{NP_i}$				

Егерде табылған нәтижелер келесі шартты $\chi^2 > \chi^2_{\alpha}$ қанағаттандырса, онда эмпирикалық және теориялық таралымдардың арасындағы алшақтықтың маңызы жоғары, сол себептен сәйкестік гипотезасын қолдануға болмайды деген шешім қабылданады. Егерде келесі шарт $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha}$ орындалса, онда статистикалық мәліметтер таралымы біздің пайымдауымызға қайшы келмейді деген шешім қабылданады.

5.2. Жүйелердің істен шығу оқиғалары жөніндегі статистикалық мәліметтерді өңдеу (қалыпты заңдылықтың мысалы)

5.2.1. Бастапқы статистикалық мәліметтер

Істен шығу оқиғаларының таралым заңдылығын анықтау үшін, қалыпқа келтірілмейтін $N=844$ элементі сынақтан өткізілген. Сынақ нәтижесі $k = 18$ интервалға бөлініп, интервалдар ұзақтығын $\Delta x = 3$ сағ., деп алған. Әр интервалдарға сәйкес келетін істен шығу сандары n_i және интервалдардың шекаралық мәндері 5.2.1 – кестеде келтірілген.

5.2.1-кесте

Бастапқы статистикалық мәліметтер

Істен шығу №	Δx , сағ.	n_i	Істен шығу №	Δx , сағ.	n_i	Істен шығу №	Δx , сағ.	n_i
1	0-3	5	7	18-21	77	13	36-39	55
2	3-6	8	8	21-24	92	14	39-42	42
3	6-9	16	9	24-27	98	15	42-45	25
4	9-12	27	10	27-30	100	16	45-48	15
5	12-15	40	11	30-33	90	17	48-51	10
6	15-18	59	12	33-36	80	18	51-54	5

Жұмыс жоспары

- 1) Келтірілген статистикалық қатарға гистограмма тұрғызу және статистикалық қатарды қалыпты таралым заңдылығы мен аппроксимациялау.
- 2) Колмогоров критерийін қолданып, теориялық таралымның тәжірибелік таралымға сәйкестігін тексеру.

Жұмысты орындау барысы

5.2.2. Келтірілген статистикалық қатарға гистограмма тұрғызу және статистикалық қатарды қалыпты таралым заңдылығымен аппроксимациялау

Қалыпты заңдылықтың тығыздық функциясы

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5.2.1)$$

мұндағы m – математикалық күтім, σ – орта квадраттық ауытқу.

Қалыпты заңдылықта бағаланатын параметрлерге жататыны – математикалық күтім m және дисперсия D . Параметрлерді бағалаудың негізінде m және D мәндерін сәйкесінше статистикалық қатардың орта мәніне x^* және статистикалық дисперсияға D^* теңестіру жатыр. Статистикалық қатардың орта мәнін былайша анықтаймыз:

$$x^* = \sum_{i=1}^k x_i \omega_i^* \quad (5.2.2)$$

мұндағы k – интервалдар саны, x_i – i -ші интервалдың ортасына сәйкес келетін мән, ω_i^* – салыстырмалы жиілік, n_i -ің N - ға қатынасымен анықталады.

Статистикалық дисперсияны былайша анықтаймыз:

$$D^* = \sum_{i=1}^k (x_i - x^*)^2 \omega_i^* \quad (5.2.3)$$

Гистограмманы тұрғызу үшін және статистикалық параметрлерді бағалау үшін 5.2.2-кесте толтырылады. Гистограмма биіктігі келесі формула арқылы есептеледі (5.2.1-суретті қара).

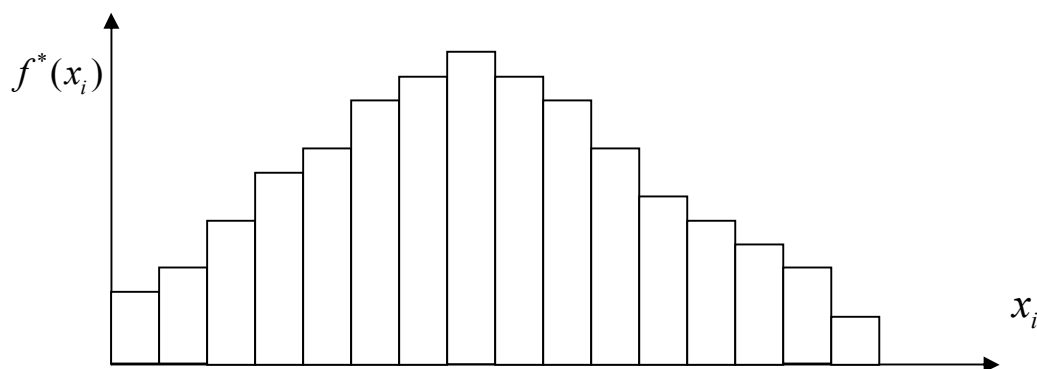
$$f^*(x_i) = \omega_i^* / \Delta x \quad (5.2.4)$$

5.2.2-кесте

Есептеу нәтижелері

№	Δx , сағ.	x_i	ω_i^*	$x_i \omega_i^*$	$(x_i - x^*) \omega_i^*$	$f^*(x_i)$	$f(x)$
1	0-3	1,5					
2	3-6	4,5					
...	...	...					
...	...	...					
18	51-54	52,5					
				$\sum_{i=1}^{18} x_i \omega_i^* =$	$\sum_{i=1}^{18} (x_i - x^*) \omega_i^* =$		

Егер x^* және D^* мәндері есептелген жағдайда, қалыпты заңдылықтың параметрлері былайша анықталады $m = x^*$ және $\sigma = \sqrt{D^*}$. Параметрлер анықталған жағдайда, теориялық функцияның мәндері (5.2.1) формуласы арқылы есептеліп, 5.2.2–кестесінің соңғы бағанына толтырылады. Гистограмма және аппроксимациялаушы қисық әдетте бір суретте бейнеленеді.



5.2.1-сурет. Гистограмма

5.2.3. Колмогоров критерийін қолданып, теориялық таралымның тәжірибелік таралымға сәйкестігін тексеру

Колмогоров критерийін қолдану барысында 5.2.3 – кесте толтырылады.

5.2.3-кесте

Колмогоров критерийін қолдануға мәліметтер

x_i	$F^*(x_i)$	$F(x_i)$	k
0	0	0,00307	0,00307
3	0,005924	0,00755	0,00163
6	0,015403	0,01659	0,00119
. . .	. . .	. . .	. . .
. . .	. . .	. . .	. . .
54	1	0,99693	0,00307

Кестедегі $F^*(x_i)$ функциясының интервалдар шекараларындағы мәндері көрші интервалдардағы салыстырмалы жиіліктердің қосындысы арқылы табылады.

$$F^*(x_i) = \sum_{j=1}^i \omega_j \quad (5.2.5)$$

Теориялық функцияның мәні $F(x_i)$ А – қосымшасындағы А2 -кестесінен алынады.

$$F(x_i) = \Phi(z) \quad (5.2.6)$$

мұнда
$$z = \frac{x_i - x^*}{\sigma}$$

Эмпирикалық $F^*(x_i)$ және теориялық $F(x_i)$ функцияларының интервалдар шекараларындағы айырымы $k_i = |F^*(x_i) - F(x_i)|$ табылып, 5.2.3 – кестесінің соңғы бағанына толтырылады. Айырымдар араларынан абсолюттік шама жағынан максимальдық мән таңдалып $k_{\max}$, келесі көмекші шама анықталады:

$$\lambda = k_{\max} \sqrt{n} \quad (5.2.7)$$

А қосымшасындағы А2 - кестесінен алдын ала тағайындалған сенімділік ықтималдылығы бойынша, көмекші шаманың кестелік мәнін λ_α табамыз. Егер салыстыру нәтижесі келесі шартты $\lambda \leq \lambda_\alpha$ қанағаттандырса, онда теориялық таралымның тәжірибелік таралымға сәйкестігі оң шешімін табады. Шарт орындалмаған жағдайда, гипотеза қабылданбайды.

5.3. Жел-мұз факторларының электр желісін апаттық күйге түсіру оқиғалары бойынша статистикалық талдау

Жұмыс жоспары:

- 1) Келтірілген статистикалық қатарды қолданып, жиілік полигонын тұрғызу.
- 2) Статистикалық қатарды дәрежелік модельді қолдану арқылы аппроксимациялау.
- 3) Таралым заңдылықтарының сәйкестігі туралы гипотезаны Пирсон критерийін қолдану арқылы тексеру.
- 4) Өңдеу нәтижелеріне талдау жасау.

5.3.1. Бастапқы мәліметтер

Электрмен жабдықтау жүйесінде сенімділік өзекті мәселелердің бірі. Сыртқы әсер етуші факторлар, мысалға желіге әсер етуші жел-мұз факторлары жүйені түрлі апаттық жағдайға әкелуі мүмкін. Сол себептен, түрлі кездейсоқ факторлардың әсерлері әдетте арнайы журналдарға тіркеледі. Жиналған ақпараттарды өңдеу нәтижесінде, жүйе сенімділігін көтеру шаралары жоспарланады.

Төменде сондай статистикалық мәліметтердің бірі келтірілген /12/. Мәліметтер жел-мұз факторларының желіні апаттық күйге түсіру оқиғаларын сипаттайды. Бұл жағдайда, электрмен жабдықтау жүйесінің сенімділігі келесі шарт арқылы айқындалады:

$$T_{\Sigma} < t_{kp} \quad (5.3.1)$$

мұндағы T_{Σ} – электрмен жабдықтау жүйесіндегі желіге мұз қату салдарынан туындайтын апаттық жағдайдың алдын алу шараларын ұйымдастыруға қажетті уақыт мөлшері, t_{kp} – желіге алғашқы мұз қату уақытынан бастап, желінің апатқа ұшырау уақытының араларындағы мерзім. t_{kp} – уақытының сандық мәндері жинақталған статистикалық қатарды өңдеу нәтижесінде анықталады.

t_{kp} – уақыты жөніндегі алғашқы жинақталған статистикалық ақпараттар $k = 20$ интервалға бөлініп (интервалдар ұзақтығын 12 сағ. деп алған), әр интервалдарға сәйкес келетін істен шығу сандары n_i және интервалдардың шекаралық мәндері 5.3.1 – кестеде келтірілген.

5.3.2. Статистикалық деректерді өңдеу

Егер 5.3.1-кестені пайдаланып жиілік полиномын тұрғызсақ, полином көрнекті болып шықпайды (өздерің тұрғызып көріңдер). Полигон статистикалық заңдылықты мейлінше көрнекті сипаттауы үшін, интервалдар санын азайтқан жөн. Әдетте интервалдар саны 6-дан кем және 20-дан артпауы тиіс. Біздің жағдайымызда интервалдар санын 10-ға дейін кемітіп, түрлендірілген 5.3.2-кестесін толтыру қажет.

5.3.1-кесте

Бастапқы статистикалық мәліметтер

№	Δt_{kp} сағ.	n_i	№	Δt_{kp} сағ.	n_i	№	Δt_{kp} сағ.	n_i
1	0-12	494	8	84-96	15	15	168-180	4
2	12-24	167	9	96-108	6	16	180-192	3
3	24-36	52	10	108-120	7	17	192-204	1
4	36-48	41	11	120-132	6	18	204-216	3
5	48-60	24	12	132-144	1	19	216-228	1
6	60-72	13	13	144-156	9	20	228-240	4
7	72-84	17	14	156-168	7	$\sum_{i=1}^{20} n_i = 875$		

5.3.2-кестеде t_{kp} – реттелген қатарды береді, n_i – қатар жиілігі, $n_{\Sigma i}^*$ – жинақталған (накопленная) статистикалық жиілік, $n_{\Sigma i}$ – теориялық жиілік. Кестеде сонымен қатар χ_0^2 – мәнін есептеуге қажетті баған берілген.

5.3.2-кесте

Сығылған статистикалық қатар

№	t_{kp} , сағ.	n_i	$n_{\Sigma i}^*$	$n_{\Sigma i}$	$\chi_{0i}^2 = \frac{(n_{\Sigma i}^* - n_{\Sigma i})^2}{n_{\Sigma i}}$
1	24	661	661		
2	48	93	754		
3	72	37	791		
.	.	.	.		
.	.	.	.		
.	.	.	.		
10	240	5	875		
					$\chi_0^2 =$

Статистикалық заңдылықты аналитикалық сипаттау үшін келесі заңдылықты пайдаланайық:

$$n_{\Sigma i} = at_{kpi}^v \quad (5.3.2)$$

мұндағы a және v – бағаланатын таралым параметрлері.

Бұл параметрлер 5.3.2 – кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, былайша анықталады. Егер (5.3.2) – өрнегін логарифмдесек, алатынымыз:

$$\lg n_{\Sigma i} = \lg a + v \lg t_{kpi} \quad (5.3.3)$$

(5.3.3) – өрнекте $n_{\Sigma i}$ және t_{kpi} айнымалыларына кестеден ($n_{\Sigma i}^*$ бағаны бойынша) бастапқы және соңғы жолдарға сәйкес келетін мәндерін қойсақ

$$\lg 661 = \lg a + v \lg 24 \quad (5.3.4)$$

$$\lg 875 = \lg a + v \lg 240 \quad (5.3.5)$$

бұдан белгісіз параметрлердің мәндері былайша анықталады

$$v = \frac{\lg 661 - \lg 875}{\lg 24 - \lg 240} \quad (5.3.6)$$

$$a = 10^{(\lg 661 - v \lg 24)} \quad (5.3.7)$$

(5.3.6) және (5.3.7) формулалары арқылы a және V параметрлерін тауып, 5.3.2-кестенің сәйкесінше бағаналары толтырылады. $n_{\Sigma i}^*$ және $n_{\Sigma i}$ таралымдарының араларындағы сәйкестік Пирсонның хи - квадрат критерийі арқылы тексеріледі:

$$\chi_0^2 = \sum_1^k \frac{(n_{\Sigma i}^* - n_{\Sigma i})^2}{n_{\Sigma i}} \quad (5.3.8)$$

Тексеру барысында маңыздылық деңгейін $\alpha = 0.05$ тең деп алу қажет. Егер пайымдалған гипотеза оң шешімін тапқан жағдайда, өңдеу нәтижелеріне талдау жасаңдар. Егер пайымдалған гипотеза оң шешімін таппаса, онда дәрежелік модельден басқа заңдылықты пайдаланып көріңдер.

Қорытынды

Қазіргі таңда техникалық жабдықтардың атқаратын функцияларына қойылатын талаптардың қатандығына байланысты, сенімділік ғылымының мәні өте зор. Сол себептен, техникалық жүйелердің сенімділігін қамтамасыз ету, сенімділік теориясында қарастырылатын тәсілдерді іс жүзінде жүйе сенімділігін жоғарылатуда қолдана білетін мамандарды даярлау қазіргі кездегі өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Осыған орай, ұсынылып отырған оқу құралының мақсаты, оқырмандарды сенімділік ғылымында қарастырылатын негізгі мәселелерімен таныстыру, пәнді оқу барысында алған теориялық білімдерін практикалық есептер шығару арқылы шыңдау және көңілдеріне түйген білімдерін іс жүзінде жүйелердің сенімділігін бағалай білуге, есептей білуге, жүйелерді сенімділік сынақтарынан өткізе білуге, сонымен қатар жүйелердің сенімділігін жоғарылату шараларын ұйымдастыра білуге баулу болып табылады.

Ұсынылып отырған оқу құралында сенімділік теориясында қарастырылатын негізгі түсініктемелер мен анықтамалар берілген. Жүйелердің (элементтердің) сенімділігін анықтаудың ықтималдылық және статистикалық тәсілдері қарастырылған, жүйелерді сенімділікке есептеудің түрлі жолдары қамтылған. Әрбір тақырыпшалардың аяғында баяндалған мәселелерді өз бетінше пысықтауға арналған бақылау сұрақтары берілген.

Жүйелерді сенімділік сынағынан өткізу, сенімділік теориясының және практикасының негізгі мәселелерінің бірі. Сол себептен оқу құралында сенімділік сынағын тиімді түрде жоспарлау, алынған сенімділік сынағының нәтижелерін өңдеу және сенімділік көрсеткіштерін бағалау мәселелеріне де көңіл бөлінген. Сол сияқты, сенімділікті жоғарылату мақсатында қолданылатын – жүйелерді резервтеудің түрлі тәсілдері және резервтелген жүйелердің сенімділігін есептеу мәселелері де қарастырылған.

Жүйелерді эксплуатациялау кезіндегі сенімділікті талдау өзекті мәселелердің бірі. Бұл тараптан оқу құралында негізінен профилактикалық қызмет көрсету мерзімдерін (периодын) оптимизациялау мәселелеріне кең түрде көңіл бөлінген. Сонымен қатар, электр энергетикалық жүйе элементтерінің істен шығуларының негізгі себептері талданып, электр шаруашылығын эксплуатациялау кезінде қойылатын негізгі қауіпсіздік талаптары келтірілген.

Оқу құралында қарастырылған теориялық мәліметтерді пысықтау мақсатында, әр тараудың аяғында мысалдар талданып, көптеген есептер топтамасы берілген. Есептерді шығаруда пайдаланылатын көптеген анықтамалар оқу құралының қосымшасында келтірілген. Бұл тұрғыдан алғанда құралды автономды деуге де болады, яғни басқа оқулықтарға тәуелсіз. Сондай-ақ, студенттер мен магистранттардың өздік жұмыстары ретінде істелетін, сенімділік сынағының нәтижелерін (статистикалық деректерді) математика-статистикалық тәсілмен өңдеуге арналған арнайы тарау қарастырылған.

Оқу құралы құрылымы жағынан түрлі оқулықтарда қарастырылатын сенімділіктің негізгі мәселелерін толығымен қамтиды десе де болады. Бірақ та, оқу құралы кемшіліксіз деуге болмайды, айта кетсек, оқу құралында сенімділіктің экономикалық тұрғыдағы талдану мәселелеріне көңіл бөлінбеген. Әрине, бұл мәселеге келешекте көңіл бөлу қажеттілігі туындайды. Сондай-ақ, оқырмандар тарапынан оқу құралында кездесіп жатқан кемшіліктерге түзетулер және басқадай ұсыныстар болған жағдайда, ондай олқылықтар келешекте толығымен ескеріледі.

Библиографиялық тізім

1. Савоськин Н. Е. Надежность электрических систем: /Учеб. пособие/. - Пенза: Пензенский государственный университет, 2004. – 100 с.
2. Плиско А. Л, Александров Д. С. Основы теории и расчета надежности систем электроснабжения. /методические указания к решению задач по курсу «Основы теории и расчета надежности систем электроснабжения»/. - Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 29 с.
3. Гук Ю. Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. –Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 217 с.
4. Гук Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике. /Учеб. пособие /. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
5. Китушин В. Г. Надежность энергетических систем. /Учеб. пособие /. – М.: «Высшая школа», 1984. – 256 с.
6. Розанов М. Н. Надежность электроэнергетических систем. –М.: «Энергия», 1974. – 170 с.
7. Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности. –М.: «Высшая школа», 1977. – 159 с.
8. Певзнер Л. Д. Примеры и упражнения по теории надежности. /Учеб. пособие /. - М.: Горный институт, 1976. – 123 с.
9. Козлов Б. А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики.- М.: «Советское радио», 1975. – 363 с.
10. Маликов И. М., Половко А.М. Количественные характеристики надежности. - Л.: «Знание», 1968. – 35 с.
11. Ястребенецкий М. А., Иванова Г. М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. –М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
12. Дьяков А. Ф. Системный подход к проблеме предотвращения и ликвидации гололедных аварий в энергосистемах. –М.: Энергоатомиздат, 1987. – 161 с.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. –М.: Наука, 1972
14. Крамер Г. Математические методы статистики. –М.: Мир, 1976.
15. Джаманбаев М. А. Учебное пособие по курсу «Надежность систем управления». – Алматы.: АТУ, 2002. – 80 с.
16. Джаманбаев М. А. Басқару жүйелерінің сенімділігі /практикалық сабақтарға арналған әдістемелік нұсқау/. –Алматы.: ҚазҰТУ, 2006.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	3
1. Ықтималдылық теориясынан және математикалық статистикадан қысқаша мағлұматтар	5
1.1. Оқиғалар және олардың ықтималдылықтары.....	5
1.2. Кездейсоқ шамалар және олардың таралым заңдылықтары.....	7
1.3. Математикалық статистика элементтері	9
1.4. Таралым туралы гипотезаны тексеру	12
2. Сенімділік теориясының негіздері	14
2.1. Негізгі терминдер мен анықтамалар	14
2.2. Сенімділік теориясында кездесетін негізгі таралым Заңдылықтары	18
2.3. Сенімділіктің көрсеткіштері	22
2.4. Локальдық жүйелердің сенімділігін есептеу тәсілдері. Жүйелерді резервтеу	39
2.5. Сенімділік сынақтары. Сынақ нәтижелері бойынша сенімділікті бағалау.....	62
2.6. Сенімділік көрсеткіштерін нүктелік және интервалдық тәсілдермен бағалау.....	69
2.7. Электр энергиясын тарату торабының сенімділік көрсеткіштерін анықтау.....	76
3. Эксплуатациялық сенімділіктің негізгі мәселелері.....	90
3.1. Жалпы энергетикалық жүйе және оның элементтері.....	90
3.2. Электр энергетикалық жүйе элементтерінің істен шығуларының негізгі себептері.....	92
3.3. Сенімділікті қамтамасыз ету тәсілдері мен жабдықтары.....	95
3.4. Жүйелерге профилактикалық қызмет көрсету.....	96
3.5. Профилактикалық қызметтің оптималды периодтылығы.....	100
3.6. Электр шаруашылығын эксплуатациялау кезіндегі қойылатын негізгі қауіпсіздік талаптары	104
4. Теориялық материалдарды пысықтауға арналған практикалық жаттығулар.....	108
4.1. Жүйелердің сенімділік көрсеткіштерінің сандық мәндерін анықтау	108
4.2. Сынақ нәтижелері бойынша жүйе сенімділігін бағалау	113
4.3. Күрделі жүйелердің сенімділігін есептеу.....	123
4.4. Жүйелерге профилактикалық қызмет көрсету	134
5. Қарапайым статистикалық зерттеу жұмыстарын орындауға арналған жаттығулар.....	140
5.1. Жүйелердің істен шығу оқиғалары жөніндегі статистикалық мәліметтерді өңдеу (экспоненциалдық заңдылықтың мысалы).....	140
5.1.1. Істен шығу уақытының кестесін құру және диаграммасын тұрғызу.....	140

5.1.2.	Статистикалық мәліметтерді өңдеуге даярлау және эмпирикалық заңдылықтарды тұрғызу.....	142
5.1.3.	Істен шығу қарқынының уақытқа тәуелділігін тұрғызу	144
5.1.4.	Эмпирикалық функцияларды аналитикалық заңдылықтармен аппроксимациялау.....	145
5.1.5.	Эмпирикалық және аналитикалық таралым заңдылықтарының сәйкестігі туралы гипотезаны тексеру	147
5.2.	Жүйелердің істен шығу оқиғалары жөніндегі статистикалық мәліметтерді өңдеу (қалыпты заңдылықтың мысалы)	148
5.2.1.	Бастапқы статистикалық мәліметтер	148
5.2.2.	Келтірілген статистикалық қатарға гистограмма тұрғызу және статистикалық қатарды қалыпты таралым заңдылығымен аппроксимациялау.....	149
5.2.3.	Колмогоров критерийін қолданып, теориялық таралымның тәжірибелік таралымға сәйкестігін тексеру	150
5.3.	Жел-мұз факторларының электр желісін апаттық күйге түсіру оқиғалары бойынша статистикалық талдау.....	151
5.3.1.	Бастапқы мәліметтер	151
5.3.2.	Статистикалық деректерді өңдеу	152
	Қорытынды	155
	Библиографиялық тізім	157
	А ҚОСЫМШАСЫ	160
	Б ҚОСЫМШАСЫ	163

А - ҚОСЫМШАСЫ

А.1-кесте

χ^2 -таралымның еркінділік дәрежесі бойынша квантильдері

Еркінділік дәрежесі	Маңыздылық деңгейі $(1 - \alpha)$			
	0,1	0,05	0,01	0,001
1	2,71	3,84	6,63	10,8
2	4,61	5,99	9,21	13,8
3	6,25	7,81	11,3	16,3
4	7,78	9,49	13,3	18,5
5	9,24	11,1	15,1	20,5
6	10,6	12,6	16,8	22,5
7	12,0	14,1	18,5	24,3
8	13,4	15,5	20,1	26,1
9	14,7	16,9	21,7	27,9
10	16,0	18,3	23,2	29,6
11	17,3	19,7	24,7	31,3
12	18,5	21,0	26,2	32,9
13	19,8	22,4	27,7	34,5

А.2-кесте

Колмогоров таралымының квантильдері

α	$\lambda_{1-\alpha}$		α	$\lambda_{1-\alpha}$		α	$\lambda_{1-\alpha}$
0,99	0,44		0,50	0,83		0,15	1,14
0,90	0,57		0,40	0,89		0,1	1,22
0,80	0,64		0,30	0,97		0,05	1,36
0,70	0,71		0,25	1,02		0,02	1,52
0,60	0,77		0,20	1,07		0,01	1,63

А.3-кесте

Стьюдент таралымының еркінділік дәрежесі бойынша квантильдері

Еркіндік дәрежесі	Маңыздылық деңгейі $(1 - \alpha)$							
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	318,3	636,61
2	1,89	2,92	4,3	6,96	9,92	14,09	22,33	31,6
3	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	10,21	12,92
4	1,53	2,13	2,78	3,75	4,6	5,6	7,17	8,61
5	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03	4,77	5,89	6,87
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,21	5,96
7	1,41	1,89	2,36	3,0	3,5	4,03	4,79	5,41
8	1,4	1,86	2,31	2,9	3,36	3,83	4,5	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,3	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,14	4,59

А.4-кесте

Қалыпты таралымының квантильдері

α	u_α	α	u_α	α	u_α
0,5	0,000	0,68	0,468	0,86	1,08
0,51	0,025	0,69	0,496	0,87	1,126
0,52	0,051	0,7	0,524	0,88	1,175
0,53	0,075	0,71	0,553	0,89	1,227
0,54	0,1	0,72	0,583	0,9	1,281
0,55	0,125	0,73	0,613	0,91	1,341
0,56	0,15	0,74	0,643	0,92	1,405
0,57	0,176	0,75	0,674	0,93	1,476
0,58	0,202	0,76	0,706	0,94	1,555
0,59	0,228	0,77	0,739	0,95	1,645
0,6	0,254	0,78	0,772	0,96	1,751
0,61	0,279	0,79	0,806	0,97	1,881
0,62	0,308	0,8	0,842	0,98	2,054
0,63	0,332	0,81	0,878	0,99	2,236
0,64	0,358	0,82	0,915	0,999	3,09
0,65	0,385	0,83	0,954	0,9999	3,72
0,66	0,412	0,84	0,955	0,99999	4,265
0,67	0,44	0,85	1,036		

А.5-кесте

Қалыпты таралым функциясы $\Phi(z)$

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0.5	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
0,1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
0,2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61026	.61409
0,3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
0,4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793
0,5	.69146	.69497	.69847	.70194	.70540	.70884	.71226	.71566	.71904	.72240
0,6	.72575	.72907	.73237	.73565	.73891	.74215	.74537	.74857	.75175	.75490
0,7	.75804	.76115	.76424	.76730	.77035	.77337	.77637	.77935	.78230	.78524
0,8	.78814	.79103	.79389	.79673	.79955	.80234	.80511	.80785	.81057	.81327
0,9	.81594	.81859	.82121	.82381	.82639	.82894	.83147	.83398	.83646	.83891
1,0	.84134	.84375	.84614	.84850	.85083	.85314	.85543	.85769	.85993	.86214
1,1	.86433	.86650	.86864	.87076	.87286	.87493	.87698	.87900	.88100	.88298
1,2	.88493	.88686	.88877	.89065	.89251	.89435	.89617	.89796	.89973	.90147
1,3	.90320	.90490	.90658	.90824	.90988	.91149	.91308	.91466	.91621	.91774
1,4	.91924	.92073	.92220	.92364	.92507	.92647	.92786	.92922	.93056	.93189
1,5	.93319	.93448	.93574	.93699	.93822	.93943	.94062	.94179	.94295	.94408
1,6	.94520	.94630	.94738	.94845	.94950	.95053	.95154	.95254	.95352	.95449
1,7	.95543	.95637	.95728	.95818	.95907	.95994	.96080	.96164	.96246	.96327
1,8	.96407	.96485	.96562	.96638	.96712	.96784	.96856	.96926	.96995	.97062
1,9	.97128	.97193	.97257	.97320	.97381	.97441	.97500	.97558	.97615	.97670
2,0	.97725	.97778	.97831	.97882	.97932	.97982	.98030	.98077	.98124	.98169
2,1	.98214	.98257	.98300	.98341	.98382	.98422	.98461	.98500	.98537	.98574
2,2	.98610	.98645	.98679	.98713	.98745	.98778	.98809	.98840	.98870	.98899

А. 5-кестесінің жалғасы

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,3	.98928	.98956	.98983	.99010	.99036	.99061	.99086	.99111	.99134	.99158
2,4	.99180	.99202	.99224	.99245	.99266	.99286	.99305	.99324	.99343	.99361
2,5	99379	99396	99413	99430	99446	99461	99477	99492	99506	99520
2,6	99534	99547	99560	99573	99585	99598	99609	99621	99632	99643
2,7	99653	99664	99674	99683	99693	99702	99711	99720	99728	99736
2,8	99744	99752	99760	99767	99774	99781	99788	99795	99801	99807
2,9	99813	99819	99825	99831	99836	99841	99846	99851	99856	99861
3,0	99865	99869	99874	99878	99882	99886	99889	99893	99896	99900
3,1	99903	99906	99910	99913	99916	99918	99921	99924	99926	99929
3,2	99931	99934	99936	99938	99940	99942	99944	99946	99948	99950
3,3	99952	99953	99955	99957	99958	99960	99961	99962	99964	99965
3,4	99966	99968	99969	99970	99971	99972	99973	99974	99975	99976
3,5	99977	99978	99978	99979	99980	99981	99981	99982	99983	99983
3,6	99984	99985	99985	99986	99986	99987	99987	99988	99988	99989
3,7	99989	99990	99990	99990	99991	99991	99992	99992	99992	99992
3,8	99993	99993	99993	99994	99994	99994	99994	99995	99995	99995
3,9	99995	99995	99996	99996	99996	99996	99996	99996	99997	99997
4	99997	99998	99999	99999	99999	-	-	-	-	-

Б - ҚОСЫМШАСЫ

Б.1-кесте

Трансформаторлар мен желілердің сенімділік көрсеткіштері және жоспарлы түрдегі жөндеулердің уақыттары /6/

Элемент атаулары	Істен шығу ағындарының параметрлері W , л/жыл	Қалыпқа келтіру уақыты, $t_{\text{қк}}$, сағ.	Жоспарлы түрдегі жөндеулердің жиілігі, μ , л/жыл	Жоспарлы түрдегі жөндеулердің ұзақтығы, $T_{\text{пр}}$, сағ.
<i>Жоғарғы кернеулі трансформаторлар, кВ</i>				
500	0,03	300	1	60
330	0,025	300	1	50
220	0,02	250	1	40
110	0,015	200	1	30
35 – 20	0,02	150	1	30
6 – 10 кабельдік торап	0,005	100	0,5	10
6 – 10 әуе торабы	0,05	100	0,5	10
<i>Әуе желілері, кВ</i>				
Металды немесе темір-бетонды тіректер үшін				
500	0,4	20	10	8
300	0,5	18	8	8
220	0,7	16	6	8
110	1	14	5	8
35	2	12	5	8
Ағаш тіректер үшін				
110	0,5	10	7	8
35	1,2	8	6	8
10	2	5	4	8
<i>Кабельдер, кВ</i>				
6 – 10 топырақта	3	40	1	8
6 – 10 блокта	0,5	5	1	8

Төменде ажыратқыштардың сенімділік көрсеткіштері келтірілген. Ажыратқыштардың істен шығу ағындарының параметрі әдетте екі құрамдық

бөліктен тұрады. Біріншісі ω_1 – қысқа тұйықталуды ажырату сандарымен анықталса, екіншісі ω_1 – ажыратқыштарға қосылған электр энергиясын тасымалдаушы желілердің ұзақтығына (ℓ , км.) пропорционал анықталады десе де болады, яғни

$$\omega_B = \omega_1 + \omega_2 \frac{\ell}{100}$$

Б. 2-кесте

Ажыратқыштардың сенімділігі

Кернеу, кВ	Ажыратқыш типі	Істен шығу ағындары параметрінің құрамдық бөліктері, 1/жыл		Қалыпқа келтіру уақыты, $t_{\text{қк}}$, сағ.	Жоспарлы түрдегі жөндеулердің жиілігі, μ , 1/жыл	Жоспарлы түрдегі жөндеулердің ұзақтығы, $T_{\text{пр}}$, сағ.
500 } 300 } 220 } 110 } 35 }	Ауалы	0,04	0,01	250	0,3	500
		0,03	0,01	200	0,3	350
		0,025	0,01	150	0,3	250
		0,02	0,012	100	0,3	180
		0,015	0,015	70	0,3	120
220 } 110 } 35 }	Майлы	0,02	0,005	70	0,3	120
		0,015	0,007	50	0,3	100
		0,01	0,01	30	0,3	80
6-10	Кабельдік тораптар	0,005	-	10	0,3	8
6-10	Әуе тораптары	0,01	-	10	0,3	8

Оқулық басылым

Мұратқали Абенұлы Джаманбаев

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ СЕНІМДІЛІГІ

Оқу құралы

РБ бастығы

Редакторы

Компьютерде беттеген

З. Ғұбайдулина

А. Бейсебаева

Д.Ш. Тажиева

Басуға қол қойылды 26.02.2014 ж.

Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84x 1/16. № 1 баспаханалық қағаз.

Көлемі 10,3 е.б.т. Ш.б.т. 9,6. Тапсырыс № 4. Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,

Оқу-баспа орталығы,

Алматы қ. Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-602-1

