

Дәріс 4. Бірпроцессорлы жоспарлау

4.1. Процессорді жоспарлау типтері

Ұзақ мерзімді жоспарлау

Орта мерзімді жоспарлау

Қысқа мерзімді жоспарлау

4.2. Қысқамерзімді жоспарлау критерийлері

4.3. Жоспарлау алгоритмдері

Бірінші қабылданды - бірінші қызмет көрсетілді

Дөңгелек жоспарлау

Ең қысқа процесті таңдау

Ең аз қалған уақыт

Ең жоғары кері байланыс

Басымдықтың төмендеуі

4.4. Өнімділікті салыстыру

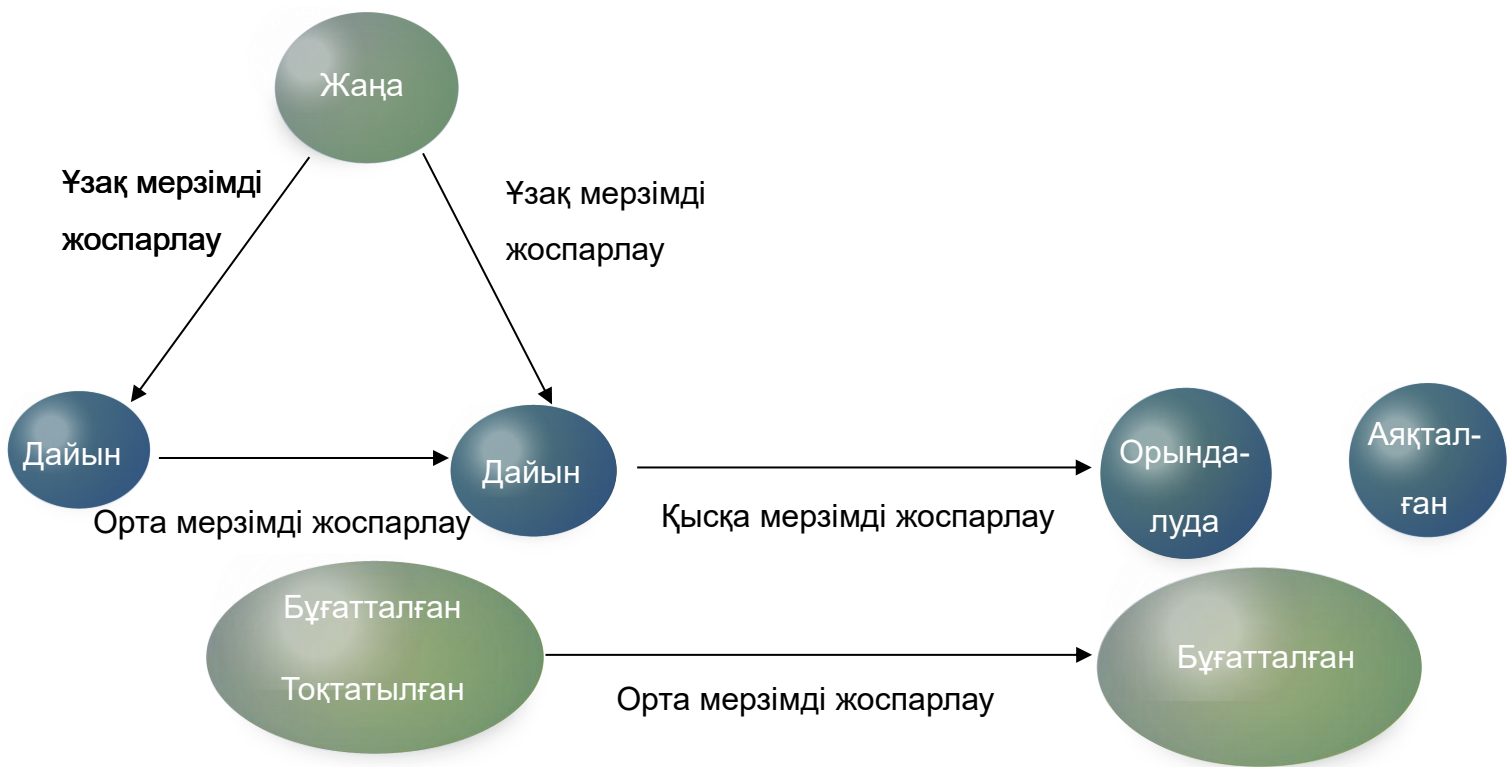
4.1. Процессорды жоспарлау түрлері

Көп функциялы жүйелерде негізгі жад бір уақытта бірнеше процестердің кодын қамтиды. Әр процестің жұмысында процессорды пайдалану кезеңдері кіріс-шығыс операцияларын аяқтау сияқты кейбір оқиғаларды күтумен ауысады. Процессор (немесе процессорлар) бір процесті орындаумен айналысады, ал қалғандары күту күйінде болады. Көп тапсырманың кілті – жоспарлау болып табылады.

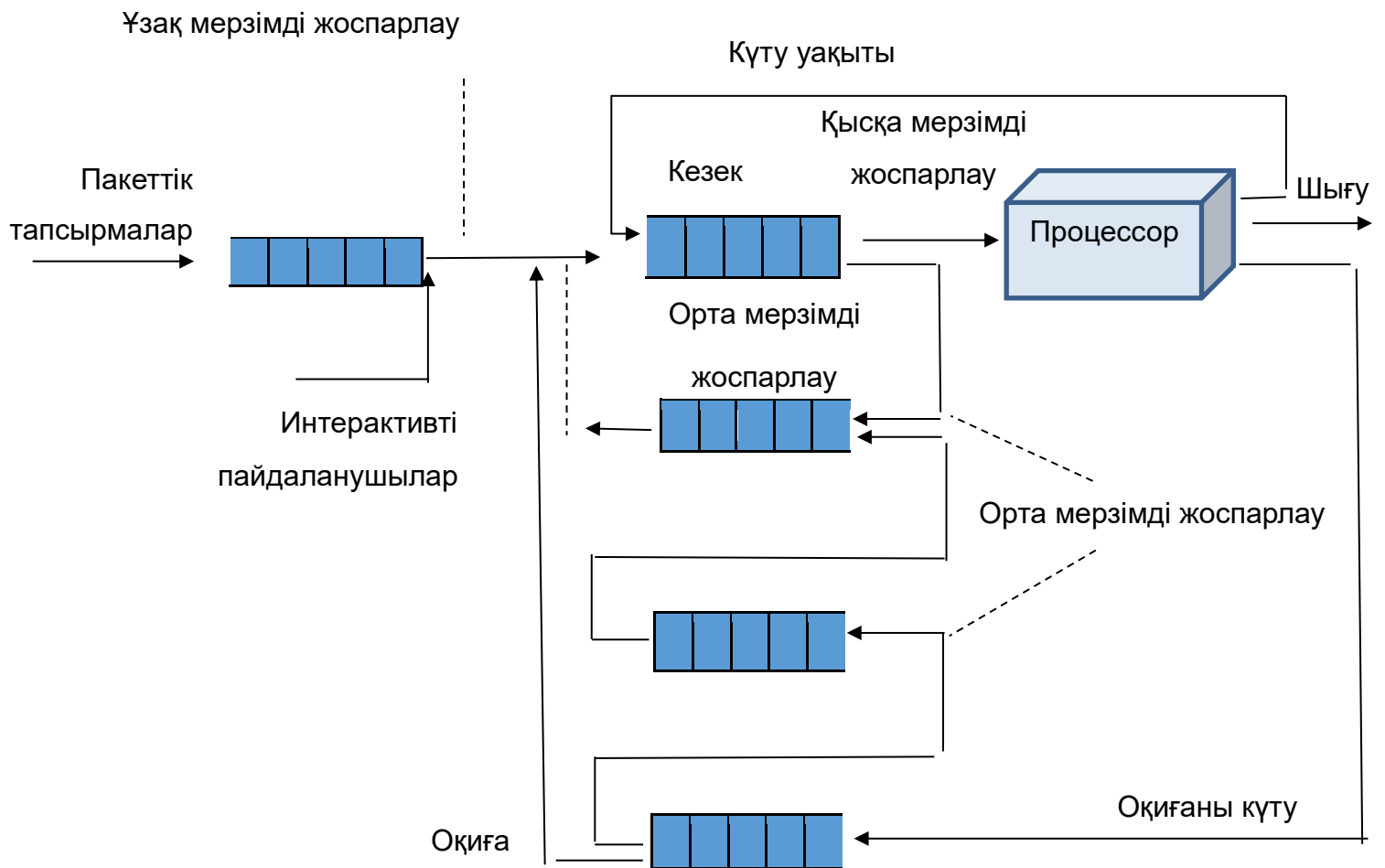
Процессорды жоспарлаудың мақсаты – процессордың (немесе процессорлардың) жауап беру уақыты, өткізу қабілеті және процессордың тиімділігі сияқты жүйенің талаптарын қанағаттандыру үшін орындалатын процестерді уақыт бойынша бөлу. Көптеген жүйелерде жоспарлау үш бөлек функцияға бөлінеді – ұзақ мерзімді, орта мерзімді және қысқа мерзімді жоспарлау. Олардың атаулары осы функциялардың орындалу уақытына сәйкес келеді.

4.1-суретте жоспарлау функциялары процесс күйінің ауысу диаграммасына қосылған. Ұзақ мерзімді жоспарлау жаңа процесті құру кезінде жүзеге асырылады және қазіргі уақытта белсенді процестердің жиынтығына жаңа процесті қосу туралы шешім болып табылады. Орта мерзімді жоспарлау свопингтің бөлігі болып табылады және процесті кем дегенде ішінара негізгі жадта орналасқан (сондықтан орындау үшін қол жетімді) процестерге қосу туралы шешім болып табылады. Қысқа мерзімді жоспарлау - бұл дайын процестердің қайсысы орындалатыны туралы шешім.

Жоспарлау жүйенің жұмысына үлкен әсер етеді, өйткені ол қай процестің орындалатынын және қайсысы орындалатынын анықтайды. Бұл көзқарас 4-суретте бейнеленген, онда процестің күйлерінің ауысу диаграммасына енгізілген кезектер көрсетілген.



Сурет. 4.1. Процесс күйлерінің ауысу диаграммасындағы жоспарлау орны



Сурет. 4.2. Кезек қатысатын жоспарлау диаграммасы

Ұзақ мерзімді жоспарлау

Ұзақ мерзімді жоспарлау жүйенің қандай бағдарламаларды орындауға рұқсат етілетінін анықтайды және сол арқылы көп тапсырма дәрежесін анықтайды. Орындауға рұқсат етілгеннен кейін, тапсырма (немесе пайдаланушы бағдарламасы) қысқа мерзімді жоспарлау үшін кезекке қосылатын процесс болады. Жаңа процесті қашан құру керектігі туралы шешім, әдетте, көп айналымның қажетті деңгейімен анықталады. Неғұрлым көп процестер жасалса, олардың әрқайсысын орындауға аз уақыт жұмсалады. Осылайша, ұзақ мерзімді жоспарлаушы қазіргі процестер жиынтығына қызмет көрсетудің қанағаттанарлық деңгейін қамтамасыз ету үшін көп мақсатты деңгейді шектей алады. Тапсырманы аяқтаған сайын жоспарлаушы жүйеге бір немесе бірнеше жаңа процестерді қосу керек пе, жоқ па, соны шешеді. Жүйеге қандай тапсырмаларды қосу керек екендігі туралы шешім "бірінші болып қабылданды - бірінші қызмет көрсетілді" қарапайым принципіне негізделуі мүмкін.

Орта мерзімді жоспарлау

Орта мерзімді жоспарлау свопинг жүйесінің бөлігі болып табылады. Әдетте, процесті жадқа жүктеу туралы шешім көп тапсырма дәрежесіне байланысты қабылданады; сонымен қатар, виртуалды жады жоқ жүйеде орта мерзімді жоспарлау жадты басқару мәселелерімен де тығыз байланысты. Осылайша, процесті жадқа жүктеу туралы шешім түсірілген процестің жадына қойылатын талаптарды ескеруі керек.

Қысқа мерзімді жоспарлау

Жоспарлаушының жұмыс жиілігін ескере отырып, ұзақ мерзімді жоспарлау салыстырмалы түрде сирек кездеседі, жаңа процесті қабылдау керек пе, жоқ па деген үлкен шешім қабылдайды. Орта мерзімді жоспарлау біршама жиі жұмыс істейді және свопинг туралы шешім қабылдайды. Қысқа мерзімді жоспарлаушы, сондай-ақ диспетчер (dispatcher) ретінде белгілі, көбінесе ең "ұсақ түйіршікті" деңгейде жұмыс істейді, келесі процестің қандай болатындығын анықтайды.

Қысқа мерзімді жоспарлаушы ағымдағы процесті тоқтата алатын немесе осы процесті басқа біреудің пайдасына тоқтатуға мүмкіндік беретін оқиға болған кезде шақырылады. Міне, осындай оқиғалардың кейбір мысалдары:

- Таймерді үзу;
- Кіріс - шығыс үзілістері;
- Операциялық жүйенің қоңыраулары;
- Сигналдар (мысалы, семафорлар).

4.2. Қысқа мерзімді жоспарлау критерийлері

Қысқа мерзімді жоспарлаудың негізгі мақсаты-процессордың уақытын жүйенің мінез-құлқының бір немесе бірнеше аспектілерін оңтайландыру үшін бөлу. Жалпы алғанда, жоспарлаудың әртүрлі стратегияларын бағалаудың көптеген критерийлері бар. 4.1-кестеде жоспарлаудың негізгі критерийлері көрсетілген. Олардың барлығы бір-біріне тәуелді және олардың әрқайсысы үшін бір уақытта оңтайлы нәтижеге қол жеткізу мүмкін емес. Мысалы, қанағаттанарлық жауап беру алгоритмді жоғары ауысу жылдамдығымен қолдануды қажет етуі мүмкін, бұл үстеме шығындарды арттырады және сәйкесінше жүйенің өткізу қабілетін төмендетеді. Жоспарлау стратегиясын әзірлеу қарама-қайшылықты талаптар арасында ымыраға келуді білдіреді.

Кесте 4.1. Жоспарлау критерийлері

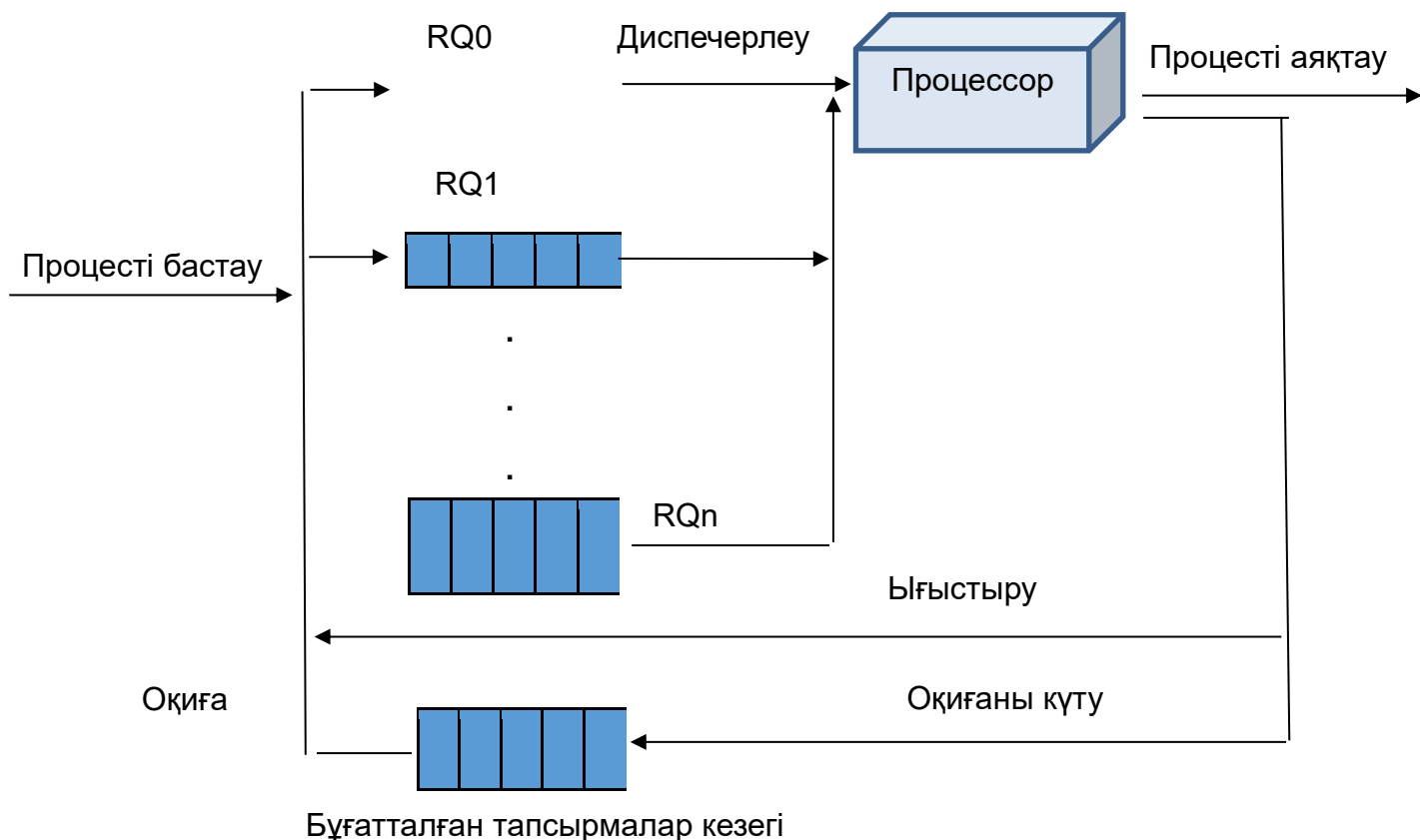
Өнімділікке байланысты пайдаланушы	
Айналым уақыты	Процестің орындалуы мен аяқталуы арасындағы уақыт аралығы. Ол жұмыс уақытын, сондай-ақ ресурстарды, соның ішінде процессорды күтуге кететін уақытты қамтиды.
Жауап беру уақыты	Интерактивті процестерде бұл сұрау салу мен оған жауап алудың басталуы арасындағы уақыт. Жоспарлау стратегиясы жауап беру уақытын белгіленген шектерден аспайтын интерактивті пайдаланушылар санын көбейту кезінде жауап алу уақытын қысқартуға тырысуы керек.

Шекті мерзім	Процесті аяқтаудың шекті мерзімін көрсеткен кезде жоспарлау оған мерзімде аяқталатын процестер санын көбейтудің барлық басқа мақсаттарын бағындыруы керек.
Пайдаланушылық, басқа	
Болжамдылық	Бұл тапсырма жүйенің жүктелуіне қарамастан шамамен бірдей уақыт аралығында және бірдей бағамен орындалуы керек.
Өнімділікке байланысты жүйелік	
Өткізу қабілеті	Жоспарлау стратегиясы уақыт бірлігінде аяқталатын процестердің санын көбейтуге тырысуы керек, бұл орындалған жұмыс жүйесі санының өлшемі.
Процессорды пайдалану	Бұл көрсеткіш процессордың бос емес уақыт пайызын білдіреді. Ортақ қымбат жүйелер үшін бұл өлшем өте маңызды.
Жүйелік, басқа да	
Бейтараптық	Пайдаланушыдан немесе жүйеден қосымша нұсқаулар болмаған жағдайда, барлық процестер баламалы ретінде қарастырылуы керек және ешқандай процесс аштыққа ұшырамауы керек
Басымдықтарды пайдалану	Егер процестерге басымдық берілсе, жоспарлау стратегиясы жоғары басымдыққа ие процестерге артықшылық беруі керек.
Ресурстар балансы	Жоспарлау стратегиясы жүйелік ресурстарды жұмыспен қамтуды қолдауы керек. Маңызды ресурстарды жеткіліксіз пайдаланатын процеске артықшылық беру керек. Бұл өлшем ұзақ мерзімді және орта мерзімді жоспарлауды қолдануды қамтиды.

Көптеген интерактивті операциялық жүйелерде, жалғыз пайдаланушыда да, ортақ уақытта да, жауап беру уақыты маңызды талап болып табылады.

Басымдықтарды пайдалану

Көптеген жүйелерде әр процеске белгілі бір басымдық беріледі және жоспарлаушы әрқашан процестердің ішінде ең үлкен басымдылықты таңдауы керек. 9.4-суретте басымдықтарды пайдалану көрсетілген. Орындауға дайын процестердің бір кезегінің орнына бізде басымдықтың кемуі бойынша тапсырыс берілген көптеген процестер бар: RQ1, RQ2, ..., RQ_n.



Сурет. 4.3. Процестердің басымдылығын ескере отырып жоспарлау

Мұндай таза басымдықты жоспарлау сызбасындағы негізгі проблемалардың бірі- төмен басымдықты процестер бос күйінде болуы мүмкін. Бұл жоғары басымдықпен іске асыруға дайын жаңа процестер үнемі келіп түскен кезде орын алады. Егер мұндай мінез- құлық қажет болмаса, процестің басымдылығы оның "жасына" немесе орындалу тарихына байланысты өзгеруі мүмкін.

Шешім қабылдау режимдері

Таңдау функциясы дайын процестердің қайсысы орындалатынын анықтайды. Таңдау функциясы қай уақытта орындалатынын анықтайтын шешім қабылдау режимдері екі негізгі категорияға бөлінеді.

- **Ауыстрылмайтын.** Бұл жағдайда орындау күйіндегі процесс а) ол аяқталғанша немесе б) енгізу-шығару операциясының аяқталуын немесе кейбір жүйелік сервистің сұрауын күтудің бұғатталған күйінде болғанша орындауды жалғастырады.
- **Ауыстырылатын.** Қазіргі уақытта орындалатын процесс үзілуі және операциялық жүйе орындауға дайындық жағдайына ауыстырылуы мүмкін. Ауыстыру туралы шешім жаңа үзіліс процесін бастаған кезде қабылдануы мүмкін, ол бұғатталған процесті орындауға дайын күйге келтіреді немесе таймердің үзілістеріне негізделген мерзімді түрде қабылданады.

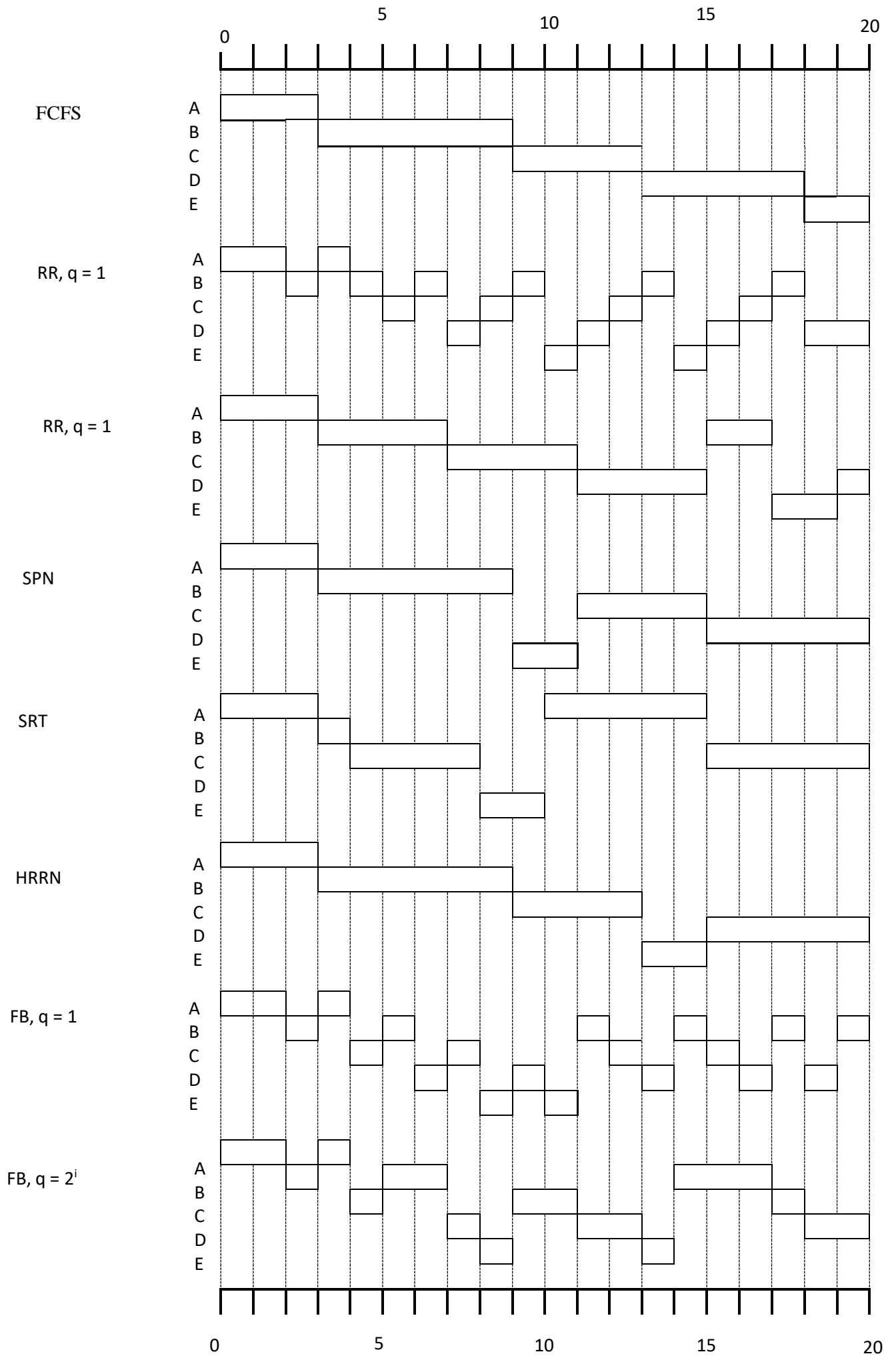
Мысал ретінде әр түрлі жоспарлау стратегияларын сипаттау кезінде біз 4.2 кестесінен процестер жиынтығын қолданамыз. Біз оларды жалпы жұмыс уақытына тең қызмет көрсету уақытымен пакеттік тапсырмалар ретінде қарастырамыз. Дәл осындай процестерді процессор мен I / O құрылғыларының циклдік ауысуын қажет ететін үздіксіз процестер ретінде қарастыруға болады. Бұл соңғы жағдайда техникалық қызмет көрсету уақыты бір циклде талап етілетін процессор уақыты болады.

Кесте4.2. Процесті жоспарлау мысалы

Процесс	Іске қосу уақыты	Қызмет көрсету уақыты
A	0	3
B	2	6

C	4	4
D	6	5
E	8	2

4.4-суретте 4.2-кестеде сипатталған мысалдың бір циклінің мысалы келтірілген, ал 4.3-кестеде кейбір негізгі нәтижелер көрсетілген. Біріншіден, әрбір процестің аяқталу уақыты анықталады, сондықтан біз T_r (turnaround time – TAT) айналым уақытын таба аламыз, бұл жүйеде процестің толық уақытын (күту уақыты мен қызмет көрсету уақыты) білдіреді. Неғұрлым пайдалы мән-бұл айналым уақытының қызмет көрсету уақытына қатынасы ретінде анықталатын және процестің салыстырмалы кідірісін көрсететін қалыпқа келтірілген айналым уақыты. Әдетте, процестің орындалу уақыты неғұрлым ұзақ болса, кідірістің абсолютті мәні соғұрлым қолайлы болады. Бұл қарым - қатынастың минималды мәні-1,0. Қарым-қатынас мәнінің артуы қызмет көрсету деңгейінің төмендеуіне сәйкес келеді.



Сурет. 4.4. Жоспарлау стратегияларын салыстыру

Кесте 4.3. Жоспарлау стратегияларын салыстыру

Процесс	A	B	C	D	E	Среднее
Время входа	0	2	4	6	8	
Время обслуживания T_s	3	6	4	5	2	
FCFS						
Время завершения	3	9	13	18	20	
Время оборота T_r	3	7	9	12	12	8,60
T_r/T_s	1,00	1,17	2,25	2,40	6,00	2,56
RR, q = 1						
Время завершения	4	18	17	20	15	
Время оборота T_r	4	16	13	14	7	10,80
T_r/T_s	1,33	2,67	3,25	2,80	3,50	2,71
RR, q = 4						
Время завершения	3	17	11	20	19	
Время оборота T_r	3	15	7	14	11	10,00
T_r/T_s	1,00	2,5	1,75	2,80	5,50	2,71
SPN						
Время завершения	3	9	15	20	11	
Время оборота T_r	3	7	11	14	3	7,60
T_r/T_s	1,00	1,17	2,75	2,80	1,50	1,84
SRT						
Время завершения	3	15	8	20	10	
Время оборота T_r	3	13	4	14	2	7,20
T_r/T_s	1,00	2,17	1,00	2,80	1,00	1,59
HRRN						
Время завершения	3	9	13	20	15	
Время оборота T_r	3	7	9	14	7	8,00
T_r/T_s	1,00	1,17	2,25	2,80	3,50	2,14
FB q = 1						
Время завершения	4	20	16	19	11	
Время оборота T_r	4	18	12	13	3	10,00
T_r/T_s	1,33	3,00	3,00	2,60	1,50	2,29
FB q = 2ⁱ						
Время завершения	4	17	18	20	14	
Время оборота T_r	4	15	14	14	6	10,60
T_r/T_s	1,33	2,50	3,50	2,80	3,00	2,63

4.3. Жоспарлау алгоритмдері

Бірінші қабылданды - бірінші қызмет көрсетілді

«Бірінші қабылданды - бірінші қызмет көрсетілді» (first-come-first-served - FCFS) - қарапайым жоспарлау стратегиясы «бірінші кірді – бірінші шықты» (first-in, first-out - FIFO) сызбасы секілді таныс. Процесс дайын болғаннан кейін ол дайын процестердің кезегіне қосылады. Ағымдағы процестің орындалуын тоқтатқан кезде, басқаларға қарағанда ұзағырақ кезекте тұрған процесс таңдалады. FCFS стратегиясы қысқа процестерге қарағанда ұзақ процестер үшін әлдеқайда жақсы жұмыс істейді. Бір процессорлы жүйелер үшін FCFS ең қолайлы стратегия емес, бірақ тиімді жоспарлау үшін ол көбінесе басымдықтарды қолдана отырып біріктіріледі. Бұл жағдайда жоспарлаушы басымдықтың әр деңгейі үшін бір-бірден бірнеше кезектерді қолдайды және FCFS стратегиясына сәйкес әр кезектегі процестермен жұмыс істейді.

Дөңгелек жоспарлау

FCFS схемасындағы қысқа процестермен жұмыс істеудің тиімділігін арттырудың айқын жолы-таймер негізіндегі ығысуды қолдану. Бұл идеяға негізделген қарапайым стратегия-дөңгелек жоспарлау стратегиясы (round robin – RR). Таймер белгілі бір уақыт аралығында үзілістер жасайды.

Әрбір үзіліс кезінде қазіргі уақытта орындалатын процесс дайын процестердің кезегіне орналастырылады және FCFS стратегиясына сәйкес таңдалған келесі процесс

орындала бастайды. Бұл әдіс уақытты кванттау (time slicing) деп те аталады, өйткені әр процесс орындалуға уақыт квантын алады. Дөңгелек жоспарлау кезінде уақыт квантының ұзақтығы туралы мәселе түбегейлі болады.

Бұл жағдайда пайдалы ережелердің бірі келесідей: уақыт кванты әдеттегі толық техникалық қызмет көрсету үшін қажет уақыттан сәл үлкен болуы керек. 4.4-суретте және 4.3-кестеде ұзақтығы 1 және 4 қ уақыт квантын пайдалану кезінде дөңгелек стратегия жұмысының нәтижелері көрсетілген.

Ең қысқа процесті таңдау

Ұзақ процестердің пайдасына бұрмалануды төмендетудің тағы бір тәсілі – ең қысқа процесті таңдау стратегиясын қолдану (shortest process next - SPN). Бұл іске асыру үшін күтілетін ең аз жұмыс уақыты бар процесс таңдалатын тәжірибесіз стратегия.

4.4-суретте және 4.3-кестеде осы стратегияны біздің мысалға қолдану нәтижелері келтірілген. SPN стратегиясын қолданудағы негізгі қиындық-оны жүзеге асыру үшін кем дегенде әр процесті қажет ететін орындалу уақытын бағалау қажет. SPN стратегиясын қолданудағы негізгі қауіп-қысқа процестердің тұрақты жұмыс істеуі кезінде ұзақ процестерді аштыққа ұшырату.

Ең аз қалған уақыт

Ең аз қалған уақыт стратегиясы (shortest remaining time – SRT) - SPN стратегиясының репрессивті нұсқасы. Бұл жағдайда жоспарлаушы процестің соңына дейін күтілетін ең аз уақытты таңдайды. Жаңа процесті дайын процестердің кезегіне қосқан кезде, оның қалған уақыты қазіргі уақытта орындалатын процестің қалған уақытынан аз болуы мүмкін. SPN стратегиясын қолданғандай, таңдау функциясының дұрыс жұмыс істеуі үшін жоспарлаушы процестің орындалу уақытын бағалауы керек; бұл жағдайда ұзақ процестердің ораза ұстау қаупі бар. Қысқа тапсырмалар ұзақ уақытқа созылатын тапсырмалардан бірден артықшылыққа ие болғандықтан, SRT стратегиясы айналым уақытында SPN Стратегиясынан айтарлықтай пайда көреді.

Ең жоғары жауап қатынасы

4.3-кестеде біз айналым уақытының нақты қызмет көрсету уақытына қатынасын білдіретін нормаланған айналым уақытын көрсеткіш ретінде пайдаландық. Әрбір жеке процесс үшін бұл көрсеткішті барлық процестердің орташа мәні сияқты азайту ұсынылады. Жалпы жағдайда, біз қызмет көрсету уақытын алдын-ала біле алмаймыз, бірақ оны алдыңғы орындалулар негізінде немесе пайдаланушы енгізген немесе орнату кезінде берілген ақпарат негізінде бағалай аламыз.

Келесі теңдікті қарастырайық

$$R = \frac{w+s}{s},$$

мұндағы

R – жауап беру қатынасы;

w – процесті күтуге кететін уақыт;

s – күтілетін қызмет көрсету уақыты.

Егер процесс дереу диспетчерлендірілсе, оның R мәні айналымның қалыпқа келтірілген уақытына тең болады. Процесс жүйеге кірген кезде R минималды мәні (1,0-ге тең) қабылданатынын ескеріңіз.

Осылайша, жауаптың ең жоғары қатынасын жоспарлау стратегиясының ережесін (highest response ratio next – HRRN) келесідей тұжырымдауға болады: ағымдағы процесті аяқтаған немесе бұғаттаған кезде, дайын процестердің кезегінен орындау үшін R ең үлкен мәні бар таңдалады. R максималды мәні.

Басымдықтың төмендеуі

Егер бізде процестердің салыстырмалы ұзақтығы туралы нұсқаулар болмаса, онда біз қарастырылған стратегиялардың ешқайсысын, SPN, SRT немесе HRRN қолдана алмаймыз. Қысқа процестерге артықшылық берудің тағы бір жолы-ұзақ мерзімді процестерге айыппұл санкцияларын қолдану.

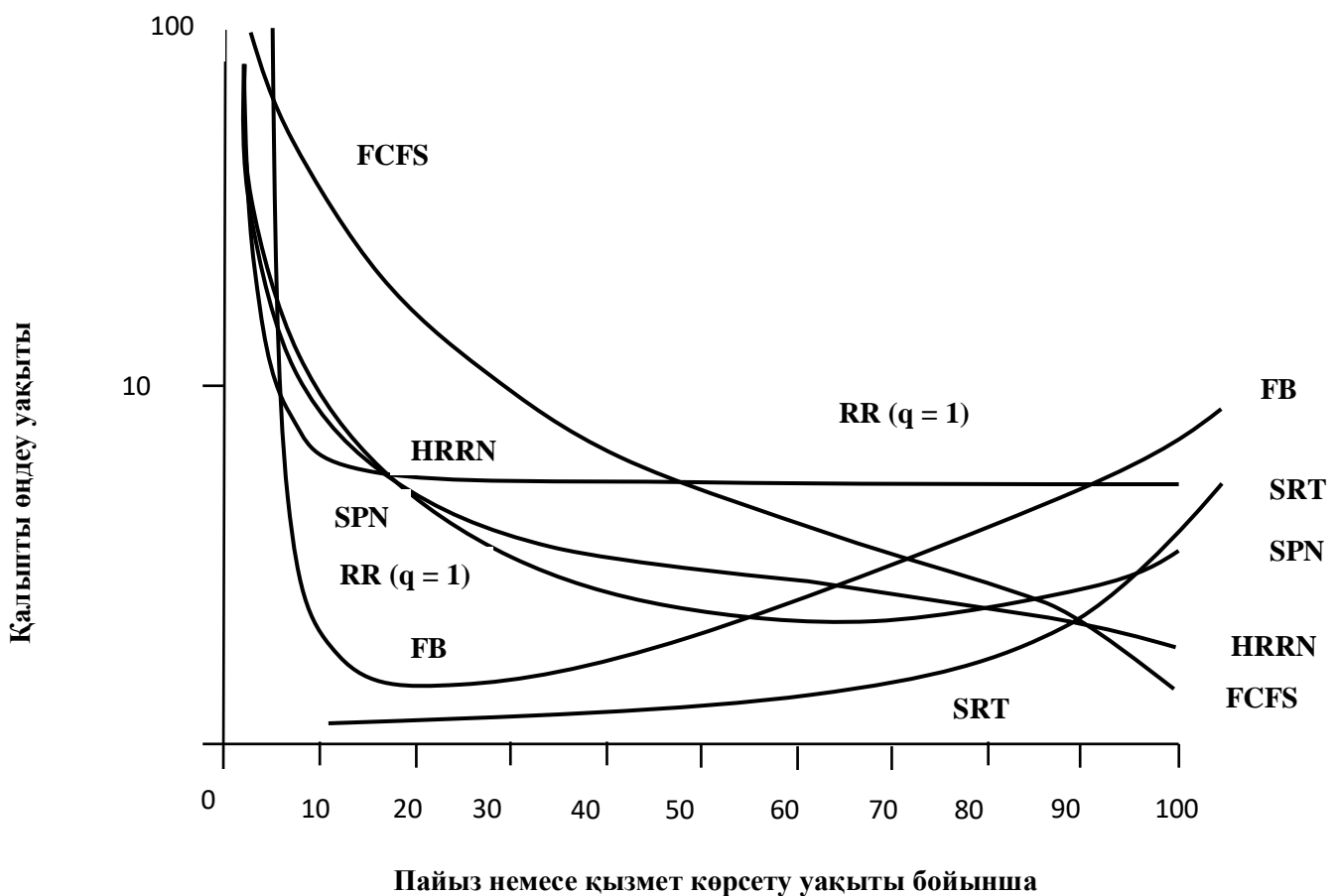
Ол үшін динамикалық механизмді қолдана отырып, ығыстыру (уақыт кванттары бойынша) жоспарлау жүзеге асырылады. Жүйеге кіру процесі rq_0 кезегіне орналастырылады (4.3-суретті қараңыз). Бірінші ауыстырудан және дайындық күйіне оралғаннан кейін процесс Q1 кезегіне орналастырылады. Болашақта әр репрессия кезінде бұл процесс аз және аз басымдықпен кезекке қойылады. Осылайша, жаңа қысқа процестер ескі ұзақ процестерден гөрі артықшылыққа ие болады. Процесті таңдау үшін әр кезектің бөлігі ретінде FCFS стратегиясы қолданылады.

4.4. Өнімділікті салыстыру

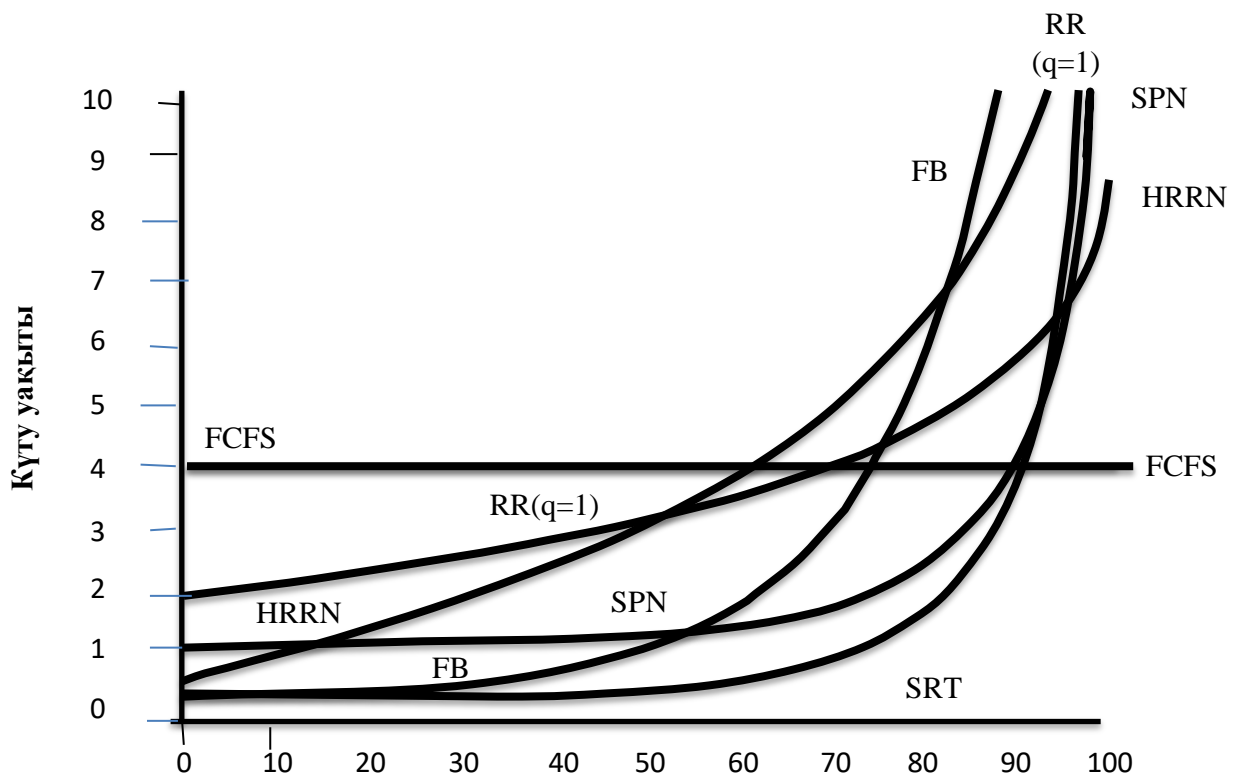
Жоспарлау стратегиясын таңдағанда, өнімділік мәселесі маңызды болатыны анық. Алайда нақты стратегияларын салыстыру мүмкін болмаса, себебі салыстырмалы өнімділігі бірнеше факторларға байланысты болады бөлуді қоса алғанда, қызмет көрсету уақытын әр түрлі процестердің тиімділігін жоспарлау мен тетігі қайта қосу жағдайға негізделген, сондай-ақ табиғатты сұрау салу құрылғылар енгізу-шығару және олардың өнімділігі. Ол үшін модельдеуді қолдануға болады.

Модельдеу

Дискретті оқиғаларға еліктеуді қолдану әртүрлі стратегиялардың кең спектрін модельдеуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер белгілі бір болжамдар бойынша процестердің белгілі бір жиынтығына ғана қатысты болса да, модельдеу пайдалы нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.



Сурет. 4.5. Қалыпты айналым уақыты үшін имитациялық модельдеу нәтижелері



Сурет. 4.6. Күту уақытына арналған модельдеу нәтижелері

[81] әдебиетте осындай зерттеулердің бірі туралы есеп көрсетілген. $\lambda = 0,8$ кіру жылдамдығымен және $T_s = 1$ орташа қызмет көрсету уақытымен 50 000 процестің әрекеті байқалды. Осылайша, процессорды пайдалану дәрежесі $\rho = \lambda T_s = 0,8$ тең деп есептеледі.

Модельдеу нәтижелерін ұсыну үшін процестер қызмет көрсету уақытына сәйкес 500 процестен тұратын процентильдерге топтастырылған. Осылайша, ең аз қызмет көрсету уақыты бар 500 процесс бірінші процентильде болады; егер бұл процестер алынып тасталса, қалған процестер арасында ең аз қызмет көрсету уақыты бар 500 процесс екінші процентильге түседі және т.б. Бұл әр түрлі жоспарлау стратегиясының процеске әсерін процестің ұзақтығынан функция ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. 4.5-суретте қалыпты айналым уақыты, ал 4.6-суретте орташа күту уақыты көрсетілген.

Осылайша, қысқа мерзімді жоспарлаушыны жобалау кезінде бірқатар түрлі өлшемдерді қолдануға болады. Олардың біреуіне сәйкес жүйенің әрекеті пайдаланушының көзқарасы бойынша қарастырылады (пайдаланушыға бағытталған), ал басқалары жүйенің жалпы тиімділігіне бағытталған, бұл барлық пайдаланушылардың қажеттіліктеріне жауап береді (жүйеге бағытталған). Жоспарлау алгоритмін таңдау күтілетін өнімділікке және іске асырудың күрделілігіне байланысты. Пайдаланушы тұрғысынан ең маңызды критерий-жауап беру уақыты, ал жүйе тұрғысынан процессорды қолдану дәрежесі маңызды.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Garg, R.; Verma, G. Operating Systems [OP]: An Introduction - Softcover
Publisher: Mercury Learning & Information, 2017. 290 p.
2. <https://gifer.com/ru/7h0m>
3. <https://3dnews.ru/1034959>
4. Darrell Hajek, Cesar Herrera, Flor Narciso Principles of Operating Systems.
Independently Published (24 April 2020) 176 pages.
5. Andrew S. Tanenbaum and Herbert Bos. Modern Operating Systems. 4/E. 1136
pages, Pearson India, 2016.
6. Silberschatz Abraham, Galvin Peter Baer and Gadne Greg. Operating system
concepts.
7. Amdahl GM (1967) Validity of the single-processor approach to achieve large
scale computing capabilities. AFIPS Joint Spring Conference Proceedings 30 (Atlantic City, NJ,
Apr. 18–20), AFIPS Press, Reston VA, pp 483–485.
8. <https://studfile.net/>.
9. <https://habr.com/ru/post/40227/>.
10. wikimedia.org
11. wordpress.com
12. blackandwhitecomputer.blog
13. <http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~n252/paper/Amdahl.pdf>.
14. encyclopedia2.thefreedictionary.com
15. linustechtips.com
16. youtube.com/watch?v=w3K1Jk1Y6D4