

**Лекция 1.** Кіріспе. Кез-келген ғылымды жалпы үш негізгі бөлікке бөлуге болады: теориялық, тәжірибелік және қолданбалы, бұл бөлімдердің өзіндік мақсаттары мен талаптары бар, яғни танымдық процесте өз орыны бар. Таным процесі, белгілі формулаға сәйкес – «тірі бақылаудан, көруден абстракталық ойлануға және одан тәжірибеге өту», ғылымды үш бөлімге бөлуге негіз болады. Егер теориялық бөлімнің өнімдері идеялар, гипотезалар, (ғылыми болжаулар) және жалпылаулар болса (зандар, теоремалар, ережелер, әдістер), ал қалған екі бөлімнің негізгі есептері ғылымның теориялық зерттеулердің нәтижелерін дәлелдеу мен практикада қолдану болып табылады. Қазіргі кезеңде зерттеулердің экспериментальдық әдістері келесі бағыттарда дамып келеді: өлшеудің жаңа жүйелерін дамыту және механикалық параметрлерді тіркеу; диагностиканың есептерін біріктіру және машиналарды экспериментальдық зерттеулердің әдістерімен басқару, экспериментальдық зерттеулерді автоматтандыру; техникалық жүйелердің жұмысын имитациялық модельдеу.

Экспериментальдық жұмыстарды ұйымдастыру. Объективті бағалау үшін кез-келген ақпарат көзін талдау қажет, ал кейбір жағдайларда эксперимент арқылы дәлелдеу керек. Бұл жағдайларда әртүрлі әдістермен алынған нәтижелерді салыстыру қажет.

Эксперименттің нәтижелілігі оны өткізу методикасы. Эксперименттің методикасы – тәжірибелік нәтижелерді алуға керекті белгілі әдістер мен амалдардың жиынтығы.

**Лекция 2.** Эксперименттердің түрлері. Классикалық бір факторлық эксперимент, оны өткізу кезінде функциональдық байланысты табу үшін, таңдау әдісі қолданылады, оның негізінде эксперименттің ең қарапайым жоспарлау әдісі – факторлардың әртүрлі байланысында өлшеу жүргізіледі. Классикалық бір факторлы эксперименттің белгілі кемшіліктері бар.

Көп факторлы эксперимент. Ол көп өлшеу жүйелерін құрайды және таңдалған факторлардың барлық комбинациялары қарастырылады. Бұл зерттеулер біруақытта зерттелетін процеске әсер ететін факторларды қарастырады, құбылыс немесе кешеннің математикалық модельін тұрғызады.

Күрделі және маңызды эксперименттерді өткізу екіге бөлінеді – алдын- ала және негізгі.

**Лекция 3.** Экспериментті жоспарлау теориясы. Зерттелетін объектілер күйінің тәуелсіз айнымалы параметрлері және құбылыс немесе процестің кіретін тәуелсіз өзгеретін айнымалы параметрлерінің – факторларды кері әсер функциясының айнымалы күйлері деп атайды. Экспериментке кіріспестен бұрын тәуелсіз айнымалы-факторларды таңдау қажет. Экспериментке аз әсер ететін маңызы жоқ факторларды белгілеу – белгілі тәртіпте ранжирлеу.

Жоспарлаудың маңызды бөлігі процеске әсер ететін факторлардың өзгеру диапазонын анықтау. Бұл жұмыс эксперимент басталмастан бұрын өтуі тиіс. Өлшеу диапазоны зерттелетін процестің физикалық табиғатына және қолданылатын приборлар мен аппаратуралардың мүмкіндігіне байланысты.

**Лекция 4.** Экспериментті жоспарлау матрицасы. Жүйеге кіретін факторлардан құралған матрица, тәуелсіз  $1 = \overline{1, k}$ , тәуелді  $r = \overline{k + 1, s - 1}$ , оның түрі

$$\left[ \begin{array}{c} \tilde{x}_{i0} \\ \tilde{x}_{i1} \\ \tilde{x}_{i2} \\ \dots \\ \tilde{x}_{iu} \\ \dots \\ \tilde{x}_{iN} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{cccccc} \tilde{x}_{01} & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{21} & \dots & \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{s-1,1} \\ \tilde{x}_{02} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{i2} & \tilde{x}_{s-1,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{0u} & \tilde{x}_{1u} & \tilde{x}_{2u} & \dots & \tilde{x}_{iu} & \tilde{x}_{s-1,u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{0N} & \tilde{x}_{1N} & \tilde{x}_{2N} & \dots & \tilde{x}_{iN} & \tilde{x}_{s-1,N} \end{array} \right] \quad (1)$$

Жоспарлау матрицасы арнайы таблицада беріледі. Таблицадағы айнымалы тәуелсіз шамалардың мәндері эксперименттің объектісі болып табылады. Матрицалық талдау негізінде жоспарлау теориясында көрсетіледі, жоспарлау матрицасы қандай қасиеттерге ие және эксперименттің жоспары қандай, яғни тәжірибелер нәтижесіне сүйене отырып әсер коэффициенттерін есептеу –  $b_i$  осы қарапайым қатынастарға сүйеніп. Бұл қасиеттер және әртүрлі факторлардың санында аппроксимациялық тәуелділіктің мүшелері семинар сабақтарда қарастырылады.

**Лекция 5.** Барлық факторлар жазылған және олардың комбинациялары натураль, өлшемсіз немесе нормаланған түрде таблица жоспар – эксперименттің таблицасы. Оның құрамы –  $N$  қатардан және  $k+1$  айнымалы бағаннан  $x_i (i=\overline{1,k})$  ал басқа бағандарда факторлар және кері жауаптың орташа мәндерінің комбинациясы жазылған. Өте көп факторлары бар таблицаларды тұрғызуды жоспарлау кезінде жоспардың қасиеттері пайданылады. Эксперименттің таблицасы белгілі қасиеттерге ие: симметрия, нормировкалау және ортогональдық. Симметрияның қасиеті әрбір бағанның  $k$  факторлар үшін элементтерінің алгебралық қосындысы нөлге тең. Нормировкалаудың қасиеттері. Әрбір баған элементтер квадратының қосындысы жоспардағы тәжірибелер санына тең. Ортогональдық қасиет, матрицалардың кез-келген екі баған элементтерінің көбейтіндісі нөлге тең.

Лекция 6. Эксперименттің анықтамасынан белгілі- оның негізгі мазмұны өлшеу болып табылады. Өлшеу дамиды, жаңарады, бірақ олардың мазмұны өзгермейді, яғни келесі түрде жазылады

$$X = n * [X] , \quad (2)$$

мұндағы  $X$  – өлшенетін физикалық шама;  
 $[X]$  – физикалық шаманың өлшем бірлігі;  
 $n$  – өлшеу бірлігінің саны.

Теңдеу (2) өлшеу процесін сипаттайды, ал өлшенетін шаманы онымен біртекті шамамен салыстыру арқылы бірлікті анықталады ол – масштаб. Физикалық шаманың сандық мәні тек өлшеу арқылы алынады. Өлшеу дәл өлшенуі мүмкін емес, яғни қателік болады. Олардың туындау көздері: өлшеу қондырғыларының қателігі; өлшеу қателіктері – көрсетулерді жазу және тіркеу; есептеу қателіктері. Барлық қателіктер үшке бөлінеді: систематикалық, кездейсоқ және өрескел.

**Лекция 7.** Өлшеу жүргізілгеннен кейін нәтижелер қандай қателіктермен орындалғанын бағалау қажет. Өлшеу нәтижелеріне кездейсоқ қателердің әсерін ескеру үшін, өлшенетін шаманың шын мәнін –  $X$  бағалау қажет, ал ол шама әрбір өлшеу серияларында кездейсоқ мәндерді қабылдайды  $X_i (i=\overline{1,n})$ . Мұндай есептеулер лған кездердемәндері –  $\bar{X}$  бұл шамалар математикалық күтілімге жуықтайды.

$$MX \sim \bar{X} \quad (3)$$

өлшеу саны  $n \rightarrow \infty$ .

Кездейсоқ шамалардың орташа мәндерінен ауытқуын ескеретін басқа көрсеткіш орташа квадраттық қателік –  $\sigma$ , бұл шама дисперсияға жуықтап сәйкес келеді.

$$\sigma \approx MX \approx s = \sqrt{\frac{\sum_i^n |\Delta x_i|^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

өлшеу саны  $n \rightarrow \infty$ .

### Лекция 8. Аз өлшеу нәтижелері болған кездерде бағалау.

Белгілі шаманы тікелей өлшеудің нәтижелері  $n$  болса, онда  $X_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), әрбір өлшенетін шама  $X$  өлшеу қателіктері  $\Delta X_i = X - X_i$ . Бұл кездегі систематикалық және өрескел қателіктер болмайды деп саналады, ал жеке өлшеулердің қателігі  $\Delta X_i$  кездейсоқ және тәуелсіз.

Өлшеу нәтижелерінің ауытқуларының себебі туралы ақпарат болмаса өлшенетін шаманың ықтимал мәндері ретінде орташа арифметикалық мәні алынады  $\bar{X}$ . Алынған нәтиженің сенімділік дәрежесі  $q$  бұл жағдайда шаманы интервалдың  $(\bar{x} \pm \Delta x)$  ішінде берілген ықтималдылықпен  $p = 1 - q$ ,  $X$  - шамасы анықталады. Интервалдың ені келесі формуламен анықталады

$$\pm \Delta x = t \cdot \sigma \quad (5)$$

мұнда  $t$  – Стьюдент үлестірімінің коэффициенті;

$\sigma$  – өлшеудің орташа квадраттық қателігі.

Әртүрлі өлшеу сандары  $n$  үшін  $t$  шамасы алдын-ала есептелінген, ал сенімділік ықтималдылығы  $\alpha = p(x - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x)$  арнайы таблицаларда берілген.

**Лекция 9.** Кездейсоқ қателіктердің әсерін азайту негізгі екі әдіспен іске асады: өлшеулердің дәлдігін арттыру және олардың санын көбейту арқылы. Өлшеу санын арттыру –  $n$ .

Белгіленген  $\Delta X$  дәлдікке жетуге өлшеу санын  $n$  арттыруға және сенімділік ықтималдылығын  $p$  алдын-ала орташа квадраттық қателік  $\sigma$  белгілі болған жағдайда ғана. Экспериментті жоспарлағанда аса маңызды белгіленген дәлдікпен қанша өлшеу жасау керектігі.

Бұл есеп Стьюдент критерийінің көмегімен шешіледі.

$$t_p = \frac{\Delta x \cdot \sqrt{n}}{\sigma}$$

(6)

мұнда  $t_p$  – берілген  $P$  ықтималдылық кіретін аймақ шекарасының көрсеткіші;

$\Delta X$  – берілген және таңдалған орташа шамалардың арасындағы ауытқу ықтималдылығының абсолюттік мәні;

$n$  – сериядағы өлшеу саны;

$\sigma$  – жеке өлшеудің орташа квадраттық қатесі.

### Лекция 10. Эксперимент нәтижелерін өңдеу.

Эксперимент нәтижелеріне сүйеніп математикалық модельді тұрғызу тізбектері:

- регрессиялық теңдеудің түрі таңдалады;
- эксперимент жүргізіледі және оның нәтижелері бағаланады;
- регрессия теңдеуінің коэффициенттері анықталады және олардың маңыздылығы тексеріледі;
- алынған модельдің зерттелетін процеске сәйкестігі тексеріледі.

Өлшеудің статистикалық қатарындағы өрескел қателіктерді болдырмаудың бірнеше әдістері бар. Экспериментті жасалған жоспарға сәйкес жүргіземіз және оның нәтижелерін бағалаймыз. Жоспардың әртүрлі қатарында кейбір жағдайларда өлшеу сандары әртүрлі болса Бартлет критерийі қолданылады [1]. Параллель тәжірибелер саны

бірдей болған жағдайда (өзгеріс сериялары) жоспардың барлық қатарында, ал қайталану дисперсияны есептеулері келесі формуламен жүргізіледі

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_i^n s_N^2 \quad (7)$$

Таңдалған регрессия теңдеуінің дұрыстығы Фишер критерийі арқылы анықталады. Фишер критерийінің есептелінетін мәні келесі формуламен

$$F_p = (s_{aq}^2 / s_y^2) < F_T \quad (8)$$

Ал таблицалық  $F_T$  екі еркіндік дәрежесі бойынша  $f_1 = N - 1$  и  $f_2 = N \cdot (n - 1)$  маңыздылық деңгейі  $q = 0,05$  Фишердің үлестірім таблицасы бойынша [6].

$F_p < F_T$  болғанда модель зерттелетін процеске сәйкес деген тұжырым жасалады.

Ал  $F_p > F_T$  болғанда таңдалған модель процеске сәйкес емес деген тұжырым жасалады.

**Лекция 11.** Эксперимент нәтижесі бойынша математикалық модельді тұрғызу. Тәжірибелік зерттеулерде жалпы түрде анықталады айнымалылардың арасындағы аналитикалық тәуелділіктер – формулалар және осы формулалардың коэффициенттері. Формулалар теориялық немесе эмпирикалық түрде алынады.

Физикалық эксперименттер қателіктермен жүргізіледі, яғни функциональдық тәуелділіктің (формуланың) алынуы бірәнді емес. Сондықтан қарапайым жуық формула алуға тырысу қажет.

Ең қарапайым сызықтық математикалық модельдің түрі келесі формуламен беріледі

$$y = a_0 + \sum_i a_i x_i \quad (9)$$

және дәрежелік түрі

$$y = a_0 + \prod x_i^{a_i} \quad (10)$$

Бұл дәрежелік байланыс универсалды, себебі ол сызықтық емес байланыстарды аппроксимациялайды.

Ал, төмендегі берілген жартылай логарифмдік функциялар өте сирек қолданылады

$$y_N = a_0 + \sum_i a_i \lg x_i \quad (11)$$

және экспоненциальдық түрі

Эмпирикалық теңдеулердің  $a_0, a_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) коэффициенттері екі корреляцияның кіші квадраттау әдісімен анықталады.

Модельді жасауда белгілі шамалар және алынатын нәтижелерді логикалық талдау маңызды, яғни логикалық талдау тәуелділіктерді тандағанда байқалады. Логикалық талдау айнымалылардың арасындағы тәуелділіктердің жалпы сипатын және әртүрлі факторлардың арасындағы корреляцияның жоқтығына көз жеткізеді.

**Лекция 12.** Өлшеу нәтижелерін графикалық суреттеу әдістері. Таблицада берілген өлшеу нәтижелері зерттелетін процесс туралы толық және көрнекі түсінік бермейді. Нәтижелерді графикалық түрде беру зерттелетін процестің физикалық маңызын жақсы түсінуге көмектеседі. Сондықтан, өлшеу нәтижелерін өңдегеннен кейін таблицалардағы нәтижелерді толық талдау үшін графиктік түрде беріледі. Екі және үш айнымалылар болған жағдайда, олардың арасындағы байланысты көрнекі түрде түсіндіру үшін. Координаттық сетка екі негізгі түрде болады – бірқалыпты және бірқалыпсыз. Бірқалыпты координаттар сеткаларында ордината және абсциссаның бірқалыпты шкалары болады. Ал

бірқалыпсыз координаттар сеткасында көбінесе логарифмдік, жартылай логарифмдік және ықтималдылықты.

Кейбір жағдайларда экспериментальдық нәтижелерді графиктік әдіспен өндегенде есептеу графиктерін эмпирикалық формулаларды алу кезінде салу қажет.

Кейбір жағдайларда эксперимент нәтижелері бойынша номограмма тұрғызылады, ал есептеулерде теориялық немесе эмпирикалық формулаларға сүйеніп номограмма тұрғызылады бұл номограммалар өлшенетін шамалардың белгілі аралықтағы өзгерістері туралы ақпарат береді. Номограммалардың көмегімен күрделі математикалық өрнектер және олардың шешімдері көрнекі графиктік түрде беріледі. Біртекті және біртектісіз шкалалар бойынша координаттар остеріне номограммалар тұрғызудың бірнеше әдістері бар.

**Лекция 13.** Эмпирикалық формулаларды таңдау әдістері. Экспериментальдық нәтижелердің негізінде математикалық өрнектерді табуға болады. Бұл жағдайда оларды эмпирикалық формула деп атайды. Мұндай формулалар тәуелсіз айнымалылардың өлшенген мәндері (факторлар – аргументтер) аумағында ғана жұмыс жасайды. Алынған нәтижелер өте маңызды, егер эксперименттің мәндеріне сәйкес келсе. Аналитикалық өрнек теориядан өте күрделі, ЭЕМ программа жасау арқылы шешілетін болса, ықшамдалған эмпирикалық формуланы пайдаланған дұрыс. Оларды кейде аппроксимациялайтын функциялар деп атайды.

Бұларға екі негізгі талап қойылады – олар қарапайым және айнымалылардың өзгеру шегінде экспериментальдық нәтижелерге сәйкес болуы тиіс.

Эмпирикалық формулаларды таңдау екі этаптан тұрады. Бірінші этап – нәтижелерді координаталық жазықтыққа енгізу және график тұрғызу. Екінші этап – графиктің сыртқы түріне қарап жуық функциональдық тәуелділікті, формулаларды таңдау және осы формулаға кіретін параметрлерді есептеу.

Эмпирикалық формулаларды таңдауды ең қарапайым белгілі аналитикалық тәуелділіктерден бастаған жөн – ал сызықтық және сызықтық емес, түзудің теңдеуін, 2-ші және 3-ші текті қисықтар, экспоненталар, көрсеткіш (дәрежелік), логарифмдік функциялар, әртүрлі дәрежедегі полиномдар, периодтық функциялар және т.б.

**Лекция 14.** Автоматтандырылған экспериментт-инженерлік-техникалық жұмыскерлердің ғылыми еңбегінің эффективтілігін көтерудің перспективті бағыты. Автоматтандырылған эксперимент жүйесі- экспериментальдық қондырғыдан, өлшеу қондырғыларынан, экспериментті жоспарлау және өткізу әдістемесінен, тәжірибелік нәтижелерді өңдеуден, нәтижелерді көрнекілеу құралдарынан тұрады. Автоматтандыру жүйесі өте сезімтал, жаңа перифериялық қондырғылармен және тексеру құралдарымен жабдықталынуы тиіс. Бұндай жүйелерді эксплуатацияға енгізу, зерттеушілердің еңбек сиымдылығы 10-100 есе артады, ал дәлдіктің артуы және тәжірибе нәтижелерінің сенімділігі жаңа нәтижелер алуға көмектеседі.

Экспериментті автоматтандыруды техникалық жүзеге асыру: экспериментальдық және өлшеу құралдары, ЭЕМ, нәтижелерді өңдеу жүйелері және экспериментті басқарудан тұрады. Қазіргі заманғы автоматтандырылған жүйелер агрегаттық-модульдік принцип бойынша жобаланады.

**Лекция 15.** Активті эксперименттің нәтижелері бойынша техникалық объектінің моделін құрастыру шешіледі. Экспериментті жоспарлау теориясындағы экспериментальдық нәтижелерді өңдеу көбінесе формальдық түрде, есептеу машиналарының көмегімен өтеді. Өңдеу жеке этаптарға бөлінеді. Ал, өзгеру сипатын және келесі әрекеттердің бағытын экспериментатор анықтайды. Эксперименттің нәтижелері бойынша модель келесі тізбекпен құрылады: теңдеудің түрі таңдалады, эксперименттің нәтижелері бағаланады, теңдеудің коэффициенттері есептелінеді, олардың маңыздылығы тексеріледі; алынған модельдің зерттелетін объектіге сәйкестігі тексеріледі.

