# Дәріс 2.
# Жану феноменологиясы. Жалын түрлері. Жанудың физика-химиялық негіздері

*Дәріскер: х.ғ.к., доцент*

*Кудьярова Ж.Б.*

- **Дәрістің мақсаты:** студенттерді жалын түрлерімен, ондағы өтетін физика-химиялық үдерістермен таныстыру.
- Дәрісте жанудың негіздері, жанудың қалыпты таралу жылдамдығы, жалынның түрлері қарастырылады.



# Жалындардың негізгі типтері

Жанғыш зат пен тотықтырғыш (әдетте ауа) жану барысында араласып, жанады. Жану алдында бұл компоненттердің араласуына немесе араласу мен жану бір мезгілде жүзеге асуына байланысты жалындар алдын-ала араласқан және алдын-ала араласпаған болып бөлінеді. Бұл категориялардың жалындары жанғыш қоспа ағынына байланысты ламинарлы және турбулентті болып бөлінеді де, Рейнольдс санымен анықталады:

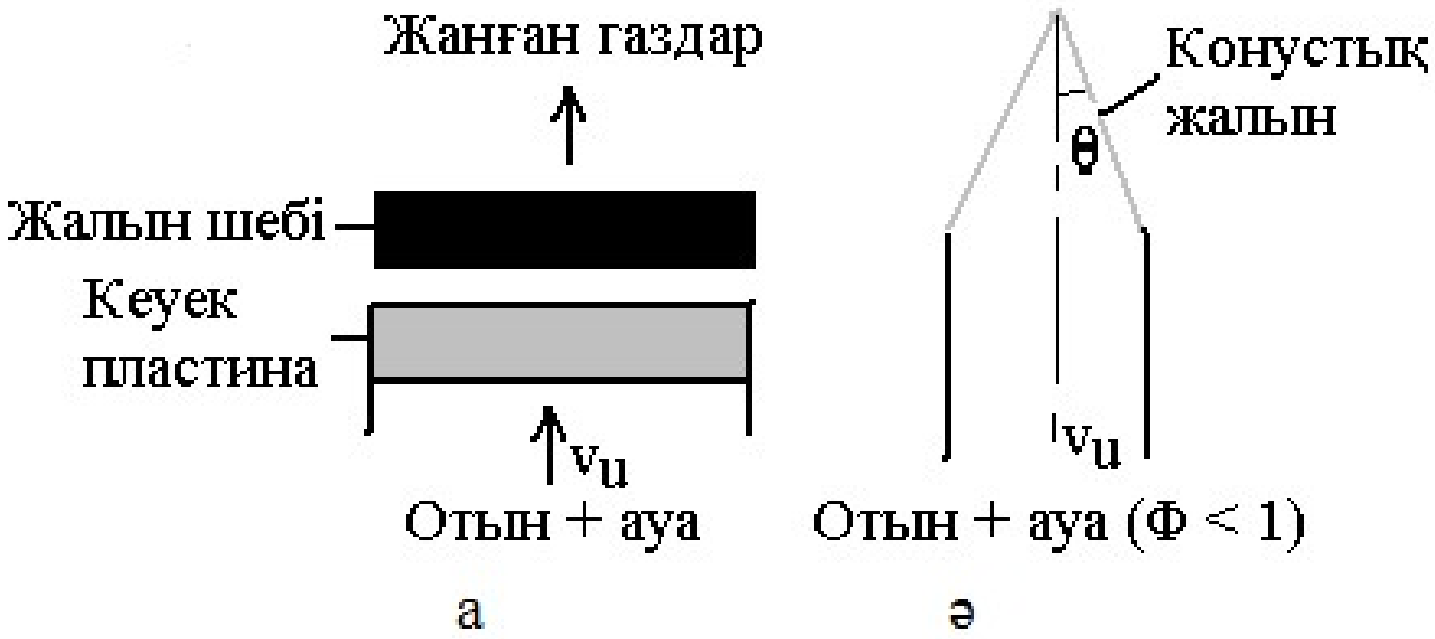
$$\mathrm{Re} = \frac{l\bar{u}\rho}{\mu} = \frac{d\bar{u}\rho}{\mu}$$

$l$ - жүйенің сипаттамалық өлшемі, цилиндр жағдайында $d$; $\bar{u}$ - газдың орташа жылдамдығы; $\rho$ - тығыздық; $\mu$ - тұтқырлық. 2-кестеде осы категорияларға жататын жанғыш жүйелерге мысалдар берілген.

*Алдын-ала араласқан қоспаның ламинарлы жалындары.* Алдын-ала араласқан қоспаның ламинарлы жалындарында отын мен тотықтырғыш жануға дейін араласады да, ағын *ламинарлы* болады.

Мұндай жалындарға жазық ламинарлы жалын мен бунзен жанарғысының жалыны (отынға кедей қоспалар үшін) мысал бола алады (1-сурет).

Егер отын (көмірсутек) мен тотықтырғыш (оттегі) бір-біріне толық жұмсалып, толық жану өнімдері (көміртек диоксиді мен су) түзілсе, алдын-ала араласқан қоспа жалыны *стехиометриялық (толық жану)* деп аталады. Егер отын артық қалса, онда қоспа – *отынға бай*, егер тотықтырғыш артық қалатын болса, қоспа – *отынға кедей* деп айтады.




1 - сурет. Алдын-ала араласқан қоспаның жазық ламинарлы жалыны (а) мен бунзен жанарғысының жалынының (ә) сызбанұсқасы

2-кесте. Жалындары әртүрлі типті жүйелердің мысалдары.

| Отын / тотықтырғыш | Ағын қозғалысы | Мысалдар |
|---|---|---|
| Алдын-ала араласқан қоспа | Турбулентті | Ұшқынмен тұтанатын іштен жану қозғалтқышы<br>Азот оксидтерінің шығымы төмен стационарлы газ турбиналары |
| | Ламинарлы | Жазық жалындар<br>Бунзен жалындары |
| Алдын-ала араласпаған қоспа | Турбулентті | Тозаңдатылған көмірдің жануы<br>Ұшақтардың қозғалтқыштары<br>Дизель қозғалтқыштары<br>($H_2/O_2$)-зымыран қозғалтқыштары |
| | Ламинарлы | Ағаштың жануы<br>Сәуле шығаратын жылыту жанарғылары<br>Шырақтар |

*Қоспаны дайындау әдістері:* алдын - ала араластыру – ламинарлық, диффузиялық, алдын - ала қыздыруы бойынша.

*Формасы бойынша:* конустық, сфералық жалпақ.

*Температурасы бойынша:* ыстық, суық, көгілдір.

*Механизмі бойнша:* тізбекті, жылулық.

Жалынның басты сипаттамасы – *тарату қабілеті*. Егер жағу көзі бар болса, онда бөлінген жылу не активті бөлшектер таралып барып газдың жақын

арадағы қабатын жағады, сол бойынша жану толқыны өтеді - жалын фронты таралады.

Қарапайым мысалдар келтірейік:

1) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ – стехиометриялық қоспа,
2) $3H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + H_2$ – отынға бай қоспа ($H_2$ артық),
3) $CH_4 + 3O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2 + O_2$ – отынға кедей қоспа ($O_2$ артық).

Отынның мольдік үлесі келесі қатынастан жеңіл анықталады:

$$X_{отын,\ стех} = 1 / (1 + \nu),$$

мұндағы: $\nu$ - $CO_2$ және $H_2O$ түзілетін реакция теңдеуіндегі оттегінің моль саны. Мысалы:

$H_2 + 0{,}5O_2 \rightarrow H_2O$; $\nu = 0{,}5$; $x_{H2,\ стех} = 2/3$.

Егер тотықтырғыш ауа болса, онда құрғақ ауада тек 21 % оттегі емес, сондай-ақ 78 % азот пен 1 % инертті газдар болатынын ескеру қажет. Бұл жағдайда ауа үшін $X_{N2} = 3{,}762X_{O2}$. Бұдан ауамен стехиометриялық қоспалар үшін мольдік үлестер мынадай болып шығады:

$X_{отын,\ стех} = 1 / (1 + \nu \cdot 4{,}762)$; $x_{O2,\ стех} = \nu \cdot X_{отын,\ стех}$;
$x_{N2,\ стех} = 3{,}762 \cdot x_{O2,\ стех}$.

Отын мен ауаның алдын-ала араласқан қоспалары ауа үшін эквиваленттік қатынас шамасымен:

$$\lambda = (x_{ауа}/x_{отын})/(x_{ауа,стех}/x_{отын,стех}) = (w_{ауа}/w_{отын})/(w_{ауа,стех}/w_{отын,стех});$$

немесе оған кері шама – отын үшін эквиваленттік қатынаспен Ф ($\Phi = 1/\lambda$) сипатталады. Бұл формуланы қоспадағы компоненттердің мольдік үлесінің шамаларын Ф мәні бойынша есептеуге болатындай етіп түрлендіруге болады:

$$x_{отын} = \frac{1}{\left(1 + \frac{(\nu \cdot 4{,}762)}{\Phi}\right)}; \qquad x_{ауа} = 1 - x_{отын};$$

$$x_{O_2} = \frac{x_{ауа}}{4{,}762}; \qquad x_{N_2} = 3{,}762 \cdot x_{O_2}.$$

$\nu$ мен $X_{отын,стех}$ ауамен стехиометриялық қоспалар үшін мольдік үлестердің мәндерінің мысалдары 3 кестеде келтірілген.

Сәйкесінше, алдын-ала араласқан қоспалардың жалындары үшін жану процестерін келесі үш топқа бөлуге болады:

1) отынға бай қоспалардың жануы – $\Phi > 1$, $\lambda < 1$,

2) стехиометриялық қоспалардың жануы – $\Phi = 1$, $\lambda = 1$,

3) отынға кедей қоспалардың жануы – $\Phi < 1$, $\lambda > 1$.

Жазық ламинарлы жалынның жанбаған бастапқы жанғыш қоспаға қарай таралуын ламинарлы жану жылдамдығымен сипаттауға болады $v_{лам}$ (м/с). Жану жылдамдығы қоспа құрамына ($\Phi$ немесе $\lambda$ мәндеріне), қысымға p және жанбаған қоспаның бастапқы температурасына $T_u$ ғана тәуелді.

Егер жазық жалынның ламинарлы жану жылдамдығы жанбаған қоспа ағынының жылдамдығынан $v_u$ аз болса (1-сурет), жалын сөніп қалады.

3 кесте. v мен $X_{отын,стех}$ ауамен стехиометриялық қоспалар үшін мольдік үлестердің мәндерінің мысалдары

| Реакция | *V* | *x* |
|---|---|---|
| $H_2 + 0{,}5O_2 + 0{,}5*3{,}762N_2 \rightarrow$ | 0,5 | 29,6 моль-% |
| $\rightarrow H_2O + 0{,}5*3{,}762N_2$ | | |
| $CH_4 + 2{,}0\ O_2 + 2{,}0*3{,}762N_2 \rightarrow$ | 2,0 | 9,50 моль-% |
| $\rightarrow CO_2 + 2H_2O + 2{,}0*3{,}762N_2$ | | |
| $C_3H_8 + 5{,}0\ O_2 + 5{,}0*3{,}762N_2 \rightarrow$ | 5,0 | 4,03 моль-% |
| $\rightarrow 3CO_2 + 4H_20 + 5{,}0*3{,}762N_2$ | | |
| $C_7H_{16} + 11{,}0O_2 + 11{,}0*3{,}762N_2 \rightarrow$ | 11,0 | 1,87 моль-% |
| $\rightarrow 7C0_2 + 8H_2O + 11{,}0*3{,}762N_2$ | | |
| $C_8H_{18} + 12{,}5O_2 + 12{,}5*3{,}762N_2 \rightarrow$ | 12,5 | 1,65 моль-% |
| $\rightarrow 8C0_2 + 9H_2O + 12{,}5*3{,}762N_2$ | | |

Компоненттің **мольдік үлесі** — сол компоненттің зат мөлшерінің қоспадағы барлық компоненттердің зат мөлшерінің қосындысына қатынасы:

$$X_i = \frac{n_i}{n_{\text{жалпы}}}$$

мұндағы:

- $X_i$ — $i$-компоненттің мольдік үлесі;
- $n_i$ — осы компоненттің моль саны;
- $n_{\text{жалпы}}$ — қоспадағы барлық компоненттердің жалпы моль саны.

Мольдік үлес әдетте **0 мен 1 аралығында** болады немесе пайызбен көрсетіледі:

$$X_i(\%) = X_i \cdot 100\%$$

Метанның ауадағы жануын қарастырайық:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Ауа құрамын жуықтап:

$$O_2 = 21\%, N_2 = 79\%$$

деп аламыз.

Стехиометриялық жану үшін **1 моль** $CH_4$қажет.

Оған қажетті оттегі:

$$n_{O_2} = 2 \text{ моль}$$

2 моль оттегін қамтамасыз ету үшін қажетті ауа мөлшері:

$$n_{\text{air}} = \frac{2}{0.21} = 9.524 \text{ моль}$$

Демек:

$$n_{CH_4} = 1$$

$$n_{\text{air}} = 9.524$$

Қоспаның жалпы мөлшері:

$$n_{\text{жалпы}} = 1 + 9.524 = 10.524$$

Сонда метанның мольдік үлесі:

$$X_{CH_4} = \frac{1}{10.524} = 0.095$$

немесе:

$$\boxed{X_{CH_4} \approx 9.5\%}$$

Яғни **метан–ауа қоспасының стехиометриялық құрамында метанның мольдік үлесі шамамен 9,5%**.

Сондықтан жазық жалындар үшін $v_{лам} > v_u$ теңсіздігі орындалу керек. Жалын сөнер алдында $v_{лам} \approx v_u$ болады. Осылайша, газ ағынының жазық жалын шебіне (фронт) жылдамдығы ламинарлы жану жылдамдығының шамасы болып табылады.

Жалын шебі газ ағынына θ бұрышпен орналасса, жалын шебіне газ ағынының жылдамдығы жоғары болады. Мысалы, жанарғының цилиндр арнасының қимасына орналасқан алдын-ала араласқан қоспаның бунзен жалынының шебі жазыққа жақын (жалын қалыңдығы жалын шебінің қисаюымен салыстырғанда кіші). Демек, $v_{лам} = v_u \sin(\theta)$.

Осылайша, жалынды фототіркеу арқылы жалын шебінің бұрышы мен газ ағынының жалын шебіне жылдамдығын өлшеу алдын-ала араласқан қоспаның ламинарлы жалынының жану жылдамдығын анықтауға мүмкіндік береді.

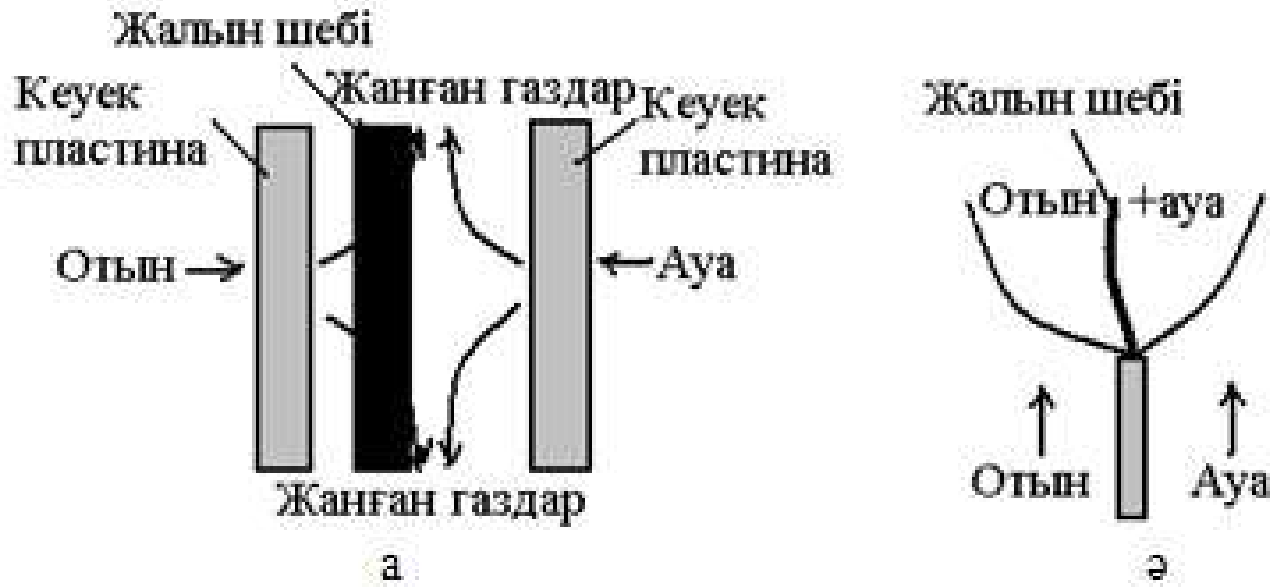
*Алдын-ала араласқан қоспаның турбулентті жалындары.* 2-кестеден көрініп тұрғандай, мұндай жалындарға көпке белгілі ұшқынмен тұтанатын іштен жану қозғалтқышының (Отто қозғалтқышы) жалыны жатады, онда ағын сирек ламинарлы болады. Бұл жағдайда алдын-ала араласқан қоспаның жалын шебі турбулентті ағынға таралады. Егер турбуленттік қарқындылығы үлкен болмаса, ламинарлы жалынның қисайған шептері қалыптасады. Бұл кезде

турбулентті жалынды алдын-ала араласқан қоспаның микроламинарлы жалындарының ансамблі ретінде қарастыруға болады.

Алдын-ала араласқан қоспаның жануының артықшылығы – бұл жағдайда жану процесін жеңіл басқаруға болады. Отынға кедей алдын-ала араласқан қоспалар жанғанда жану кезінде температура төмен болады, демек, зиянды азот оксидінің (NO) шығымын азайтуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ осы жағдайларда күйе аз түзіледі, себебі ол отынға бай қоспалар жанғанда көп мөлшерде түзіледі.

Белгілі бір артықшылықтарына қарамастан, алдын-ала араласқан қоспалардың жануы кең қолданылмайды, бұл алдын-ала араласқан реагенттерді көп көлемде сақтаудың қауіптілігіне байланысты, нәтижесінде жарылысқа алып келуі мүмкін.

*Алдын-ала араласпаған қоспаның ламинарлы жалындары.* Алдын-ала араласпаған қоспаның ламинарлы жалындарында отын мен тотықтырғыш жану процесі кезінде араласады. Ағын ламинарлы. 2 - кесте бойынша мұндай жалындарға шырағдан, керосин шамы мен ағаш жалындары мысал болады. Зерттеулер үшін әдетте ламинарлы жалындардың екі конфигурациясы қолданылады: қарсы ағынды және параллель ағынды ламинарлы жалындар (2 - сурет).




2 - сурет. Алдын-ала араласпаған қоспаның қарсы ағынды (а) және параллель ағынды (ә) ламинарлы жалындарының сызбанұсқасы

Алдын-ала араласпаған қоспаның жалындарының химиясы алдын-ала араласқан жалындарға қарағанда күрделі, себебі эквиваленттік қатынас Ф нөлден (ауа) шексіздікке (таза отын) дейін өзгереді. Отынға бай облыста отынға бай қоспаның жануы өтеді, ал ауаға байытылған облыста отынға кедей қоспаның жануы жүзеге асады. Әдетте қарқынды жарқыраумен сипатталатын жалын шебі стехиометриялық қоспа аумағында орналасады, өйткені бұл аумақта температура максималды.

Алдын-ала араласқан қоспаның жалындарынан айырмашылығы алдын-ала араласпаған қоспаның жалындары әрекеттеспеген қоспаға қарай таралмайды,

сондықтан оларды ламинарлы жалынның таралу жылдамдығымен сипаттауға болмайды.

*Алдын-ала араласпаған қоспаның турбулентті жалындары.* Бұл жағдайда алдын-ала араласпаған қоспаның жалындары турбулентті ағында жанады, қарқындылығы әлсіз турбуленттік үшін микроламинарлы жалындар концепциясын пайдалануға болады. Қауіпсіздік тұрғысынан өнеркәсіптік жанарғылар мен қондырғыларда негізінен алдын-ала араласпаған қоспаның жалындары қолданылады. Жанғыш қоспаны араластырудың өте күрделі және жетілдірілген жүйелері пайдаланылуына қарамастан алдын-ала араласпаған қоспаның жалындары отынға бай аумақтарда химиялық реакция нәтижесінде күйе бөлшектерінің сәуле шығаруынан сары түспен жарқырайды.

*Алдын-ала араласқан және араласпаған қоспаның аралас ламинарлы жалындары.* Мұндай типті жалындар жиі тұрғын үйлерді жылыту және суды қыздыру үшін қолданылады. Отын мен тотықтырғыш араластырылып, Ф = 1,4 отынға бай қоспа түзіледі, сосын осы отынға бай қоспаның жану өнімдері күйенің түзілуін азайту үшін қоршаған ауамен араласып, алдын-ала араласпаған қоспаның жалынында жанады. Осындай жалындары бар миллион құрылғылар практикада қолданылады, оларда барлық табиғи газдың 30 %-ға жуығы жанады.

**Бақылау сұрақтары:**

- Жалынды негізгі белгілері бойынша жіктеңіз.
- Жалынның таралу жылдамдығын сипаттаңыз.
- Алдын ала раласқан және алдын ала араласпаған қоспалардың жануы мен жалын түрін салыстырыңыз.

**Әдебиеттер:**


- Ермолин Н.Е., Фомин В.М. Горение газофазных и конденсированных систем. Методы расчета. Структура пламен. Изд-во: Физматлит, 2022. – 520 с.
- Апкарьян А. С. Теория горения и взрыва: Методические указания по практическим занятиям / А.С. Апкарьян. – Томск. Гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 93 с.
- Мансұров З.А. Жану теориясы: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2011 – 164 бет.

# *Назарларыңызға рахмет!*