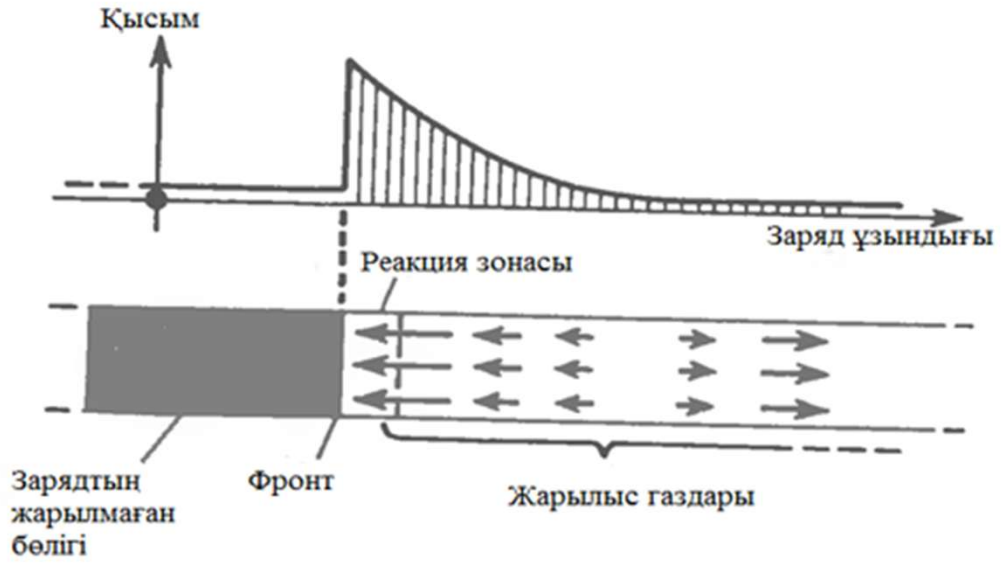
Дәріс 9.
Соққы толқындарының негізгі қасиеттері және түзілу механизмі

Дәріскер: х.ғ.к., доцент
Кудьярова Ж.Б.

- **Дәрістің мақсаты:** білім алушыларды соққы толқындарының қасиеттерімен және түзілу механизміміен таныстыру.
- Дәрісте соққы толқыны және оның пайда болу сипаты, соққы толқынының детонациялық толқынға жалғасуы, соққы толқынындағы негізгі жарылыс параметрлерінің өзгеруі қарастырылады.

- Соққы толқыны дыбыс жылдамдығынан жоғары жылдамдықпен таралады және қысым тығыздық, температура сияқты зат параметрлерінің бірден секірмелі өзгеруімен сипатталады. Соққы толқындарының пайда болуы және таралу сипаты зат массасының сақталуы, бөлшек қозғалысы мен энергия мөлшерінің өзгеруі туралы физиканың іргелі заңдарымен анықталады. Ж3 бойымен соққы толқындарының пайда болу және таралу процестері газдағы толқындар таралу заңдарымен сипатталады. Бұл Ж3 зарядындағы соққы толқынының фронтында Ж3 материалының беріктігінен анағұрлым бірнеше ретке артық қысымның пайда болуымен байланысты, яғни бөлшектердің өзара байланысу күштерін ескермеуге болады және оның күйін газодинамика теңдеулерімен сипаттауға болады.
- Соққы толқыны және оған жанасқан Ж3 жарылысты химиялық айналуының жиынтығы детонациялық толқын деп аталады.
- Жарылыс кезінде заряд арқылы таралатын детонация толқынының ерекше мәні бар. Бұл толқын жарылғыш затта таралғанда, затты сығылатын сұйық ретінде қарастырады. Сондықтан жарылыс теориясының негізінде детонацияның гидродинамикалық теориясы жатыр.

- Детонацияның гидродинамикалық теориясының бастапқы шарты, жарылысты ыдырау реакциясы детонациялық толқын фронтына келіп тірелетін зонада жүзеге асуы болып табылады. Детонациялық толқын фронты жарылыс реакциясы өтетін зонаны жарылысқа ұшырамаған жарылғыш зат зонасынан бөліп тұратын бет түрінде болады. Детонация толқынының фронты осы фронт бетіне перпендикулярлы бағытта өте үлкен жылдамдықпен қозғалады. Толқын фронтынан кейін температура мен қысым бірден (секірмелі түрде) жоғарылайды. Сондықтан жарылыс реакциясы детонация толқынының фронтынан кейін өте тез өтеді және толықтай қалыңдығы аз уақытта жүзеге асады. Бұл қабат детонация толқынының фронтынан кейін осы толқынның жылдамдығымен орын ауыстырады және өзінен кейін қызған, қысымы жоғары газдар қалдырады. Бұл газдар ұлғаю арқылы жарылыстың механикалық әрекетіне әкеледі.
- Сонымен, кейбір жуықтауларды ескерсек, детонация толқының фронты алғашқы тыныш күйдегі жарылғыш зат пен қатты сығылған ыстық жарылыс газдары арасындағы шекара болып табылады (сурет 1).



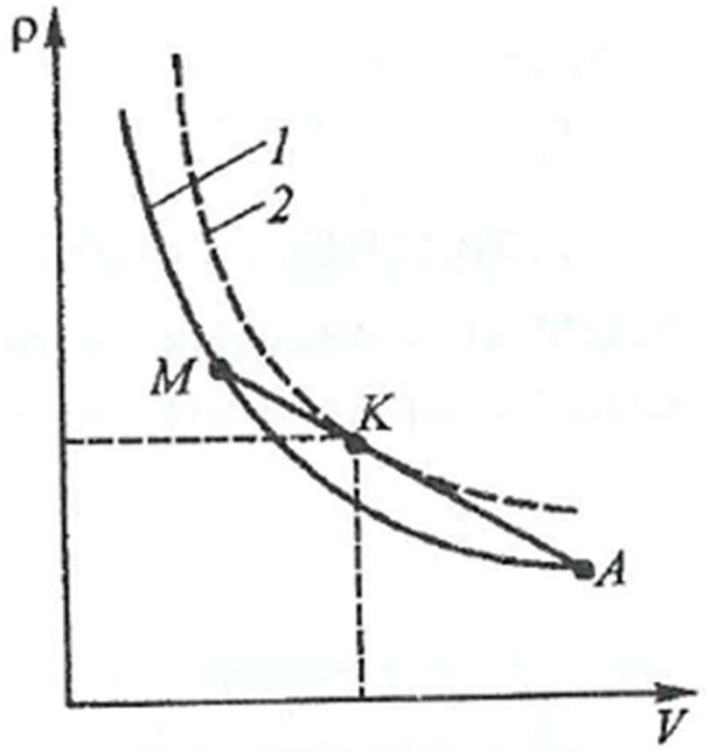
Сурет 1 – Детонациялық толқынның сызбанұсқасы

ЖЗ-тың детонациялық толқында өзгеру күйі p-v координатында 3-суретте көрсетілген. V - меншікті көлем немесе тығыздыққа ρ кері шама. Бастапқы көлемі V_o болатын зат (А нүктесі) соққы толқынында М күйіне дейін сығылады. Бұл кезде химиялық реакция және $\rho_м$ қысым максималды мәнге жетеді. Жылу бөле жүретін және жарылыс өнімдерінің ұлғаюымен өтетін реакциялар дамиды, бұл жағдайда қысым төмендейді, ал зат көлемі ұлғаяды. Реакция жарылыс өнімдерінің соңғы адиабатасындағы К нүктеде аяқталады. Бұл нүкте Чепмен - Жуге нүктесі деп аталады. АКМ түзуі заттың бастапқы күйінің параметрлерін реакцияның максималды сығылу және аяқталу күйлерінің параметрлерін байланыстырады және ол Михельсон түзуі деп аталады. Зат детонациялық толқында біртіндеп АКМ түзуі бойынша барлық күйлерден өтеді. АК бөлігі соққы толқынындағы сығылу зонасына сәйкес келеді, ал КМ бөлігі химиялық реакция зонасы болып табылады. Қысым $\rho_м\rho_к$ қысымынан екі есе үлкен.

- Я.Б. Зельдович және Д.Н. Нейман ұсынған детонацияның гидродинамикалық теориясы бойынша ЖЗ сығылу кезінде соққы адиабатасымен 1 (Гюгонио адиабатасы), ал соққы өнімдер адиабата 2 (жарылыс өнімдерінің соққы адиабатасы) арқылы сипатталады (сурет 2).
- Соққы толқынында ЖЗ-тың сығылу зонасы өте аз (0,1 мкм-ге дейін), ал химиялық реакциялар зонасы ЖЗ-тың физикалық және химиялық қасиеттерінен тәуелді және қорғасын азиді үшін 0,5 мм, тротил үшін 10 мм-ге дейін созылады. Химиялық реакцияның детонациялық толқындағы ұзақтығы 10^{-6}....10^{-7} с шамасын құрайды.
- Детонациялық толқын параметрлері – нүктедегі қысым, көлем, температура, детонация жылдамдығы және детонация фронтынан кейінгі жарылыс өнімдерінің таралу жылдамдығы масса, қозғалыс мөлшері, энергия, детонация өнімдерінің күйінің сақталу заңдарына және Чепмен-Жуге детонация жылдамдығын таңдау ережесіне негізделген теңдеулер жүйелерін шешу жолымен есептеледі. Чепмен-Жуге детонация жылдамдығын таңдау ережесі бойынша, Жуге нүктесінде, яғни адиабата 1-жағдайынан адиабата 2-ге өтуін сипаттайтын детонация жылдамдығы мынаған тең:

$$\vartheta_g = \omega + c,$$

мұндағы ω - жарылыс өнімдерінің қозғалу жылдамдығы, м/с; с – жарылыс өнімдеріндегі дыбыс жылдамдығы, м/с.



Сурет 2 – Соққылық адиабата

Л.Д. Ландау мен К.П. Станюкович жарылыс өнімдерінің күйіне арналған политроп теңдеуін ұсынған:

$\rho V^n = const$,

мұндағы р-қысым; көлем; тығыздығы 1....1,2 г/см^3 болатын Ж3 үшін 3-ке тең болатын политроп көрсеткіші.

Чепмен-Жуге жазықтығындағы қысым негізгі сақталу заңдарын ескергенде келесі теңдеумен есептеледі.

$$P_{ж} = \frac{\rho_o V_д}{n} \sim \frac{\rho_o V_д^2}{4},$$

мұндағы ρ_o – Ж3-тың бастапқы тығыздығы, кг/м^3.

Детонация өнімдерінің тығыздығы:

- $\rho = \frac{4}{3}\rho_o$

Чепмен-Жуге жазықтығынан кейінгі жарылыс өнімдерінің қозғалу жылдамдығы келесі теңдеумен анықталады:

$$\omega = \frac{V_Д}{n+1} \sim \frac{V_Д}{4}$$

Детонация қысымы, жылдамдығы және жарылыс өнімдерінің қозғалу жылдамдығы $p_Ж = \rho_o v_Д \omega$ тәуелділігімен байланысты. Детонация жылдамдығын келесі теңдеу бойынша анықтауға болады:

$$V_Д = 31{,}6\sqrt{2(n^2-1)\,Q}$$

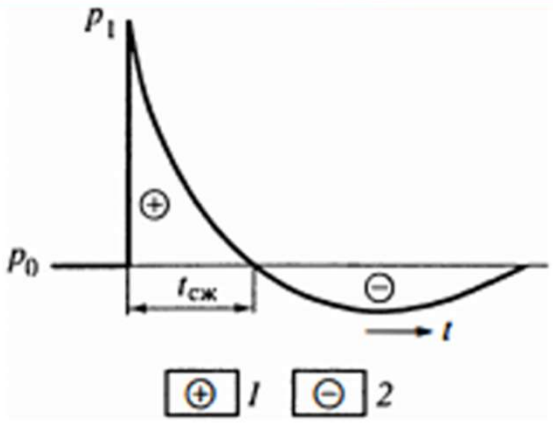
мұндағы Q - жарылыс жылуы, кДж/кг.

Детонация жылдамдығы ЖЗ-тың энергетикалық сипаттамаларына байланысты келесі формуламен анықталады:

$$V_Д = \sqrt{2(n^2-1)Q_{TV}}$$

мұндағы Q_{TV} - ЖЗ-тың тұрақты көлеміндегі жарылыс жылуы, Дж/кг.

- Соққы толқыны өткен кездегі қысымның уақыт бойынша өзгерісі келесі суретте көрсетілген.



Сурет 3 - Соққы толқыны өткен кездегі қысымның уақыт бойынша өзгерісі
1 - сығылу фазасы; 2 - сұйылу фазасы

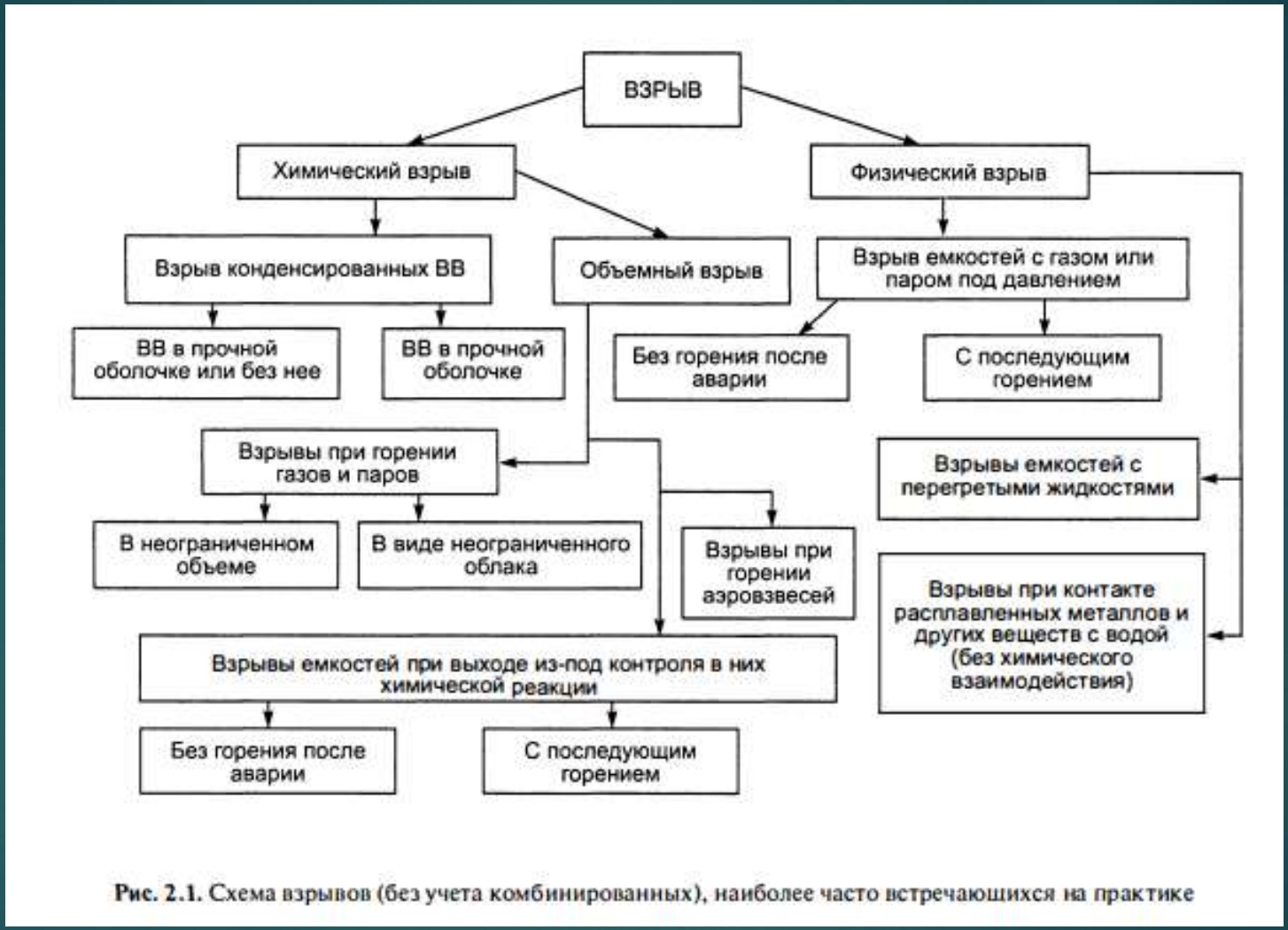


Рис. 2.1. Схема взрывов (без учета комбинированных), наиболее часто встречающихся на практике

Бақылау сұрақтары:

- Соққы толқынын және оның пайда болуын сипаттаңыз
- Соққы толқынындағы негізгі жарылыс параметрлерінің өзгеруін түсіндіріңіз.
- Соққы адиабатасының мәнін ашып түсіндіріңіз.
- Детонациялық толқынның сызбанұсқасын көрсетіңіз.
- Соққы толқыны өткен кездегі қысымның уақыт бойынша өзгерісін бағалаңыз.

Әдебиеттер:

- Ведрученко В.Р., Крайнов В.В., Гаак В.К. Топливо и основы теории горения. Изд-во: Инфра-Инженерия, 2024. – 220 с.
- 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.
- Кудьярова Ж.Б. Өндірістік жарылғыш заттар. - Алматы: Қазақ университеті, 2015. - 158 б.