

13 Лекция

Тұтқыр сұйықтар механикасы

13.1 Ішкі үйкеліс күштері. Сұйықтардың ламинарлық және турбуленттік ағыны

13.2 Стокс формуласы. Пуазейль формуласы.

Идеалды сұйық, яғни үйкеліссіз сұйық, абстракция боп табылады. Барлық нақты сұйықтар мен газдарға көп не аз дәрежеде тұтқырлық немесе ішкі үйкеліс тән.

Әр түрлі жылдамдықпен бір-біріне параллелді қозғалушы сұйықтың екі көршілес қабаттарының арасындағы үйкеліс күші **Ньютонның тұтқыр үйкеліс заңы** бойынша анықталады:

$$F_{\text{тр}} = \eta \left| \frac{du}{dy} \right| S, \quad (150)$$

мұнда S – сұйық қабатының ауданы, $\frac{du}{dy}$ – сұйық қабаттары арасындағы жылдамдық градиенті, η – сұйықтың динамикалық тұтқырлығы деп аталады.

Сұйықтың (немесе газдың) ағысының екі түрін бақылауға болады. Біреуінде, сұйық, бір біріне қарасты, араласпастан сырғитын қабаттарға бөлінетін сияқты. Мұндай ағыс **ламинарлы** (қабатты) деп аталады.

Жылдамдық немесе ағынның көлденең мөлшері артқанда ағын сипаты елеулі түрде өзгереді. Сұйықтың лезде араласып кетуі туындайды. Мұндай ағыс **турбулентті** деп аталады.

Ағылшын оқымыстысы Рейнольдс ағыс сипатының мөлшерсіз шаманың мәніне тәуелді екендігін анықтаған:

$$\text{Re} = \frac{\rho v l}{\eta}, \quad (151)$$

мұнда ρ – сұйықтың (немесе газдың) тығыздығы, v – ағынның орташа жылдамдығы, η – сұйықтың тұтқырлық коэффициенті, l – сипаттық мөлшер.

Бұл шама **Рейнольдс саны** деп аталады. Рейнольдс санының аз мәндері тұсында ламинарлық ағын байқалады. Re -ң қайсібір белгілі мәнінен бастап, ол кризистік деп аталады, ағын турбуленттік сипатқа көшеді.

Стокс формуласы. Аздау Re кезінде, яғни қозғалыстың бояу жылдамдығы тұсында (және аздау l), ортаның қарсылығы іс жүзінде тек үйкеліс күштерінің негізінде ғана болады. Стокс бұл жағдайда қарсылық күші η динамикалық тұтқырлық коэффициентіне, дене қозғалысының v жылдамдығына және денеге тән l мөлшерге пропорционалды екенін анықтады: $F \sim \eta l v$. Мысалы, шар үшін, егер l орнына шардың r радиусын алар болсақ, пропорционалдық коэффициент 6π тең болып шығады. Ендеше:

$$F = 6\pi \eta r v \quad (152)$$

Бұл формула **Стокс формуласы** деп аталады.

Пуазейль формуласы. Сұйықтың дөңгелек құбыр ішіндегі қозғалысы кезінде жылдамдық құбыр қабырғасында нөлге тең және құбырдың өсінде

максималды болады. Ағынды ламинарлы десек, құбыр өсінен r қашықтағы жылдамдық өзгерісі заңын табуға болады:

$$v(r) = v_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right), \quad (153)$$

мұнда v_0 – құбыр өсіндегі жылдамдықтың мәні, ал R – құбыр радиусы.

Көріп отырғанымыздай, ламинарлық ағыс кезінде жылдамдық құбыр өсінен қашықтығына қарай параболалық заңға сай өзгереді.

Ағысты ламинарлы деп шамалай отырып Q сұйықтың ағынын, яғни бірлік уақыттың ішінде құбырдың көлденең қимасы арқылы өтетін сұйықтың көлемін (секунттық шығын) есептеп шығаруға болады. Ағынға арналған формуланы аламыз:

$$Q = \frac{(p_1 - p_2) \pi R^4}{8 \eta l}, \quad (154)$$

мұнда $\frac{p_1 - p_2}{l}$ – құбырдың бірлік ұзындығындағы қысымның түсуі. Бұл формула **Пуазейль формуласы** деп аталады. Осы формула бойынша, сұйық ағыны құбырдың бірлік ұзындығындағы қысымның түсуіне пропорционалды, құбыр радиусының төртінші дәрежесіне пропорционалды және сұйықтың тұтқырлық коэффициентіне кері пропорционалды.

Бұл формула сұйықтың тұтқырлығын анықтау үшін пайдаланылады. Сұйықты радиусы белгілі капилляр арқылы өткізе отырып және қысымның түсуі мен Q ағының өлшей отырып η -ді табуға болады.

Маңдайлық кедергі. Көтеру күші. Магнус эффектісі.

4 Модуль үшін студенттердің өздік жұмысы (СӨЖ)

1. Сұйықтар мен газдардың қасиеттері. Гидроаэростатика заңдары.
2. Дененің тұтқыр сұйық ішіндегі қозғалысы. Стокстың кедергі күші. Тұрақталған қозғалыс.