ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

Жылдамдық лүпілдерін өлшеу



Орташа квадраттық лүпіл
Турбуленттілік қарқындылығы

Исатаев М.С.

4

ДӘРІС
Өлшеу және талдау

Дәрістің мақсаты мен құрылымы

Мақсат

Жылдамдық лүпілдерін өлшеу және есептеу тәсілдерін меңгеру.

Аэродинамикалық құбырдағы ағыс сапасын бағалау.

Негізгі мазмұн

Өлшеу аспаптары

RMS лүпіл

Турбуленттілік деңгейі

Іріктеу және орташалау

Оқу нәтижесі

u_{rms} және Tu есептеу.

Өлшеу жиілігін негіздеу.

Ағыс біртектілігі мен лүпілін ажырату.

Лездік жылдамдықтың уақыттық қатары

$$u(t) = U + u'(t)$$

Орташалау

$U = (1/T) \int_0^T u(t)\, dt$

Орташалау уақыты ағыстың негізгі статистикасын қамтуы тиіс.

Лүпілді анықтау

$u'(t) = u(t) - U$

Бір нүктеде уақыт бойынша өлшенеді. Орташа мәннің тұрақтылығы тексеріледі.

Жылдамдықты өлшеу әдістері

Әдіс	Мүмкіндігі және шектеуі
Пито түтігі	Қысым айырмасынан орташа жылдамдық. Кәдімгі жүйе жылдам лүпілге арналмаған.
Термоанемометр	Жоғары жиілікті жылдамдық өзгерістерін тіркейді. Калибрлеу қажет.
LDA / LDV	Лазерлік доплерлік өлшеу. Ағысқа бақылаушы бөлшектер енгізіледі.
PIV	Кескіндер бойынша жылдамдық өрісін береді. Уақыттық ажыратымдылық жүйеге тәуелді.

Термопара температураны өлшейді. Ол жылдамдық лүпілінің тікелей датчигі емес.

Термоанемометрдің жұмыс принципі

Сезімтал элемент

Қыздырылған жіңішке сымды ағыс салқындатады.

Жылу беру жылдамдыққа тәуелді.

Электр сигналы өлшенеді.

Тұрақты температура

CTA жүйесі сым температурасын кері байланыспен ұстайды.

Ағысты өтеу үшін қажетті электр қуаты өзгереді.

Калибрлеу

Электр сигналы жылдамдықпен салыстырылады.

Ауа температурасы мен сымның бағыты ескеріледі.

Жиіліктік жауап тексеріледі.

Орташа квадраттық лүпіл

$$u_{rms} = \sqrt{\langle u'^2 \rangle}$$

Дискреттік есептеу

$U = (1/N)\ \Sigma u_k$

$u_k' = u_k - U$

$u_{rms} = \sqrt{[(1/N)\ \Sigma (u_k - U)^2]}$

Физикалық мағынасы

u_{rms} өлшем бірлігі: м/с.

Лүпіл амплитудасының статистикалық деңгейін сипаттайды.

Мұнда жазба үшін 1/N нормалауы алынды.

Турбуленттілік қарқындылығы

$$Tu = (u_{rms} / |U|) \cdot 100\%$$

Бір компонент бойынша

Бойлық компонент өлшенсе, бойлық Tu анықталады.

Үш компоненттің анықтамасымен араластырмау қажет.

Түсіндіру шегі

Tu пайызбен беріледі.

U нөлге жақындағанда қатынас тұрақсыз болады.

«Төмен» немесе «жоғары» деңгей міндетке тәуелді.

Есептеу мысалы: бес өлшеу

u_k = {9,6; 10,2; 9,8; 10,4; 10,0} м/с

1. Орташа мән

N = 5

Σu_k = 50,0 м/с

U = 10,0 м/с

2. RMS лүпіл

$\Sigma(u_k - U)^2 = 0{,}40$

$u_{rms} = \sqrt{(0{,}40/5)}$

$u_{rms} \approx 0{,}283$ м/с

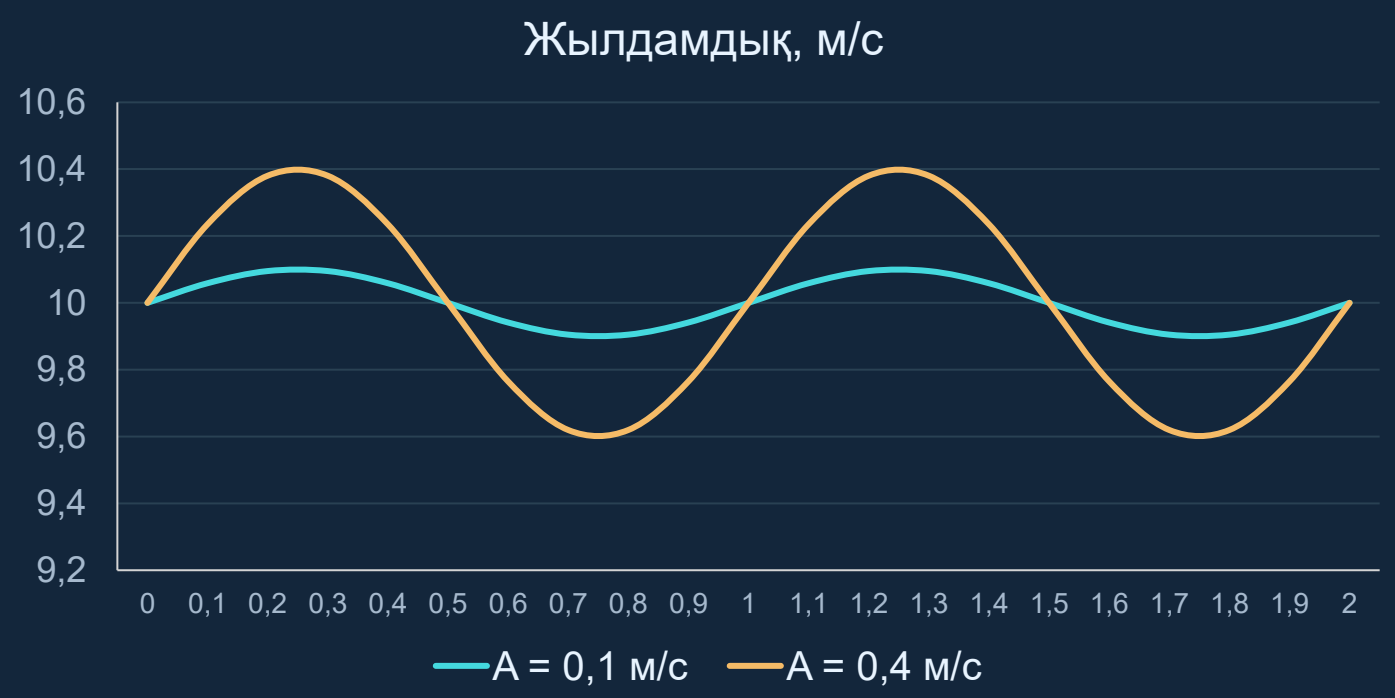
3. Қарқындылық

$Tu = 0{,}283/10 \cdot 100\%$

$Tu \approx 2{,}83\%$

Бұл оқу мысалы.

Орташа жылдамдық бірдей, лүпілдер әртүрлі



Көлденең ось: t, с. Оқу сигналдары: u = 10 + A sin(2πt).
Толық периодтар үшін u_{rms} = A/√2.

Салыстыру

Екі сигналда U = 10 м/с.

A = 0,1 м/с:
Tu ≈ 0,71%

A = 0,4 м/с:
Tu ≈ 2,83%

Сигналдар синтетикалық.

Іріктеу жиілігі және өлшеу ұзақтығы

Іріктеу жиілігі

$f_s > 2fmax$

Найквист шарты сүзгіленген сигналға қатысты.

Жиіліктердің қабаттасуын болдырмайтын сүзгі қажет.

Өлшеу ұзақтығы

T артқанда көбірек құйын құрылымдары тіркеледі.

U мен RMS мәндерінің T бойынша тұрақтануы тексеріледі.

Деректер сапасы

Датчиктің жиіліктік жауабы.

Калибрлеу және шу.

Уақыттық ажыратымдылық.

Қайталама өлшеулер.

Аэродинамикалық құбырдағы ағыс сапасы

Лүпілді азайту

Тыныштандыру камерасы.

Ұяшықты түзеткіш және торлар.

Бірқалыпты тарылту.

Қалдық лүпіл тәжірибеде өлшенеді.

Лүпілді арттыру

Арнайы турбуленттік тор немесе белсенді құйындатқыш қолданылады.

Тордан кейінгі қашықтық өзгергенде ағыс статистикасы да өзгереді.

Қиманы зерттеу

Әртүрлі нүктеде U және Tu өлшенеді.

Біртектілік пен турбуленттілік бөлек бағаланады.

Қажетті деңгей сынақ мақсатына сай таңдалады.

Қорытынды және өзін өзі тексеру

Негізгі қорытынды

Орташа жылдамдық ағысты толық сипаттамайды.

RMS пен Tu лүпіл деңгейін береді.

Нәтиже өлшеу жүйесі мен жазба ұзақтығына тәуелді.

01 U және u′ уақыттық қатардан қалай табылады?

02 RMS лүпілдің өлшем бірлігі қандай?

03 Tu есептеу үшін қандай шамалар қажет?

04 Іріктеу жиілігі аз болса, қандай қате туындайды?

05 Біртектілік пен төмен Tu бір мағына бере ме?