

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАР МЕН ЖАБДЫҚТАР
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENTDOI 10.51885/1561-4212_2024_4_84
MFTAA 30.17.53

Ж. Серікұлы¹, С.А. Кумисбеков², Н.Б. Муталов³, М.Н. Заурбеков⁴, Қ.Н. Рысалы⁵
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан
¹E-mail: 6D072400@gmail.com*
²E-mail: serik_argin@mail.ru
³E-mail: ecocopr@gmail.com
⁴E-mail: muca-84@mail.ru
⁵E-mail: kerowee@mail.ru

**ТҰРАҚТЫ ҚҰРЫЛЫМЫ БАР ЭНЕРГИЯ ТҮРЛЕНДІРГІШ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ С РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ
ENERGY CONVERTERS WITH A REGULAR STRUCTURE**

***Аңдатпа.** Тұрақты дамудың жаһандық мақсаттарына қол жеткізуде баламалы көздердің энергетикасы маңызды рөл атқарады. Жел және діріл энергиясы көздерін пайдалана отырып, электр энергиясын өндіруді зерттеудің өзекті бағыты. Осыған байланысты ілесіе газдарды электр энергиясына айналдыру мақсатында тұрақты құрылымы бар энергия түрлендіргішін қолдану мүмкіндігін негіздеу үшін зерттеулер жүргізілді.*

Мақалада ауа ағыны тудыратын дірілді электр энергиясына айналдыру механизмі қарастырылады. Түрлендіргіштерді қондырғының жұмыс аймағында тиімді орналастыру шарттары, тік және көлденең бағыттардағы құйындылардың пайда болу заңдылықтарына сүйене отырып, қондырғының конструктивті және пайдалану параметрлерін сақтай отырып, тік және көлденең бағыттардағы қадам анықталды. Түрлендіргіштер қозғалған кезде діріл жиілігі мен тербеліс амплитудасы зерттеледі, режимдік параметрлерін өзгертеті, яғни ауа ағынының жылдамдығын өзгерту мен конструктивтік параметрлерін өзгерту, яғни түрлендіргіштің қадамын тік және көлденең бағытта өзгерту. Салыстыру үшін зерттелетін көрсеткіштердің зертханалық және есептік деректері келтірілген. Тік және көлденең бағыттардағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициент теңдеулері көрсетілген.

Зерттеулер нәтижесінде құйындардың пайда болу заңдылықтарын ескере отырып, түрлендіргіштердің тік және көлденең бағытта орналасу қадамдары анықталды, түрлендіргіштердің орналасуына байланысты діріл жиілігі мен тербеліс амплитудасы зерттелді. Электр энергиясын өндіру процесінде бір мезгілде құйындардың пайда болу заңдылықтарын қолдану баламалы көздердің энергетикасын дамытудың перспективалық бағыты болып табылады.

***Түйін сөздер:** жел энергиясы; діріл энергиясы; түрлендіргіш; тұрақты құрылым; діріл жиілігі; тербеліс амплитудасы.*

***Аннотация.** В достижении глобальных целей устойчивого развития энергетика альтернативных источников занимает важную роль. Актуальным направлением исследований выработки электроэнергии с использованием источников энергии ветра и вибрации. В этой связи проведены исследования для обоснования возможности применения преобразователя энергии с регулярной структурой с целью преобразования попутных газов в электрическую энергию.*

В статье рассмотрен механизм преобразования вибрации, создаваемой воздушным потоком, в электрическую энергию. Определены условия эффективного размещения преобразователей в рабочей зоне установки, шаг в вертикальном и горизонтальном направлениях с соблюдением конструктивных и эксплуатационных параметров установки, исходя из закономерностей образования вихрей в вертикальном и горизонтальном направлениях. При движении преобразователей исследуются частота вибрации и амплитуда

колебаний, изменяя режимные параметры, т. е. изменяя скорость воздушного потока и изменяя конструктивные параметры, изменяя шаг преобразователя в вертикальном и горизонтальном направлении. Для сравнения представлены лабораторные и расчетные данные исследуемых показателей. Показаны уравнения коэффициентов, характеризующие взаимодействие вихрей в вертикальном и горизонтальном направлениях.

В результате исследований определены шаги расположения преобразователей в вертикальном и горизонтальном направлениях с учетом закономерностей образования вихрей, исследовались частота вибрации и амплитуда колебаний в зависимости от расположения преобразователей. Применение режимов одновременного вихреобразования в процессе генерации электроэнергии является перспективным направлением в развитии альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергия ветра; энергия вибрации; преобразователь; регулярная структура; частота вибрации; амплитуда вибрации.

Abstract. Alternative energy sources play an important role in achieving global sustainable development goals. A current area of research is the generation of electricity using wind and vibration energy sources. In this regard, research has been carried out to substantiate the possibility of using an energy converter with a regular structure to convert associated gases into electrical energy.

The article discusses the mechanism for converting vibration created by air flow into electrical energy. The conditions for the effective placement of converters in the working area of the installation, the step in the vertical and horizontal directions, in compliance with the design and operational parameters of the installation, are determined, based on the patterns of vortex formation in the vertical and horizontal directions. When the transducers move, the vibration frequency and amplitude of oscillations are studied, changing the operating parameters, i.e., changing the air flow speed and changing the design parameters, changing the pitch of the transducer in the vertical and horizontal direction. For comparison, laboratory and calculated data of the studied indicators are presented. The coefficient equations characterizing the interaction of vortices in the vertical and horizontal directions are shown.

As a result of the research, the steps of location of the transducers in the vertical and horizontal directions were determined, taking into account the patterns of vortex formation. The vibration frequency and amplitude of oscillations were studied depending on the location of the transducers. The use of simultaneous vortex formation modes in the process of generating electricity is a promising direction in the development of alternative energy sources

Keywords: wind energy; vibration energy; converter; regular structure; vibration frequency; vibration amplitude.

Қысқашы. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергия көздеріне көшу, кейбір елдерде жалпы энергия тұтынудың жаңартылатын көздерден алынатын үлесі 50 %-дан асатыны, глобалдық энергетикалық саясат пен тәжірибедегі түбегейлі өзгерісті білдіреді. Бұл өзгеріс тек климаттың өзгеруіне және қазба отын қорларының таусылуына шұғыл жауап ретінде ғана емес, сонымен қатар жаңартылатын энергия секторларындағы инновациялар мен технологиялық жетістіктерді де көрсетеді. Әсіресе, жел энергетикасы бұл көшуге маңызды рөл атқарады, көмірқышқыл газы шығарындыларын азайту әлеуетімен қазба отынға тұрақты балама ұсынады.

Жел энергетикасының болашақ дамуы глобалдық тұрақты даму мақсаттарына жетуде өте маңызды (Watson S. et al., 2019). Дегенмен, оның бәсекеге қабілеттілігін және тиімділігін арттыру үшін шешілуі тиіс бірқатар мәселелер тұр. Негізгі мәселелердің бірі – құнының бәсекеге қабілеттілігі. Жел энергиясы дәстүрлі қазба отындарымен және басқа да жаңартылатын көздермен, әсіресе шығындарын айтарлықтай төмендетіп, тиімділігін арттырған күн фотоэлектрикасымен салыстырғанда экономикалық тұрғыдан өміршең болуы тиіс. Бұл мәселені шешу үшін жел энергетикасы саласында тиімділігін арттыру және жел турбиналарының құнын төмендетуге бағытталған жылдам технологиялық прогресс байқалады.

Жел энергетикасының дамуымен қатар, қоршаған ортаның вибрациясынан энергия жинау немесе виброэнергетикаға деген қызығушылық артуда. Бұл инновациялық тәсіл жер сілкіністерінен, жел немесе теңіз толқындарының қысымынан, сондай-ақ ұшақтардың немесе көліктердің қозғалысынан туындайтын қоршаған ортаның барлық жерде кездесетін вибрацияларын пайдалану арқылы электр энергиясын өндіруді қарастырады. Қоршаған ортаның вибрациялары дәстүрлі жаңартылатын энергия жүйелерін толықтыра алатын

перспективалы және пайдаланылмаған орта энергия көздерінің сыныбын құрайды (Marano G.C. et al., 2019; Hu J. et al., 2018; Joos M. & Staffell I., 2018; Benedek J., Sebestyén T-T. & Bartók B., 2018; Verzijlbergh R.A. et al., 2017; Peter D. Saundry., 2019).

Мақалада ауа ағыны арқылы пайда болатын вибрацияны электр энергиясына айналдыру механизмі талқыланады. Бұл механизм құйындардың өзара әрекеттесуі мен қалыптасу принциптеріне негізделген, реттелген құрылымды түрлендіргіштерді қолдана отырып жүзеге асырылады (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000; Балабеков О.С. et al., 2004). Бір уақытта құйындар пайда болу құбылысын нақты мәндерсіз 2000 жылы АҚШ зерттеушілері (Andreopoulos Y. & Honkan A., 2001; Shah N., Sanket S. & Dhruvesh P., 2017) жұмысында келтіреді. Жұмыстарында құйындардың бірігу кезінде көлемі жағынан 4 есеге артатыны, ал ауа ағынының кинетикалық энергиясы 10 есе артатынын зерттеулерінде дәлелдеді. Бұл принциптер жылу және масса алмасу процестерінде өз тиімділігін дәлелдеген (Serikuly Zh., Volnenko A.A. & Kumisbekov S.A., 2014; Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015; Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017; Serikuly Zh., Volnenko A.A. & Kumisbekov S.A., 2018; Zhumadullayev D. et al., 2017), энергия жинау технологиялары үшін перспективалы бағыт ретінде ұсынылады.

Мұндай технологиялардың дамуы тек жаңартылатын энергия көздерінің қолданыс аясын кеңейтіп қана қоймай, сонымен қатар бұрын ескерілмеген қоршаған ортаның энергия көздерін пайдалану жаңа мүмкіндіктерін ашады. Қоршаған ортаның вибрацияларының күшін, жел мен басқа да жаңартылатын энергия көздерімен бірге пайдалана отырып, қазба отынға тәуелділікті азайтып, көмірқышқыл газы шығарындыларын қысқарта отырып, тұрақты энергетикалық болашаққа жақындай аламыз. Бұл көп салалы тәсіл, жел энергетикасындағы жетістіктермен қатар виброэнергетика инновацияларын біріктіре отырып, жаңартылатын энергия секторының динамикалық және дамып келе жатқан сипатын көрсетеді, тұрақты және энергия тиімділігі жоғары әлемге деген үмітті арттырады.

Тақырыпты әзірлеу негізі жүйелі құрылымы бар аппараттарды құру және оларды синфазалы-құйынды режимде энергияны түрлендіру үшін қолдану мәселелерінің іргелі шешімдерінің болмауы болып табылады.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі болып жүйелі құрылымымен жел энергетикалық қондырғылардың зерттеу нәтижелерінің болмауы.

Тақырыптың өзектілігі. Жел ресурстарына аса бай аумағы бар Қазақстан үшін ЖЭҚ әлеуетті барынша тез ұлғайту қажет. Жабдықтың материал сыйымдылығын төмендету маңызды фактор болып табылады. Бұл ретте күрделі және эксплуатациялық шығындар айтарлықтай азаяды, бұл инновациялық технологиялардың техникалық-экономикалық негізі болып табылады. Осыған байланысты, ауа ағынының синфазалы-құйынды әрекеттесуі негізінде инновациялық энергия генерациялайтын жабдықты құру өзекті болып табылады.

Жұмыстың мақсаты-жаңартылатын энергия көздерінен электр энергиясын қосалқы көзі ретінде пайдалану үшін инновациялық энергия генерациялайтын қондырғының діріл жиілігін және бос ұштарындағы тербеліс амплитудасын анықтау.

Жұмыс кезеңінің міндеттері:

– қондырғының діріл жиілігін түрлендіргіштердің орналасуына тәуелділігін зерттеу;
– қондырғының тербеліс амплитудасын түрлендіргіштердің орналасуына тәуелділігін зерттеу;

– тік және көлденең бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициенттерді анықтау;

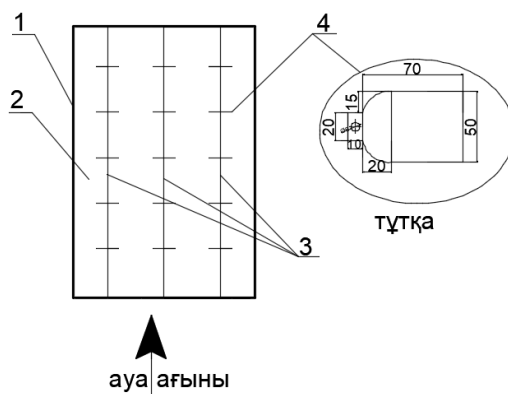
– зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтерді есептік мәліметтермен салыстыру.

Материалдар мен әдістер. Қондырғының сипаттамасы. Эксперименттік жұмыстарды жүргізу үшін 400×400×600 мм өлшемде Әуезов университетінің академик О.С. Балабеков

атындағы зертханада қондырғы құрастырылды. Эксперименталды қондырғы сұлбасы 1-суретте келтірілген. Жұмыс арнасында құбырларға орнатылған түрлендіргіш (70×50 мм) бар. Ауа ағыны жылдамдығының 1 м/с – 6 м/с аралықта өзгерді. Бұл аралықты таңдау себебі Бафорт шкаласы бойынша 2 (1,6-3,3 м/с) және 3 (3,4-5,4 м/с) балға тең, сондай-ақ қала аумағында да қолжетімді жел боп саналады.

Қондырғыда өтетін процесті көзбен көру мақсатында жан жағынан жабық органикалық шынымен 2 металл қаңқадан 1 тұрады. Бірінші қондырғының ішінде ұзына бойы диаметрі 10 мм бос металл құбырлар орнатылған 3, қондырғының үстінен және төменгі жағынан бекітілген.

Құбырларды қолдану себебі энергияны генерациялау кезінде электр сымдарын құбырлардың ішінде өткізу үшін. Құбырлар мен шыбықтардың бойында тік бағытта белгілі бір кадаммен түрлендіргіштер орнатылған 4.

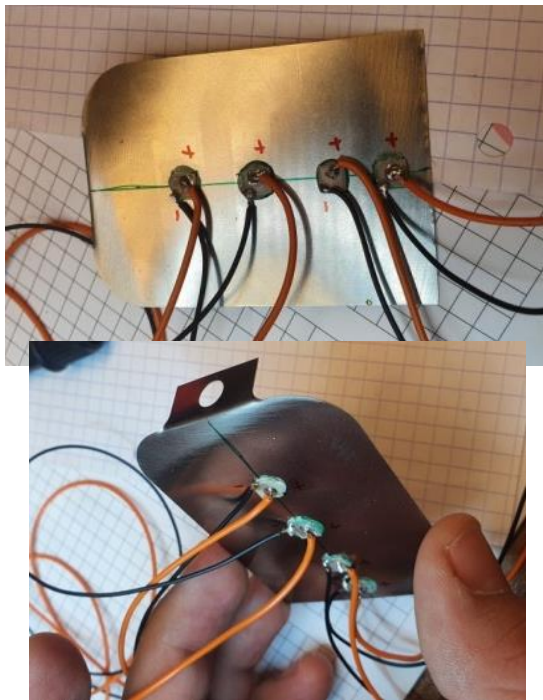


1-сурет. Эксперименталды қондырғының сұлбасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Түрлендіргіштердің орналасуын зерттеу мақсатында екі түрлі зерттеу әдісі қолданылды. Олар: стробоскопиялық және осциллографиялық. Зерттелетін түрлендіргішті қозғалысының сапалық және сандық параметрлерін стробоскопиялық тахометр Testo 477 көмегімен анықталды. Стробоскопиялық зерттеу әдісі контактсіз, яғни зерттелетін объектілерге әсер етпестен өлшеулерді жүргізуге мүмкіндік береді. Қондырғының жұмыс аймағында құбырларда бекітілген түрлендіргіштер ауа ағынының әсерінен қозғалыстар жасайды. Қозғалысты бақылау және қажетті өлшеу Testo 477 көмегімен жүзеге асырылды. Тахометрдің көмегімен дірілдейтін түрлендіргіштерді бақылай отырып, стробоскопиялық әсердің арқасында оларды қозғалыссыз немесе баяу қозғалыс жағдайында қарауға болады. Мұндай бақылаулар зерттелетін объектінің қозғалыс жылдамдығын анықтауға, сондай-ақ оның қозғалысы мен жұмысының ерекшеліктері туралы мәліметтерді алуға мүмкіндік береді. Тахометрдің өлшеу шектері 30-300.000 FPM, тахометрдің негізгі қателігі 0,02 % (± 1 белгі). Зерттелетін түрлендіргіштің пішіні 2-суретте көрсетілген.

Осциллограф Agilent InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes көмегімен түрлендіргіштерді діріл жиілігі мен амплитудасын бақылауға болады. Сол себептен түрлендіргіштердің бетіне пезодатчик желімденіп үстіне сымдар дәнекерленіп (2-сурет) осциллографқа жалғанды.



2-сурет. Түрлендіргіш бейнесі

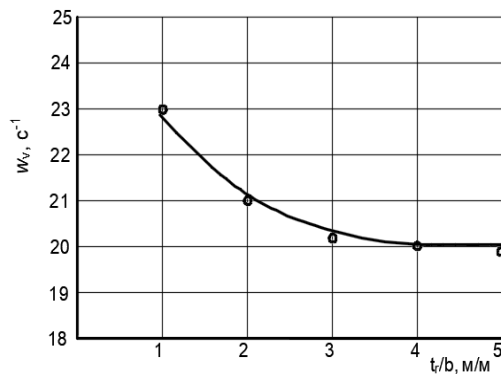
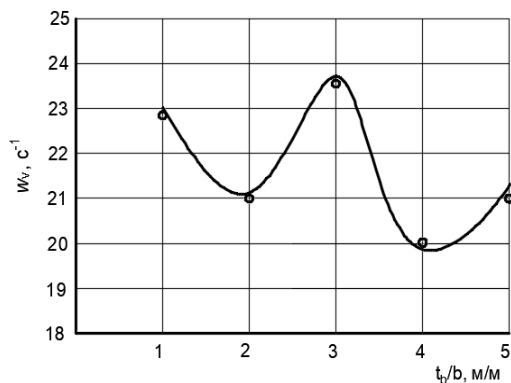
Ескерту – автормен құрастырылған

Жел жылдамдығы «mini air I» анемометрімен өлшенген. Анемометр жартылай автоматты. Қалақтары бар түтікшесі ауа ағыны бағытында салынады. Анемометрдің қателігі ($0,3 + 0,05 V$) м/с көп емес.

Нәтижелері және оларды талқылау. Түйіспелі элементтердің қозғалыс параметрлеріне жүргізілген зерттеулерге байланысты ауа ағынының жылдамдығы көбеюмен діріл жиілігінің және бос ұштарындағы тербеліс амплитудасының өсуі байқалады. Жоғарыда аталған көрсеткіштердің өсуі, түрлендіргіштердің бос ұштарының ауданына тиімді әсер ететін ауаның динамикалық ағынның артуына байланысты екені мәлім.

Келесі кезекте түрлендіргіштердің құрылымдық параметрлерінің онтайлы шамаларын анықтау жоспарланды. Бұған қол жеткізу үшін түрлендіргіштердің тік және көлденең бағытта орналасуы кезінде зерттелетін шамаларға әсерін бағалау қажет.

Жоғарыда айтылғандай қолданып отырған түрлендіргіштердің пішініне қарай және құйындардың пайда болу заңдылығына сүйене отырып бірауқытта құйындардың пайда болу режиміне екі рет қол жеткізуге болады.



$$t_r/b = 2; t_b/b = 2; W_g = 4 \text{ м/с}$$

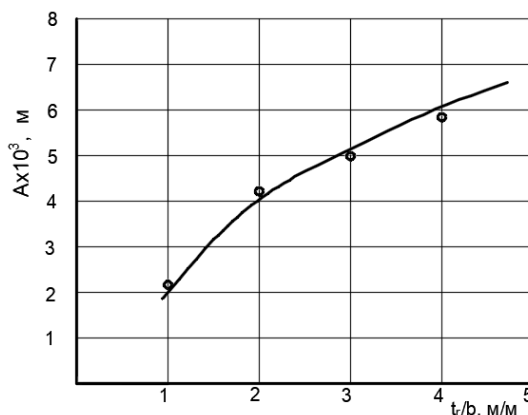
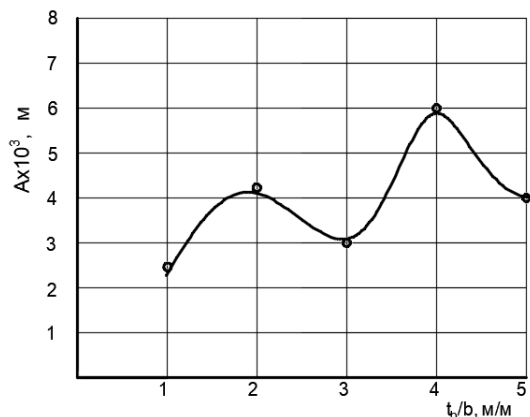
Қисық-есептеу; нүкте-эксперимент

3-сурет. Діріл жиілігінің тік және көлденең қадамға тәуелділігі

Ескерту – автормен құрастырылған

Синфазалық режим бұзылған жағдайда қондырғының тиімділігі жұмысшы аймақ көлемінде пайда болған құйындардың санының азаю есебінен төмендейді. Бұл ағын бойында жоғары орналасқан денелердің артынан қалыптасу циклін аяқтамаған, төменгі денелердің ағынынан үзілген құйындардың мәжбүрлі түрде үзілуі нәтижесінде орын алады.

Алайда, бұл кезде тербеліс амплитудасы біршама артады, өйткені құйын құраушы күш түрлендіргіштердің бос ұштарының қозғалысын түзетуге әсер етеді (3-сурет).



$$t_r/b = 2; t_b/b = 2; W_g = 4 \text{ м/с}$$

Қисық-есептеу; нүкте-эксперимент

4-сурет. Тербеліс амплитудасының тік және көлденең қадамға тәуелділігі

Ескерту – автормен құрастырылған

Ендеше тік бағытта дискретті орналасқан денелерді үзілу-ағылу кезіндегі пайда болатын құйындардың өзара әрекеттесу заңдылығы бұзылған кезде амплитуданың төмендеуін байқауға болады. Бұл құбылысты талдай отырып және де түрлендіргіштердің бетінде электр энергиясын генерациялайтын пьезоэлементтердің орналасуын ескеріп тік қадамдағы қадамды екіге тең деп қабылданды. Бұндай шешім қабылдаудың себебі пьезоэлементтердің неғұрлым көп болғаны қондырғының соғұрлым өнімділігі артады.

Көлденең бағытқа келер болсақ дискретті денелер жүйесі арқылы ауа ағынының ағысы кезінде параллель қозғалатын құйынды ағыстардың қалыптасу заңдылықтары әсер ететіні

байқауға болады (4-сурет). Бұл жағдайды былай түсінуге болады. Көлденең бағыттағы түрлендіргіштердің мәні 2 ден кіші болғанда құйынның пайда болуына түрлендіргіштердің арасындағы саңылау әсер етсе, 2 не одан жоғары болған жағдайда түрлендіргіштердің ені себепші болады.

Бұл құбылысты талдай отырып көлденең бағыттағы түрлендіргіштердің қадамы екіге тең деп қабылданды. *Тік бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесу дәрежесін анықтау үшін олардың пайда болу сәтіндегі жылжу шамасы қолданылады, ол Θ_b коэффициенті ретінде белгіленеді (Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017)*. Бұл шаманың физикалық мағынасы T периодында дәйекті орналасқан денелердің тізбектерімен түзілетін жалпы саннан толық қалыптасқан құйындардың бөлігін анықтау болып табылады. *Кезінде $\Theta_b=1$ іске асырылуда режимдерін бір мезгілде құйындар пайда болу (синфазды режимі)*. Түрлендіргіш үшін Θ_b өзгеру шамасы 0,7 – 1,0. $\Theta_b = 1$ кезінде бір мезгілде құйындар қалыптасу режимі жүреді (синфазды режимі).

Тік бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициент Θ_b (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000):

$$\theta_b = 0,85 + 0,15 \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{4t_b \cdot Sl}{m_k} + 1 \right) \right]. \quad (1)$$

мұндағы Sl – Струхаль саны: пластиналы элементтер үшін $Sl=0,15$; m_k – параметр, құйынды түзуді, ағылатын элементтердің пішінін және құйындардың жылдамдығының төмендеуін ескеретін параметр: пластиналы элементтер үшін, $m_k < 1$.

Әдебиеттерде m_k шамасына көптеген мәліметтер келтірілген, келесідей (Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017) $m_k -0,74-0,78$, (Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015) $m_k = 0,86$ және т.б. Бұл шамалар тұрақты болып қабылданған.

Зерттеу көрсеткендей, түйіспелі денелердің тізбегіндегі құйынның қозғалыс жылдамдығының өзгеруі олардың арасындағы қашықтыққа байланысты. Ара қашықтық артқан сайын құйындардың өсу жылдамдығы экспоненциальді заңға сәйкес келеді, жалғыз ағылатын денеден туындайтын құйын жылдамдығына жақындап. Гидродинамикалық параметрлерді зерттеу нәтижелерін өңдеу және жұмыстарда келтірілген (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000; Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015; Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017) мәліметтерді талдау нәтижесінде m_k анықтау үшін төмендегі теңдеу алынды:

$$m_k = 0.329(1 - \exp(-t_b)) \quad (2)$$

Струхаль сандарын көрсетіп Θ_b шамасын (1) теңдеумен есептеу нәтижелері, алынған қисықтардың экстремумдары жұмыста ұсынылған қадамдарда бір мезгілде құйын пайда болу режимдеріне сәйкес келетінін көрсетеді: пластина үшін $t_b = 2b$ және $4b$ (Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015).

Көлденең бағытта құйындардың өзара әрекеттесу дәрежесін сипаттайтын және құйын пайда болу жиілігінің өзгеруін ескеретін коэффициент Θ_r келесі формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$\theta_r = \frac{t_r - \lambda}{t_r - b}. \quad (3)$$

Бір қатарда орналасқан ағынға перпендикуляр, көлемді құйынды қалыптастыруға ықпал ететін λ масштабымен импульсті элементтер. Ағынға перпендикуляр бір қатарда дискретті орналасқан денелер үшін екі жағдай бар: $t_r > 2b = b$; және $t_r < 2b = t_r - b$.

Бір қатарда орналасқан ағынға перпендикуляр, көлемді құйынды қалыптастыруға ықпал ететін λ масштабымен импульсті элементтер. Ағынға перпендикуляр бір қатарда дискретті орналасқан денелер үшін екі жағдай бар: $t_r > 2b = b$; және $t_r < 2b = t_r - b$.

Қорытынды. Құйындардың пайда болу заңдылықтарын негізге ала отырып, түрлендіргіштердің құйын пайда болу, қосылу шарттарының негізі болып табылатын шама ол тік және көлденең бағыттағы кадам екендігін айқындауға болады. Діріл жиілігінің және тербеліс амплитудасының түрлендіргіштердің тік және көлденең кадамдарға тәуелділігі анықталды. Тік кадамда екі түрлі бірізгілікті құйын пайда болу шарттары бар екендігі дәлелденді, олар 2 және 4 тең. Көлденең бағытта ол шама 2 тең. Тік және көлденең бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициенттер сипатталды. Ендеше бұл құбылыстың сандық және сапалық көрсеткіштерін анықтай отырып электр энергиясын генерациялау процесіне қолданудың үлкен маңыздылығы анық.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл жұмыс грант АР14972723 Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылды.

Әдебиеттер тізімі

- Watson S., Moro A., Reis V., et al. (2019). Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 113, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109270>
- Marano G.C., Quaranta G., Trentadue F., He L., Acciani G. (2019). Optimal design of energy harvesting from vibration subject to stochastic colored Gaussian process. *Journal of Physics Communications*, n. 3, 1-11. <https://doi.org/10.1088/2399-6528/aad494>
- Hu J., Harmsen R., Crijns-Graus W., Worrell E., van den Broek M. (2018). Identifying barriers to large-scale integration of variable renewable electricity into the electricity market: A literature review of market design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, 2181-2195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.028>
- Joos M., Staffell I. (2018). Short-term integration costs of variable renewable energy: Wind curtailment and balancing in Britain and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 86, 45-65. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.009>
- Benedek J., Sebestyén T-T., Bartók B. (2018). Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, 516-535.
- Verzijlbergh R.A., De Vries L.J., Dijkema G.P.J., Herder P.M. (2017). Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 660-667. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.039>
- Peter D. Saundry. (2019). Review of the United States energy system in transition. *Energy, Sustainability and Society*, vol. 9, art. 4, 1-32.
- Балабеков О.С., Петин В.Ф. (2000). Закономерность взаимодействия вихрей, возникающих при отрывном обтекании потока газа или жидкости дискретно расположенных вдоль него тел. Свидетельство о научном открытии №144. М.: Международная ассоциация авторов научных открытий. / Balabekov O.S., Petin V.F. (2000). Zakonomernost' vzaimodejstviya vihrej, vznikajushhih pri otryvnom obtekanii potokom gaza ili zhidkosti diskretno raspolozhennyh vdol' nego tel. Svidetel'stvo o nauchnom otkrytii №144. M.: Mezhdunarodnaja asociacija avtorov nauchnyh otkrytij.
- Балабеков О.С., Волненко А.А., Пралиев С., Крганбаев Б.Н., Балабекова М.О., Викторов С.В. (2004). Закономерность формирования параллельно движущихся вихревых струй при течении потока газа или жидкости через систему поперек к нему расположенных дискретных источников. Свидетельство о научном открытии. – № 269. – М.: Международная ассоциация авторов научных открытий. / Balabekov O.S., Volnenko A.A., Praliev S., Korganbaev B.N., Balabekova M.O., Viktorov S.V. (2004). Zakonomernost' formirovaniya parallel'no dvizhushhihsja vihrevykh struj pri techenii potoka gaza ili zhidkosti cherez sistemu poperek k nemu raspolozhennyh diskretnykh istochnikov. Svidetel'stvo o nauchnom otkrytii №269. M.: Mezhdunarodnaja asociacija avtorov nauchnyh otkrytij.
- Andreopoulos Y., Honkan A. (2001). An Experimental Study of the Dissipative and Vortical Motion in Turbulent Boundary Layers. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 439, pp. 131-163. <https://doi.org/10.1017/S0022112001004475>
- Shah N., Sanket S., Dhruv P. (2017). Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy. *IJARIE*, vol. 3, n. 2, 917-921.
- Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. (2014). Mass transfer in the apparatuses with preformed packing bodies. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, vol. 8, n. 4, 779-784.
- Балабеков О.С., Волненко А.А. (2015). Расчет и конструирование теплообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой. Монография. Шымкент: ЮКТУ им. М.Ауезова / Balabekov O.S., Volnenko A.A. (2015). Raschet i konstruirovanie teplomassoobmennyh i pylulavlivajushhih apparatov s podvizhnoj i reguljarnoj nasadkoj. Monografija. Shymkent: JuKGU im. M.Auezova

- Кумисбеков С.А., Волненко А.А., Серікұлы Ж. (2017). Аппарат с регулярной пластинчатой вибрирующей насадкой. Разработка и расчет. Монография. Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова. / Kumisbekov S.A., Volnenko A.A., Serikuly Zh. (2017). Apparat s reguljarnoj plastinchatoj vibrirujushhej nasadkoj. Razrabotka i raschet. Monografija. Shymkent: JuKGU im. M.Auezova.
- Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. (2018). Development and calculation of the heat and mass transfer apparatus with a mobile packing considering a large-scale effect. Monograph. Shymkent: M. Auezov SKSU.
- Zhumadullayev D., Volnenko A.A., Balabekov O.S., Serikuly Z., Kumisbekov S.A., Ramatullayeva L.I. (2017). Heat carrier vortex motion influence on the hydrodynamics and heat exchange in the pipes with transverse collars and flow core energizers. International Review of Mechanical Engineering (IREME), Praise Worthy Prize, vol. 11, n. 2, 127-131. <https://doi.org/10.15866/ireme.v11i2.11026>

Information about authors

Serikuly Zhandos – PhD, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: 6d072400@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6321-4407, +7 7011022422

Kumisbekov Serik Arginbaevich – PhD, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: serik_argin@mail.ru

Mutalov Nurjigit Batyruly – Master of Engineering Sciences, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: ecocopr@gmail.com

Zaurbekov Musabek Nasyrovich – Master of Engineering Sciences, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: muca-84@mail.ru

Rysaly Kuanysh Nurlanuly – Master of Engineering Sciences, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: kerowee@mail.ru