

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2025)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/NRPL3020>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/DEVN6368>***А. А. Бектасова¹, Б. Т. Смагулов², Е. А. Сарсенбаев³**^{1,3}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;² АҚ «Қазақстан электролиз зауыты»,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8888-8894>²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4924-3232>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-1171>*e-mail: Bektasova_aa@mail.ru

ЖЕЛ ТУРБИНАЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Қазақстанның айтарлықтай жел әлеуеті бар және жасыл экономикаға көшу аясында жел энергетикасын белсенді дамытуда. Соңғы жылдары жел қондырғыларының тиімділігін арттыра алатын конфузорлар мен диффузорлар сияқты инновациялық технологияларды енгізуге ерекше көңіл бөлінуде. Бұл жұмыста әртүрлі аэродинамикалық ағынды концентраторларды көлденең осьтік жел турбиналарының конструкциясына біріктіру қарастырылады, бұл олардың сенімділігін, тиімділігін және электр қуатын өндіру деңгейін арттыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Зерттеу жұмысының мәні турбинаның кірісінде жел жылдамдығын арттыру болып табылады, бұл оның энергия тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Энергия өндіруді арттыру үшін жел жылдамдығын арттыру әдісі қарастырылады. Ол үшін COMSOL Multiphysics бағдарламалық жасақтамасында турбинаны жобалаймыз, онда біз белгілі бір ашылатын бұрыштардағы конфузор мен диффузорды қарастырамыз, есептеулер ақырлы элементтер әдісімен жүзеге асырылады. Жел турбинасының конструкциясын инженерлік бағдарламалық қамтамасыз етуде модельдеу кезінде толық масштабты модельге барыниша жақын сәйкестікке ұмтылу қажет болды. Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, ауа ағынының максималды жылдамдығы турбина орнатылған тар аймақта байқалады, содан кейін ол баяулайды және электр энергиясын өндіру көлемінің ұлғаюына қол жеткізіледі.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия, концентраторлар, ауа ағынының күшейткіштері, жел генераторлары, конфузорлар, диффузорлар.

Кіріспе

Жаңартылатын немесе баламалы энергия табиғи жолмен қалпына келетін табиғи ресурстарды күн, жел, су, биомасса, геотермалдық көздер және тағы басқа пайдалануды қамтиды. Әртүрлі табиғи әлеуеті Қазақстан үшін мұндай энергия көздерін дамыту тұрақты экономикалық және экологиялық өсудің маңызды элементіне айналуға [1, 2-б.].

Қазақстанның айтарлықтай жел әлеуеті бар және жасыл экономикаға көшу аясында жел энергетикасын белсенді дамытуда. Соңғы жылдары жел қондырғыларының тиімділігін арттыра алатын конфузорлар мен диффузорлар сияқты инновациялық технологияларды енгізуге ерекше көңіл бөлінуде [2, 10–14-бб.]. Бұл елдің таза әрі тиімді энергетикалық болашағына жасалған қадам.

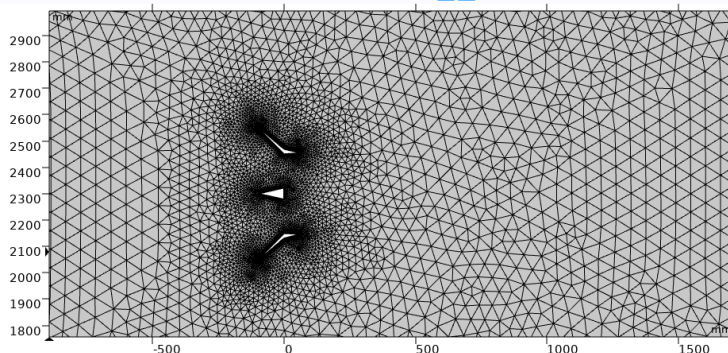
Материалдар мен әдістері

Энергия өндіруді арттыру үшін жел жылдамдығын арттыру әдісін қарастырайық [3, 279–284-бб.]. Ол үшін COMSOL Multiphysics бағдарламалық жасақтамасында турбинаны жобалаймыз, онда біз белгілі бір ашылатын бұрыштардағы конфузор мен диффузорды қарастырамыз, есептеулер ақырлы элементтер әдісімен жүзеге асырылады [4, 1-б.].

Жел энергиясын пайдалану жылдамдығын қондырғының дизайнын оңтайландыру арқылы арттыруға болады, бұл қалақтардың әрекет ету аймағындағы ауа ағынының жеделдетуін қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе маңызды, өйткені жел жылдамдығының шамалы өсуі энергия өндірісін күрт арттыруы – өйткені ол үшінші дәрежеге дейінгі жылдамдыққа байланысты.

Осы зерттеуде қолданылатын, есептелген аймаққа салынған тор шешімнің барлық кезеңдерінде тұрақты болып қалады (1-сурет) [5, 329–345-бб.].

Инженерлік бағдарламалық қамтамасыз етуде жел турбинысы дизайнын модельдеу кезінде толық масштабты модельге барынша жақын сәйкестікке ұмтылу қажет. Гидродинамикалық есептеулердегі қателердің ықтималдығын азайту үшін бағдарламалық жасақтамадағы торды мүмкіндігінше жақсы етіп жасаймыз.



1-сурет – Корпусының үлгісінің бір нұсқасының конструкторлық торы

Нәтижелер және талқылау

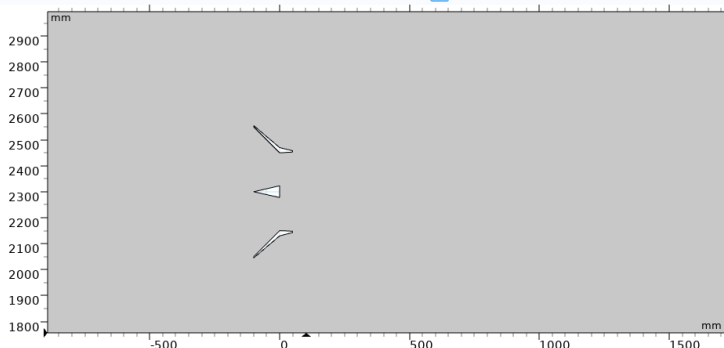
Құрылымның жобаланған үлгісі келесі құрылғылардан тұрады:

Конфузор (жел ағынын бағыттайтын конус) жел турбинасы корпусымен бір осьте құрылымның ортасында орналасқан. Конфузор жел турбинасы қалақтары орналасқан аймаққа желді күшейтуге арналған;

Жел турбинасы корпусымен бір осьте орналасқан диффузор ауа ағынын бағыттайды, бұл жел турбинасы қалақтары орналасқан аймаққа желді жеделдетуге көмектеседі;

Жел турбинасы корпусы

Зерттелетін құрылымның осьтік симметрияға ие екендігін ескере отырып, есептеулерді жеңілдету және оның аэродинамикалық сипаттамаларын нақтырақ талдау үшін модельдің көлденең қимасы таңдалды, ол 2-суретте көрсетілген. Біз COMSOL Multiphysics бағдарламалық жасақтамасының «Геометрия» қойындысында құрылымды жобалаймыз [6, 655–671-бб.]; [7, 964–989-бб.]. Жобалық зерттеуде қазіргі орта ауа болып, ал жобаланған құрылымның материалы темір болып таңдалады [8, 2-б.]. Зерттеуді жүргізуге арналған бағдарламалық жасақтамадағы шекаралық шарттарды анықтаймыз [9, 35–41-бб.]; [10, 502-б.].

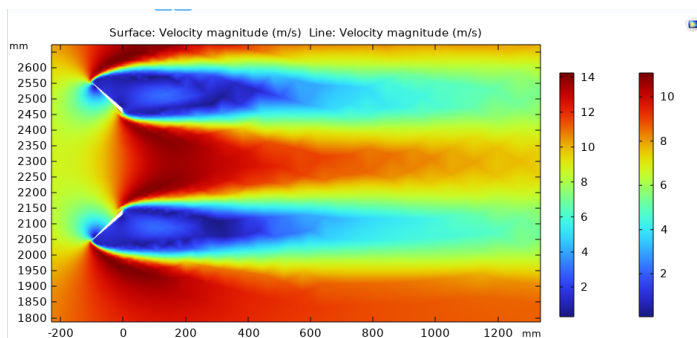


2-сурет – Жабық типті жел турбины корпусының алдында орнатылған конфузор мен диффузор моделінің көлденең қимасы

Бұл жұмыста келесі жұмыстар жүргізілді:

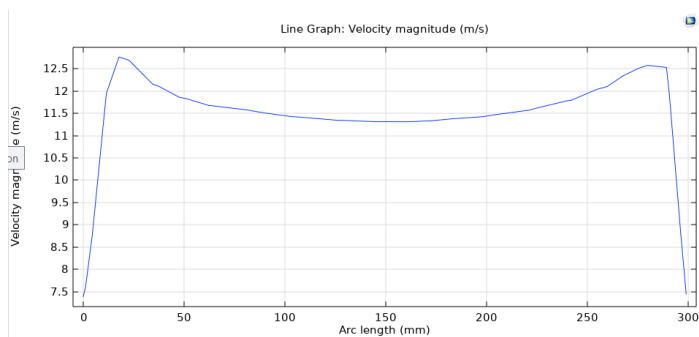
Жел турбины корпусымен бір осьте құрылымның ортасында орналасқан шатастырғышы бар жел қондырғысының жұмысы қарастырылады. Бағыттаушы конустың ашылу бұрышы 45° -ке орнатылған. Жел турбины қалақтарына берілетін шығыс жылдамдығын қарастыратын болсақ, онда кіріс жылдамдығы 10 м/с орнату қажет.

Жасалған есептеулерді диаграммалар мен графиктер түрінде көрсетіп, талдаулар жүргіземіз. Талдау көрсеткендей, ауа ағынының максималды жылдамдығы турбина орнатылған тарылу аймағында байқалады, содан кейін ол баяулайды (3-сурет). Бұл жағдайда шатастырғыштың шығысындағы жел ағынының жылдамдығы бастапқы мәні 10 м/с болғанда 12,7 м/с жетеді. (4-сурет).



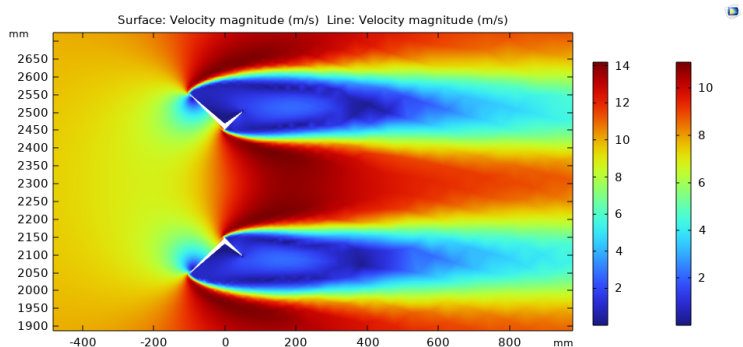
4-сурет – Конфузор арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдығы контурларының диаграммасы

Берілген жел жылдамдығының конфузордың орналасу осіне тәуелділігін тұрғызайық.

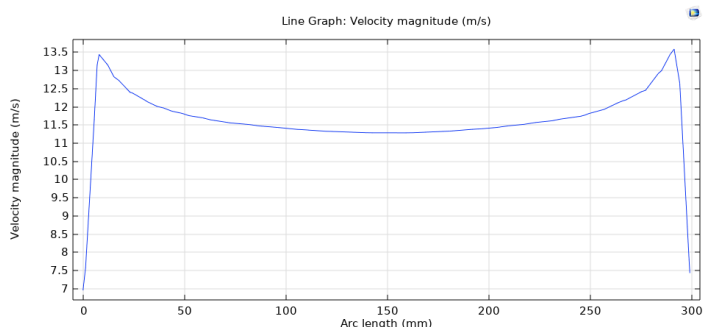


3-сурет – Конфузордағы жабық типті жел электр станцияларының турбиналық қалақтарының орналасқан жеріндегі ауа ағынының жылдамдықтары

Шығу жылдамдығын арттыру үшін конустың жанына диффузорды орнатуды ұсынамыз, оны жел қондырғысының корпусымен бір оське орналастырамыз, жел қондырғысының қалақтары конус пен диффузордың негізінде орналасқан. Диффузордың ашылу бұрышы шатастырушы сияқты 45° -ке орнатылады (сурет 5). Турбинаның кірісіне 10 м/с берілгенде, жел ағыны конфузор мен диффузор арқылы өткенде, жылдамдық 13,5 м/с дейін артады (сурет 6).

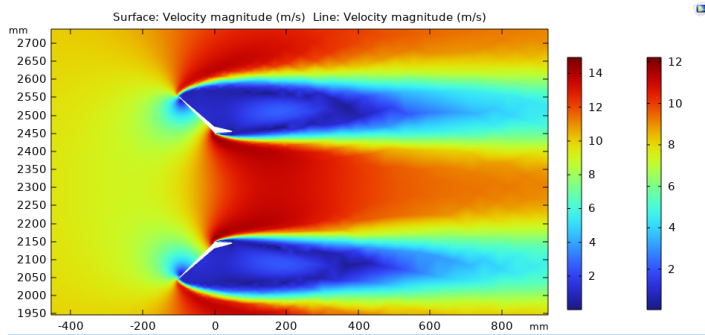


5-сурет – Конфузор мен диффузор арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдығы контурларының диаграммасы

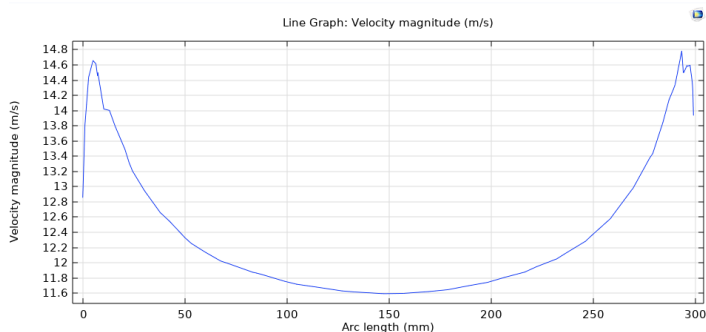


6-сурет – Конфузор мен диффузордағы жабық типті жел турбиналарының турбина қалақтарының орналасқан жеріндегі ауа ағынының жылдамдығы

Тәжірибелер кезінде конфузор мен диффузордың шабуыл бұрышын талдай отырып, конфузор үшін оңтайлы бұрыш 45° , ал диффузор үшін 3° болды. Нәтижелерге сәйкес (7, 8-суреттерде көрсетілген) кіріс жылдамдығы 10 м/с болғанда, шығыс жылдамдығы 14,65 м/с дейін артады.



7-сурет – Конфузор мен диффузор арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдығының контурларының диаграммасы, ашылу бұрыштары сәйкесінше 45° және 3° -та



8-сурет – Конфузор және диффузордағы жабық типті жел турбины турбина қақпаларының орналасқан жеріндегі ауа ағынының жылдамдығы, ашылу бұрыштары сәйкесінше 45° және 3° -та

Жұмыс құрылымның кірісіне берілген кезде желдің бастапқы жылдамдығының әртүрлі мәндеріндегі жел ағынын зерттейді. Біз жел турбины қақпаларына жеткізілетін тарылатын бөлік арқылы жобалық құрылым арқылы өткенде ағынның жылдамдығы жоғарылайды, жақсы өнімділікке қол жеткізеді.

1-кесте – Конфузор шығысындағы жел ағынының жылдамдығы (ашылу бұрышы 45° -қа орнатылған)

Конфузордың кірісіне берілген жылдамдықтың сандық мәні, м/с	Конфузор шығысындағы жылдамдықтың сандық мәні, м/с
1	1,29
2	2,55
3	3,82
4	5,1
5	6,4
6	7,6
7	8,8
8	10,1
9	11,5
10	12,6
15	19,2
20	25,5

2-кесте – Конфузор мен диффузордың шығысындағы жылдамдықтар (екі конустың ашылу бұрышы 45° -қа орнатылған)

Жел турбинасының кірісіне берілетін жылдамдықтың сандық мәні, м/с	Жел турбинасының шығысындағы жылдамдықтың сандық мәні, м/с
1	1,35
2	2,7
3	4,1
4	5,4
5	6,75
6	7,5
7	8,8
8	10,1
9	11,5
10	12,7
15	19
20	25,8

3-кесте – Конфузор мен диффузор арқылы өткендегі жылдамдықтар (шатастырушының ашылу бұрышы 45° , ал диффузордың 3° -қа орнатылған)

Конфузор кірісіне берілетін жылдамдықтың сандық мәні, м/с	Конфузор шығысындағы жылдамдықтың сандық мәні, м/с
1	1,39
2	2,8
3	4,3
4	5,75
5	7,27
6	8,78
7	10,22
8	11,71
9	13,2
10	14,65
15	22,05
20	29,4

Қорытынды

Көлденең осьті жел турбиналарының конструкциясына әртүрлі аэродинамикалық ағынды концентраторларды біріктіру олардың сенімділігін, тиімділігін және энергия өндіру деңгейін арттырудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Конфузор мен диффузорды біріктіріп пайдалану аэродинамикалық ағынды күшейту жүйесін жасайды, олар:

- ротордың жұмыс аймағындағы энергия тығыздығын арттырады;
- турбуленттілік пен аэродинамикалық шығындарды азайтады;
- жел энергиясын пайдалану тиімділігін арттырады.

Эксперименттік және сандық зерттеулер мұндай жүйелер концентраторсыз дәстүрлі көлденең осьті жел турбиналарымен салыстырғанда қондырғының қуатын 30–50 % арттыра алатынын көрсетеді. Біздің жағдайда өсім 47 %-ды құрады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Ветряные электростанции [Электрондық ресурс]. – https://electric-220.ru/news/vetjanye_ehlektrostantsii/2019-08-27-1737.

2 Бубенчиков, А. А., Горлинский, Н. А., Щербинов, В. В. Концентраторы потоков для ветроэнергетических установок [Текст] // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 (132.2). – С. 10–14. [Электрондық ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/archive/132/36987/>.

3 Munsyzbai, T. M. Mathematical model of windmill // Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. – Tashkent, Uzbekistan, 2008, November 25–27. – P. 279–284.

4 Метод конечных элементов [Электрондық ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_конечных_элементов.

5 Давыдова, Е. В., Корчагова, В. Н., Марчевский, И. К. Использование метода конечных элементов с частями для решения задач гидродинамики. [Текст] // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2015. – № 6. – С. 329–345.

6 Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F. A Lagrangian meshless finite element method applied to fluid-structure interaction problems [Text] // Computer and Structures. – 2003. – Vol. 81. – No. 8-11. – P. 655–671. – [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(02\)00477-7](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(02)00477-7).

7 Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F. The particle finite element method : a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves [Text] // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2004. – Vol. 61. – No. 7. – P. 964–989. – <https://doi.org/10.1002/nme.1096>.

8 Моделирование течений жидкостей и газов с помощью модуля «Вычислительная гидродинамика» [Электрондық ресурс]. – <https://youtu.be/Wo1cEABO2vs?si=Vtd4wVIET5tuRle>.

9 Ермаков, А. В., Щеглов, Г. А. Моделирование методом вихревых элементов динамики цилиндрической оболочки в пространственном потоке жидкости // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 35–41.

10 **Li Shaofan, Kam Wing Liu.** Meshfree Particle Methods. – Springer Berlin Heidelberg, 2004. – 502 p. – <https://doi.org/10.1007/978-3-540-71471-2>.

REFERENCES

1 Vetryanye elektrostantsii [Wind farms] [Text] [Electronic resource]. – https://electric-220.ru/news/vetryanye_ehlektrostancii/2019-08-27-1737.

2 **Bubenchikov, A. A., Gorlinskii, N. A., Илербинов, V. V.** Kонтсентраторы потоков для ветроэнергетических установок [Flow concentrators for wind turbines] [Text] // Molodoi uchenyi. – 2016. – № 28.2 (132.2). – P. 10–14 [Electronic resource]. – <https://moluch.ru/archive/132/36987/>.

3 **Munsyzbai, T. M.** Mathematical model of windmill // Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. – Tashkent, Uzbekistan, 2008, November 25–27. – P. 279–284.

4 Metod konechnykh elementov [Finite element method] [Electronic resource]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod_konechnykh_elementov.

5 **Davydova, E. V., Korchagova, V. N., Marchevskii, I. K.** Ispolzovanie metoda konechnykh elementov chastitsami dlya resheniya zadach gidrodinamiki. [Using the finite element method with particles to solve hydrodynamic problems] [Text] // Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N. E. Bauman. Elektron. jurn. – 2015. – № 6. – P. 329–345.

6 **Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F.** A Lagrangian meshless finite element method applied to fluid-structure interaction problems [Text] // Computer and Structures. – 2003. – Vol. 81. – No. 8-11. – P. 655–671. – [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(02\)00477-7](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(02)00477-7).

7 **Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F.** The particle finite element method : a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves [Text] // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2004. – Vol. 61. – No. 7. – P. 964–989. – <https://doi.org/10.1002/nme.1096>.

8 Modelirovanie techenii jidkostei i gazov s pomosh'yu modulya «Vychislitelnaya gidrodinamika» [Modeling liquid and gas flows using the Computational Fluid Dynamics module] [Electronic resource]. – https://youtu.be/Wo1cEABO2vs?si=Vtd4wVIET5tuRle_.

9 **Ermakov, A. V., Илглов, G. A.** Modelirovanie metodom vihrevykh elementov dinamiki tsilindricheskoi obolochki v prostranstvennom potoke jidkosti [Modeling of the dynamics of a cylindrical shell in a spatial fluid flow using the vortex element method] // Izvestiya VUZov. Mashinostroenie. – 2014. – № 3. – P. 35–41.

10 **Li Shaofan, Kam Wing Liu.** Meshfree Particle Methods. – Springer Berlin Heidelberg, 2004. – 502 p. – <https://doi.org/10.1007/978-3-540-71471-2>.

25.04.25 ж. баспаға түсті.

29.04.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

**А. А. Бектасова¹, Б. Т. Смағұлов², Е. А. Сарсенбаев³*^{1,3}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;²АО «Казахстанский электролизный завод»,

Республика Казахстан, г. Павлодар.

Received 25.04.25.

Received in revised form 29.04.25.

Accepted for publication 03.06.25.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

Казахстан обладает значительным ветровым потенциалом и активно развивает ветроэнергетику как часть перехода к зелёной экономике. В последние годы особое внимание уделяется внедрению инновационных технологий, таких как конфузоры и диффузоры, которые позволяют повысить эффективность работы ветроустановок. В данной статье рассматривается интеграция различных аэродинамических концентраторов потока в конструкцию горизонтально-осевых ветроэлектрогенераторов, что открывают новые возможности для повышения их надёжности, эффективности и уровня выработки электроэнергии. Суть работы исследования заключается в том, чтобы увеличить скорость ветра на входе в турбину, что позволяет значительно повысить её энергетическую эффективность. Для увеличения генерации энергии рассмотрен метод увеличения ветровой скорости. Для этого в программном обеспечении COMSOL Multiphysics спроектируем турбину, в ней рассмотрим конфузор и диффузор в определенных углах раскрытия, вычисления будут проводиться способом конечных элементов. При моделировании конструкции ветроэнергетической установки в инженерном программном обеспечении необходимо было стремиться к максимально близкому соответствию натурной модели. Произведенные исследования показывают, что максимальная скорость воздушного потока наблюдается в зоне сужения, где установлена турбина, после чего происходит его замедление этим и достигается увеличение объема выработки электроэнергии.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, концентраторы, усилители воздушного потока, ветрогенераторы, конфузоры, диффузоры.

*A. Bektasova¹, B. Smagulov², Y. Sarsenbayev³

^{1,3}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Kazakhstan Aluminium Smelter JSC, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 25.04.25.

Received in revised form 29.04.25.

Accepted for publication 03.06.25.

STUDY OF METHODS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF WIND POWER TURBINES

Kazakhstan has significant wind potential and is actively developing wind energy as part of the transition to a green economy. In recent years, special attention has been paid to the introduction of innovative technologies, such as confusers and diffusers, which can improve the efficiency of wind turbines. This article discusses the integration of various aerodynamic flow concentrators into the design of horizontal-axis wind turbines, which opens up new opportunities to improve their reliability, efficiency and level of electricity generation. The essence of the research is to increase the wind speed at the turbine inlet, which can significantly increase its energy efficiency. To increase energy generation, a method for increasing wind speed is considered. For this, we will design a turbine in the COMSOL Multiphysics software, in which we will consider a confuser and a diffuser at certain opening angles, the calculations will be carried out using the finite element method. When modeling the design of a wind turbine in engineering software, it was necessary to strive for the closest possible match to the full-scale model. The studies conducted show that the maximum air flow speed is observed in the constriction zone where the turbine is installed, after which it slows down and an increase in the volume of electricity generation is achieved.

Keywords: renewable energy, concentrators, air flow amplifiers, wind generators, confusers, diffusers.

Теруге 09.06.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 25,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4417

Сдано в набор 09.06.2025 г. Подписано в печать 30.06.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 25,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4417

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

Е-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz