

Осы кестеден көрініп тұрғандай берілген жүйенің шешімдері  $x_1=1$ ,  $x_2=2$ ,  $x_3=-1$ .

*Қорытынды.* Жоғарыдағы жүйені электронды кестені пайдаланып шешу үшін уақыт тек қана ол жүйенің матрица элементтерін кесте парағына теру үшін кетті. Ал қалған амалдар өте жылдам аз уақыт ішінде орындалады. MS Excel электронды кестесінде өлшем бірлігі 60-қа дейінгі матрицалармен амалдар атқаруға болады. Демек, өндіріс орындарында, ғылыми жұмыстарды орындау барысында жаңа информациялық технологияларды, атап айтсақ MS Excel электронды кестесін кеңінен пайдалансақ, жоғарыдағыдай есептердің белгісіздері мен теңдеулер саны өте көп болған жағдайда, оны шешуге қажет қыруар уақыт пен қаржыны үнемдеуге болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Бугров Я.С., Никольский С.М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. 3-изд. М, Наука, 2008, 216с.
- [2] Балафанов Е.К., Бурибаев Б., Даулеткулов А.30 уроков по информатике, Алматы, ДЖ., 1999г, 442с (на русском и казахском языках).
- [3] Носитер Дж. Excel 7.0 для Windows-95. - М., Бинном, 1996, 390с.

#### УДК 621.311

**М.Н. Камбаров<sup>1,a</sup>, Т.А. Садықбек<sup>2,b</sup>, М.Н. Ахнаева<sup>2,c</sup>, К.Б. Шакенов<sup>3,d</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Еco Watt», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>a</sup>[mared.k@mail.ru](mailto:mared.k@mail.ru), <sup>b</sup>[sadykbek\\_ta@mail.ru](mailto:sadykbek_ta@mail.ru), <sup>c</sup>[makpal.akhnayeva@bk.ru](mailto:makpal.akhnayeva@bk.ru), <sup>d</sup>[kalizhan-90@mail.ru](mailto:kalizhan-90@mail.ru)

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН ПРИ ТУРБУЛЕНТНЫХ И ВЕТРАХ С НИЗКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

**Аннотация.** Ветер всегда обладает турбулентностью. При выборе площадок для ветряных электростанции естественная турбулентность ветров учитывается недостаточно. В потоке воздуха возникают многочисленные беспорядочно движущиеся вихри и струи. Отдельные количества воздуха, увлекаемые этими вихрями и струями, являются элементами турбулентности. В работе предлагается на верхних барьерах подавить турбулентность, а также увеличить скорость потока между соседними барьерами для снижения здесь давления воздуха. Для этого предлагается выполнять их не прямыми а изогнутыми в одну сторону параллельно. В этом случае поток воздуха попавший между соседними барьерами будет проходить по более длинному изогнутому пути, но при этом увеличивается его скорость. При этом такие изогнутые барьеры подавляют их даже более эффективно поскольку они становятся значительно длиннее.

**Ключевые слова:** ветряные электростанции, ветряные турбины, турбулентность, скорость ветра, лопасти.

**Abstract.** The wind always has turbulence. But when choosing wind farm sites, the natural turbulence of winds at the sites is not taken into account enough. Numerous randomly moving vortices and jets of different sizes appear in the air flow. Individual amounts of air carried away by these vortices and jets are elements of turbulence. It is possible to do this with the help of these barriers, but essentially by slightly changing the upper barriers. The lower straight barriers remain unchanged. On the upper barriers, it is necessary not only to suppress turbulence, but also to increase the flow rate between adjacent barriers to reduce air pressure here. To do this, you need to perform them not straight, as before, but curved in one direction in parallel. Then the air flow caught between adjacent barriers will pass along a longer curved path,

but at the same time its speed increases. If, for example, you bend the barriers in a semicircle extending them, then their length will increase by 1.57 times. The flow rate is also. The latter dramatically reduces the air pressure here. And in the lower part of the blade, the pressure remains the same, which increases their difference and significantly increases the lifting force of the blade as well as its power by 20-30%. As for turbulence, such curved barriers suppress them even more effectively because they become much longer.

Thus curved, but already aerodynamic barriers solve both the problem of turbulence suppression and at the same time effectively increase the lifting force of the blades and their power.

**Keywords:** wind power plants, wind turbines, turbulence, wind speed, blades.

**Аңдатпа.** Жел әрдайым турбуленттілікке ие. Жел электр станцияларына арналған алаңдарды таңдау кезінде желдің табиғи турбуленттілігі жеткіліксіз ескеріледі. Ауа ағынында көптеген кездейсоқ қозғалатын құйындар мен ағындар пайда болады. Осы құйындар мен ағындарға тәуелді ауаның жеке мөлшері турбуленттілік элементтері болып табылады. Жұмыста жоғарғы кедергілерде турбуленттілікті басу, сондай-ақ мұнда ауа қысымын төмендету үшін көрші кедергілер арасындағы ағынның жылдамдығын арттыру ұсынылады. Мұны істеу үшін оларды түзу емес, бір бағытта параллель етіп жасау ұсынылады. Бұл жағдайда көрші кедергілердің арасына түсетін ауа ағыны ұзын иілген жолмен өтеді, бірақ сонымен бірге оның жылдамдығы артады. Сонымен қатар, мұндай қисық кедергілер оларды одан да тиімді түрде басады, өйткені олар әлдеқайда ұзағырақ болады.

**Түйінді сөздер:** жел электр станциялары, жел турбиналары, турбуленттілік, жел жылдамдығы, пышақтар.

В связи с потеплением климата на Земле большинство стран используют энергию ветров для выработки электроэнергии (э/э) с установкой по миру десятков тысяч ветряных турбин (ВТ). Все они используют аэродинамический принцип съема энергии их лопастями в практике строительства и эксплуатации ветряных электростанций (ВЭС) Фирмы производящие ВТ стараются выпускать их универсальными для эксплуатации в различных ветровых регионах мира. На площадках действующих ВЭС в течение суток ветер не постоянен по величине. Бывают и безветрия, и суммарная вероятность появления сильных ветров на них значительно ниже чем суммы вероятностей слабых и средних, поскольку в течение года соизмерима и даже больше выработки сильными ветрами. Выработка электроэнергии ими зависят от значения среднегодовой скорости ветра (СГСВ) на выбранной площадке.

На рис.1. показаны среднемесячные ветра для различных регионов Казахстана [2]. Чем они выше, тем более эффективно работают ветротурбины и выше выработка э/э, так как мощность турбин пропорциональна кубу текущей скорости ветра. Так, при увеличении скорости ветра вдвое мощность ВТ повышается в восемь раз. Но данные по ветрам недостаточно учитывают их турбулентность снижающих выработку э/э.

В ветроэнергетике различают регионы по мощности энергии их ветров: слабой (СГСВ до 5 м /сек), средней (до 6 м/с), высокой (до 7 м/сек), повышенной (до 8 м/сек) и избыточной энергией (9 и более м/сек). В Казахстане с его большой территорией помесечная скорость ветра и СГСВ в среднем для всех регионов выше 6 м/сек (жирная линия на рис 1), что относит республику к странам с богатыми энергоресурсами ветров. Тем не менее есть и регионы со слабыми ветрами [1].

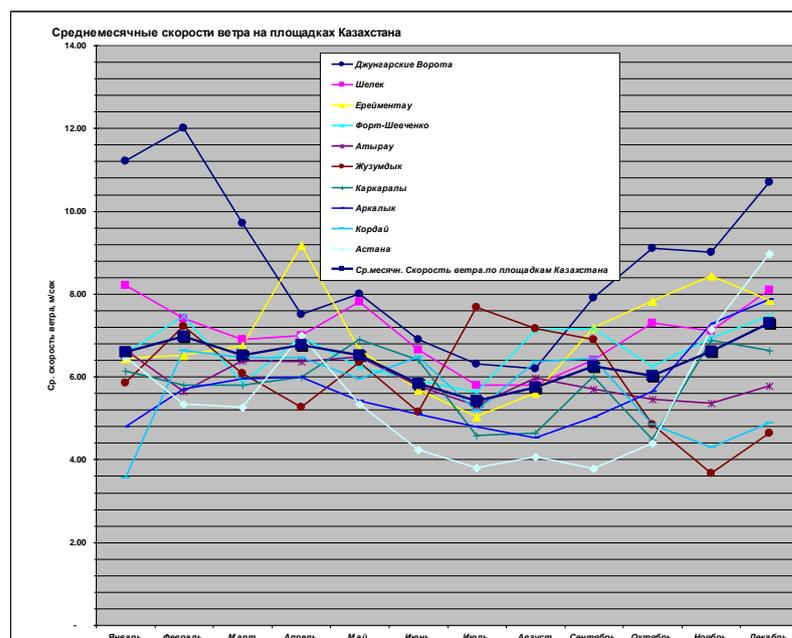


Рисунок 1 – Среднемесячные ветра для различных регионов Казахстана

Во многих странах имеются ограничения по площади земель под строительство ВЭС, есть регионы с несильными и турбулентными ветрами. Но они вынуждены использовать их несмотря на их низкую энергию ветров чтобы участвовать в процессе декарбонизации из экономик. Страны и регионы со слабыми и средними по скорости ветрами нуждаются в ветротурбинах могущими увеличить выработку электроэнергии уже установленными на площадках, то есть находящимися в эксплуатации. Здесь возникает проблема увеличения подъемной силы их аэродинамических лопастей. Таким образом повышение эффективности ВТ в первую очередь требует мер повышения подъемной силы принимаемыми для лопастей то есть повышения их эффективности даже в процессе эксплуатации

Ветер всегда обладает турбулентностью. Но при выборе площадок ВЭС естественная турбулентность ветров на площадках учитывается недостаточно. В потоке воздуха возникают многочисленные беспорядочно движущиеся вихри и струи разных размеров. Отдельные количества воздуха, увлекаемые этими вихрями и струями, являются элементами турбулентности. Они движутся по всем направлениям, в том числе перпендикулярно к среднему направлению ветра и даже против него. Эти элементы турбулентности имеют линейные размеры от нескольких сантиметров до десятков метров. Таким образом на площадках ВЭС на общий перенос воздуха в определенном направлении и с определенной скоростью налагается система хаотических, беспорядочных движений отдельных элементов турбулентности по сложным и переплетающимся траекториям.

Турбулентность возникает и вследствие различия скоростей ветра в смежных слоях воздуха. Особенно велика она в нижних слоях атмосферы где устанавливаются ВТ и скорость ветра быстрее растет с высотой. Но в развитии турбулентности принимает участие также и так называемая архимедова (гидростатическая) сила. Поэтому различают динамическую турбулентность, возникающую независимо от температурных условий, и термическую турбулентность (или конвекцию), определяемую температурными условиями. На площадках действующих ВЭС турбулентность имеет комплексную природу, в которой термический фактор не всегда играет доминирующую роль. Здесь добавляются и завихрения воздуха от аэродинамических лопастей ВТ установленных слишком близко, а также затенение потока воздуха одной турбины другой по ходу ветра.

В связи с этим стараются устанавливать их подальше друг от друга. Но это увеличивает площадь земли отведенные под ВЭС что существенно удорожает ее строительство. Порывистость ветра это также часть его турбулентности. Она .возрастает с увеличением его скорости. Порывы, то есть скачкообразные усиления и ослабления ветра при средней его скорости 5-10 м/с в среднем составляют 3 м/с, а при скорости 11-15 м/с до 5-7 м/с.

Для строительства ВЭС на предполагаемой площадке предварительно измеряют энергию ветров с помощью компьютеризованных приборов по международным стандартам ветроэнергетики Но условия появления турбулентности ветров в процессе измерений ниже от условий когда ВЭС уже построена, так как она способствует их проявлению. Поэтому мерами по снижению их негативного влияния на выработку э/э - является расположение ветряных турбин (ВТ) на больших расстояниях друг от друга снижающих турбулентности созданными турбинами ВЭС при вращении их, лопастей, установка рядов турбин ВЭС поперек господствующих ветров, если таковые имеют место. В целом каждую категорию регионов с ветрами можно подразделить еще и по качеству ветра, учитывающее степень их турбулентности и порывистости. Чем они выше тем хуже их качество и они значительно понижают выработку э/э на ВЭС [2].

В виду отмеченного выбор площадок размещения ветряных электростанций представляет непростую инженерную задачу. Необходимо помимо того учитывать и другие факторы из которых доминируют: значения среднегодовых скоростей ветров на площадках строительства и имеющаяся там инфраструктура (мощность и удаленность линий электропередач), наличие дорог, дефицита электроэнергии в регионе и другие. ВЭС с учетом турбулентности ветров нуждаются в повышенных территориях использования земли на единицу мощности.

При выборе площадок ВЭС недостаточно учитывается естественная турбулентность ветров. Поскольку приборы измерения скорости ветров не могут дать их количественную оценку. Они только косвенно констатируют их присутствие. Чем выше текущая скорость ветра тем выше ее турбулентность (рис.2.). Поэтому проблема фирм - владельцев ВЭС понятна - турбулентные проявления ветров необходимо подавлять. Этого невозможно выполнить на всей территории станции но можно подавлять турбулентность на ветряных турбинах. То есть задача состоит в разработке и применения средства подавления турбулентности на установленных на ВТ лопастях.

Это должно удовлетворить эксплуатационников ветротурбин. Из-за удорожания топлива, отсутствия земель для ВЭС и дефицита э/э ряд стран вынужден использовать для строительства ВЭС регионы со средними и даже слабыми по мощности ветрами даже с наличием в них турбулентности. В них число часов использования установленной мощности имеют значения до 3000 ч/год в первом и до 2500 ч/год во втором случае.

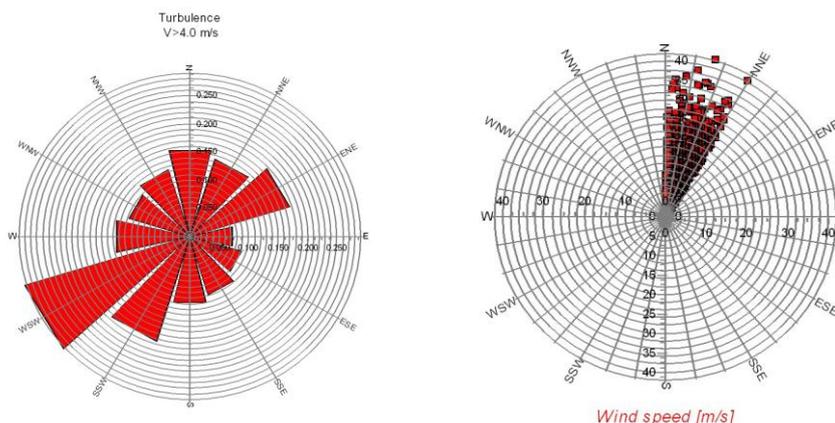


Рисунок 2 – Скорость ветров

В качестве примера можно указать на крупнейший в мире ветровой проект в регионе с несильными ветрами осуществленный в прошедшем десятилетии в Синьцзян Уйгурском автономном округе Китая. Себестоимость производства э/э в этом проекте достигает 7-8 центов. Ранее были построены ВЭС в Европейских странах и Турции меньшие по масштабам, на Украине, в Джамбульской области Казахстана, намечаются строительство ВЭС в Узбекистане имеющим несильные ветра и прикаспийских территориях Туркменистана. Следует заметить, что из-за турбулентности ветров проекты ВЭС становятся более земляемкими по требуемым площадям. Многие страны в связи с этим используют офшорные решения размещения ВЭС на прибрежных участках морей со средними и мощными ветрами несмотря на значительное повышение их удельных стоимостей. Но такие возможности есть не у всех стран. Вопрос более продуктивного использования несильных ветров и подавления турбулентности ветров на площадке любых ВЭС остается актуальным и требует мер их решения

*Мощность ветряных турбин с аэродинамическими лопастями.*

Универсальный тип ветротурбин (ВТ) классической конструкции - с тремя длинными тонкими аэродинамическими лопастями расположенных на валу гондолы размещенной на высокой одиночной башне. Эти длинные аэродинамические лопасти с верхней и нижней поверхностями имеют небольшую ширину, но большой радиус. Верхняя поверхность имеет выпуклую форму, а нижняя поверхность почти плоская (рис.3. серая заштрихованная часть сечение лопасти). Поэтому ветер проходит по верхней выпуклой части с большей скоростью чем по плоской нижней. В виду этого давление воздуха здесь становится ниже, а на нижней остается прежним. Разница этих давлений действует на площадь лопасти снизу вверх. Таким образом возникает подъемная сила. Она действуя на плоскую поверхность лопасти вращает ее вместе с закрепленным с ней валом.

Для увеличения мощности турбины необходимо увеличивать подъемную силу лопастей. Лопасти по длине имеют переднюю кромку на которую попадает ветер и она разделяет поток на две части - на верхнюю и нижнюю поверхности. Затем поток воздуха проходит к задней кромке, где поток воздуха объединяется и сходит с лопасти. Для повышения подъемной силы лопасти необходимо увеличивать выпуклость верхней поверхности снижая там давление воздуха. Но такое увеличение имеет предел, превышение которой срывает ламинарность потока воздуха, он отрываясь уходит вверх касательно к лопасти, и тем самым сводит к нулю подъемную силу. При этом считается, что ветер набегаящий на переднюю кромку аэродинамической лопасти имеет ламинарную природу, то есть он не турбулентный. В реальности такого не бывает и идеальных ветров не существует. И чем выше скорость ветра тем выше его порывистость и турбулентность., что значительно понижает мощность ВТ.

Бороться с турбулентностью ветров на больших территориях ВЭС нет смысла. Они имеют очень большие объемы и проходят через вертикальные сечения площадок в сотни и тысячи крат превышающие ометаемую поверхность (круга диаметра) лопастей ВТ. Такого объема воздуха не погасить, а на аэродинамическую лопасть - (его верхнюю выпуклую и нижнюю плоскую поверхности) ветер должен подходить близким к ламинарному чтобы отвечать проектным требованиям по выработке э/э и мощности. Подавление турбулентности ветра на аэродинамических лопастях для повышения подъемной силы лопасти.

Мгновенное значение хаотичного вектора турбулентного ветра, попадающего на переднюю кромку аэродинамической лопасти, можно разложить на пять направлений: влево и вправо, вверх и вниз, а также вперед. Последняя составляющая полезная, и чем она будет больше тем лучше с позиции обеспечения повышения подъемной силы лопасти. Поэтому необходимо обеспечить ее возможно большую величину за счет остальных. Составляющая вниз ограничена поверхностью лопасти. Составляющие в разные стороны

влево и вправо также можно ограничить если вектор ветра поместить между двумя барьерами расположенными справа и слева от него. Эти вертикальные барьеры (рис3) должны располагаться от передней кромки лопасти до задней сечения лопасти 1, и чем ближе они будут располагаться к друг другу тем эффект их ограничения турбулентности ветра будет выше. Таким образом верхнюю выпуклую поверхность аэродинамической лопасти необходимо разделить прямыми тонкими вертикальными барьерами 2.

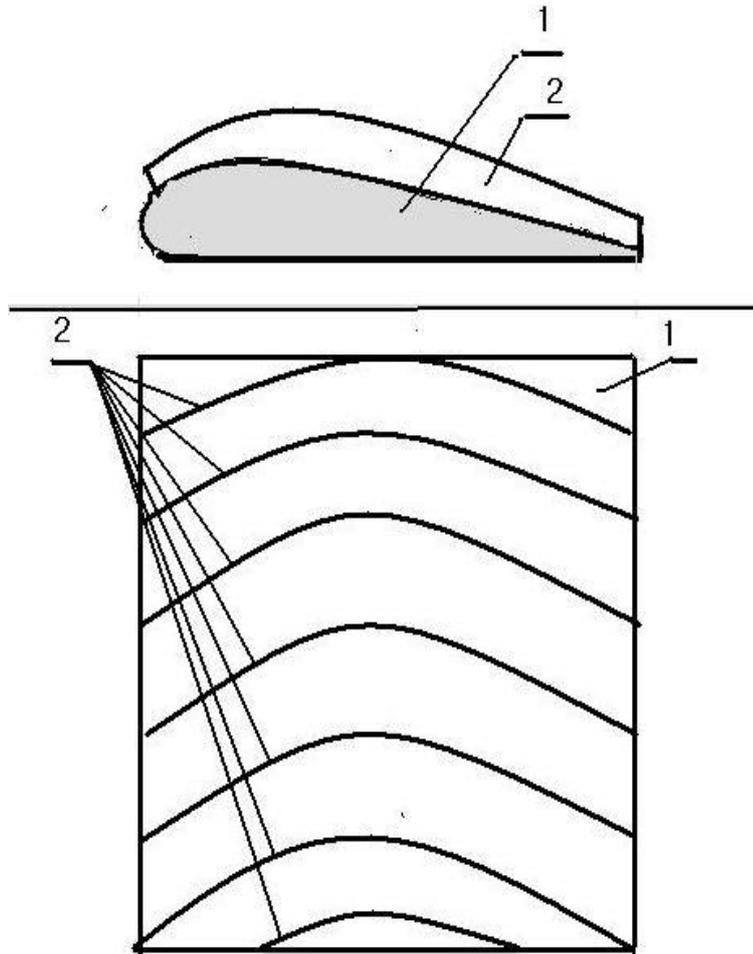


Рисунок 3 – Вид вертикального барьера

Чем больше по количеству и выше они тем эффект подавления турбулентности на этой части лопасти будет выше. То есть составляющая вперед по ходу ветра будет длиннее. Тогда весь турбулентный ветер на верхней ее поверхности будет ограничен. Но часть ветра попадающего на переднюю кромку лопасти попадет и на нижнюю поверхность лопасти. Здесь также нужно установить такие же тонкие вертикальные барьеры. Их высота и количество определяются экспериментальным образом для каждого ветрового региона имеющему свою специфику турбулентности ветров. Тогда турбулентный ветер попадающий между соседними барьерами станет практически ламинарным, и после выхода с обеих поверхностей лопасти может стать опять турбулентным. Но задача ламинаризации потока на лопасти уже выполнена [6].

Наи проведен эксперимент с абсолютно гладкой прямоугольной доской. Прямо посередине ее длинных граней размещена ось вокруг которой она может вращаться. Выше оси по одну сторону размещены изогнутые барьеры. Такие же барьеры размещены в на стороне ниже оси.

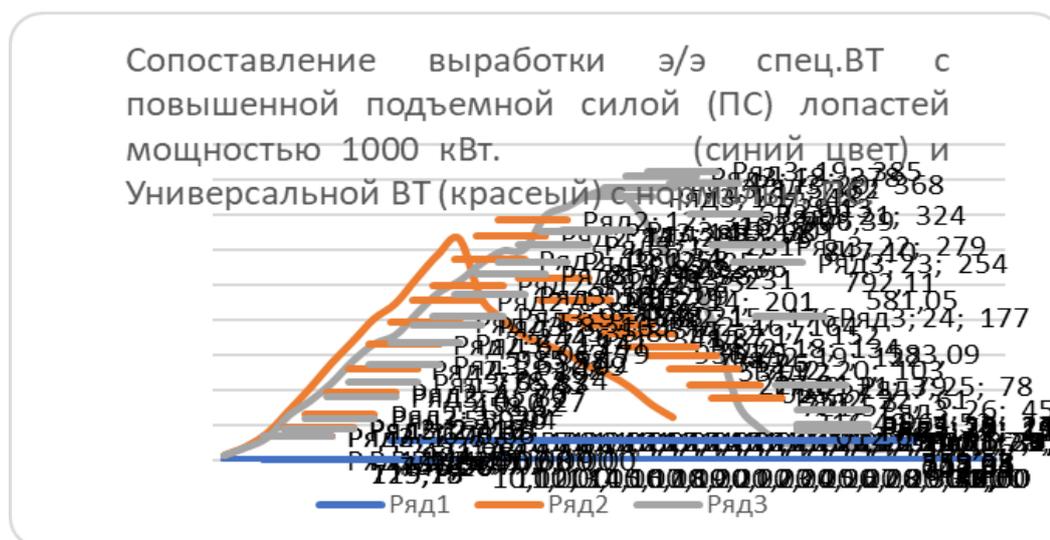


Рисунок 4 – Зависимости выработки электроэнергии разных ВТ

Остается еще одна составляющая мгновенного вектора скорости ветра - это направление вверх. Для ее подавления на барьеры можно положить настил, но только не по всей длине барьера, а только на 30 % от передней кромки в районе изгиба профиля лопасти в сторону уменьшения к задней кромке.

Возможности дальнейшего повышения выработки э/э. Такое сделать возможно с помощью указанных барьеров, а по существу немного изменив верхние барьеры. Нижние прямые барьеры остаются без изменения. На верхних барьерах надо не только подавить турбулентность, но и увеличить скорость потока между соседними барьерами для снижения здесь давления воздуха. Для этого нужно выполнять их не прямыми, как ранее, а изогнутыми в одну сторону параллельно. Тогда поток воздуха попавший между соседними барьерами будет проходить по более длинному изогнутому пути, но при этом увеличивается его скорость. Если например выгнуть барьеры полукругом удлинняя их, то длина их увеличится в 1.57 раза. Скорость потока также. Последнее резко снижает давление воздуха здесь. А в нижней части лопасти давление остается прежним, что повышает их разницу и существенно увеличивает подъемную силу лопасти а также ее мощность на 20-30%. Что же касается турбулентности то такие изогнутые барьеры подавляют их даже более эффективно поскольку они становятся значительно длиннее [5,6].

Таким образом изогнутые, но уже аэродинамические барьеры решают как задачу подавления турбулентности и одновременно эффективно повышают подъемную силу лопастей и их мощность [7].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kambarov M., Karabalin U, Papafanasopulo G., Report. The Kazakhstan Energy sector in the eve of 21 cetntury. In the book “ Possible areas of cooperation in energy and related fields between Central Asia, the Caucasus and otherAsian Countries. New Delhi, 1995. p.p. 18-26.
- [2] Kombarov M. The Report of Kazakhstan Government and UN DP/ GEF programme ” Removing barriers for Wind Energy production in Kazakhstan . Almaty 1998
- [3] M.Kombarov. Investment in alternative energy solutions^ electricity generation in Kazakhstan for export to China. WORLD FINANCE REWIEW, May 2009. page73.
- [4] Камбаров М.Н, Камбаров Т.С. Ветряная турбина с подвижными опорами. Инновационный патент РК № 23034 2010.

[5] Камбаров М.Н. и др. Способ повышения подъемной силы лопастей. Инновационный патент Казахстана № 278655, 2016 г.

[6] Камбаров М.Н., Садыкбек Т.А. Способ снижения турбулентности на лопастях (крыльях) естественных потоков энергии. Заявка на изобретение № 1251 /2021.01

[7] М.Н. Камбаров. Повышение мощности и эффективности крупных ветротурбин. Материалы Всемирного Конгресса ученых и инженеров, Том 2. Энергия будущего: инновационного сценарии и методы их реализации WSEC -2017. стр.190-196.

## УДК 004.9

**В. Вуйцик<sup>1,2</sup>, П. Кисала<sup>1,2</sup>, А.У. Калижанова<sup>1,3,с</sup>, А.Х. Козбакова<sup>1,4,d</sup>, Ж.С.Айткулов<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

<sup>2</sup>Люблинский технический университет, Польша

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

<sup>4</sup>Алматинский технологический университет, Казахстан

<sup>5</sup>Академия логистики и транспорта, Казахстан

<sup>с</sup> [kalizhanova\\_aliya@mail.ru](mailto:kalizhanova_aliya@mail.ru), <sup>d</sup> [ainur79@mail.ru](mailto:ainur79@mail.ru)

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ СПЕКТРАЛЬНОГО КОНТУРА

**Аннотация.** В работе предложен метод определения спектральной длины контура для демодуляции спектра наклонной волоконной решетки Брэгга. В этом методе используется расчет длины волны отсечки для определения показателя преломления жидкости, окружающей оптическое волокно. Длина контура может использоваться как параметр, указывающий значение измеренного показателя преломления. Алгоритм состоит в определении кривой изменения длины контура вместе с длиной волны для каждого спектра, измеренного с заданным показателем преломления. Длина волны отсечки определяется как пересечение отдельных кривых с линией, определяющей определенный уровень. Проведен анализ и исследование методов определения показателя преломления на основе спектров пропускания НВРБ.

**Ключевые слова:** волоконно-оптические датчики, наклонные волоконные решетки Брэгга, рефрактометр, показатель преломления.

**Андатпа.** Жұмыста көлбеу талшықты Брэгг торының спектрін демодуляциялау үшін контурдың спектрлік ұзындығын анықтау әдісі ұсынылған. Бұл әдісте оптикалық талшықты қоршап тұрған сұйықтықтың сыну көрсеткішін анықтау үшін қима толқынының ұзындығын есептеу қолданылады. Контурдың ұзындығы өлшенілген сыну көрсеткішінің мәнін көрсететін параметр ретінде пайдалануға болады. Алгоритм берілген сыну көрсеткішімен өлшенген әр спектр үшін толқын ұзындығымен қатар контурдың ұзындығының өзгеру қисығын анықтаудан тұрады. Қима толқынының ұзындығы жеке қисықтардың белгілі бір деңгейді анықтайтын сызықпен қиылысуы ретінде анықталады. БКТТ-ның өткізу спектрлері негізінде сыну көрсеткішін анықтау әдістеріне талдау және зерттеу жүргізілді.

**Кілттік сөздер:** оптикалық-талшықты датчиктер, брэггтің көлбеу талшықты торлары, рефрактометр, сыну көрсеткіші.

**Abstract.** The paper proposes a method for determining the spectral length of the contour for demodulating the spectrum of a tilted fiber Bragg grating. This method uses cutoff wavelength calculations to determine the refractive index of the liquid surrounding the optical fiber. The contour length can be used as a parameter indicating the value of the measured refractive index. The algorithm consists in determining the curve of the change in the length of the contour together with the wavelength for each spectrum, measured with a given refractive