

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/KBNH3045>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,210**

**Импакт-фактор КазБЦ – 0,406**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

**И. А. Шумейко, \*С. М. Нуркимбаев, Г. Т. Итыбаева**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [nurkimbayev.sagynysh@gmail.com](mailto:nurkimbayev.sagynysh@gmail.com)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО КОЛЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА БУРЕВОЙ ЗАЩИТЫ**

*Ветроэнергетические установки нуждаются в механизме защиты от ураганных порывов ветра. Для написания статьи изучены различные механизмы: центробежные регуляторы, виндрозный механизм, поворот лопасти при помощи стабилизатора, хвостового стабилизатора и другие.*

*В данной статье рассмотрен процесс действия механизма буревой защиты, предназначенного для снижения частоты вращения ветрового колеса при повышенных скоростях ветра, путём поворота лопастей от номинального угла установки лопастей и вплоть до флюгерного положения ( $90^\circ$ ).*

*На основании опыта эксплуатации и ранее проведенных предварительных исследований зависимости частоты вращения ветрового колеса от угла установки лопастей относительно плоскости ветрового колеса, установлено, что чем больше угол установки лопастей, тем меньше частота вращения ветрового колеса.*

*В данной статье рассмотрено влияние факторов уменьшения суммарной площади лопастей, воспринимающей прямой поток воздуха, и увеличение сопротивления вращению ветрового колеса вследствие увеличивающейся площади лопастей.*

*Доказано, что падение частоты вращения ветрового колеса происходит за счет уменьшения ометаемой ветровым колесом площади и почти не зависит от тормозящего эффекта воздуха с увеличением площади лопастей при их повороте на угол от  $15^\circ$  до  $90^\circ$ .*

*Ключевые слова: крутящий момент, частота вращения, механизм ветрового колеса, механизм буревой защиты, ветровое колесо, лопасть, буревая защита.*

### **Введение**

Казахстан имеет значительные ресурсы возобновляемой энергии, которые с успехом могли бы быть использованы для энергоснабжения подходящих регионов. С географических и метеорологических точек зрения Республика Казахстан является одной из наиболее подходящих стран в мире для развития ветроэнергетики. Однако,

наличие избыточной генерирующей мощности и централизация выработки электроэнергии на крупных угольных электростанциях, а также низкие тарифы на электроэнергию, сдерживают использование возобновляемых источников энергии.

Энергия ветра может быть преобразована в различные формы механического движения (вращение, поступательное или колебательное движение).

Малые ветроэнергетические установки (ВЭУ) представляют собой привлекательную альтернативу автономной электрификации и перекачиванию воды как в качестве автономных установок, так и в сочетании с другими энергетическими технологиями, такими как фотоэлектрические, малые гидро- или дизельные двигатели [1].

Согласно Закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» от 1 июля 2021 года, объектом по использованию возобновляемых источников энергии – признаются технические устройства, предназначенные для производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии, и взаимосвязанные с ними сооружения, и инфраструктура, технологически необходимые для эксплуатации объекта по использованию возобновляемых источников энергии [2].

Большой интерес к маломощным проектам ВИЭ и у удаленных сельскохозяйственных объектов. Министерство сельского хозяйства РК в рамках мероприятий по созданию инфраструктуры обводнения пастбищ и обеспечению водой животноводческих хозяйств (колодцы, скважины) субсидирует до 80% вложений на создание инфраструктуры пастбищ, в том числе стимулирование использования ВИЭ, а именно покупку солнечных станций от 2 кВт и ветряных насосов. Согласно данным портала [qoldau.kz](http://qoldau.kz) [3], предоставляющему информацию о субсидиях со стороны Министерства сельского хозяйства РК в 2020 году подано 13 288 заявок, а оплачено 9700 заявок на сумму 23,2 млрд тенге. По наблюдениям экспертов, установки ВИЭ внедрены на почти 10 000 пастбищах страны.

Необходимо отметить и интерес со стороны бизнеса к малым установкам ВИЭ с целью экономии на операционных затратах. Прежде всего, это неэнергоёмкие отрасли: сельское хозяйство, пищевая промышленность, легкая промышленность, сфера услуг, туризм и т.д.

Непостоянство энергии ветра чрезвычайно усложняет технику использования этой энергии. Если скорость ветра изменяется в течение минуты в 2–3 раза, то энергия при этом изменяется в 8–27 раз. По записям анемографов известны случаи, когда скорость ветра изменялась в течение одной минуты больше чем в 4 раза, следовательно, энергия ветра изменялась больше чем в 64 раза. Вместе с тем некоторые рабочие механизмы, подключаемые к ветродвигателю (электродвигатель, насос и т.д.), требуют определённой мощности и числа оборотов, которые должны оставаться постоянными во всё время работы этих машин. Для выполнения этого требования ветродвигатель должен регулироваться, т.е. иметь при заданной мощности постоянное число оборотов, независимо от скорости ветра [4].

Регулирование ВЭУ заключается в изменении положения ветроколеса или его лопастей в воздушном потоке с целью получения постоянных мощности и частоты вращения.

Системы регулирования мощности ветродвигателей подразделяются на 3 класса: поворот лопасти или ее части, изменение угла атаки, вывод ветроколеса. Данные классы рассмотрены в работе [5; 6]. Наиболее близким решением к предлагаемому является техническое решение [7]. Таким образом автоматически меняется угол заклинивания в зависимости от скорости ветра. С увеличением скорости ветра угол заклинивания уменьшается, с уменьшением скорости ветра угол заклинивания увеличивается. При этом скорость вращения ветродвигателя остается практически постоянной.

### Материалы и методы

Из проведенных ранее исследований [7] видно, что при скорости ветра равной 8 м/с, расчетная сила на тяге, обеспечивающей поворот лопастей через систему рычагов, равная  $F_T = 6$  Н, превышает действительную  $F_{ТД} = 4$  Н, что соответствует началу поворота лопастей на угол до  $21^\circ$ , начиная с номинального угла (рисунок 1).

Далее значение угла поворота лопастей растет, частота вращения ВК при этом падает. Резкое падение частоты вращения ВК будет иметь место при скорости ветра 18–20 м/с, при которой  $F_T$  расчетное значительно превышает действительное  $F_{ТД}$ , а угол поворота лопастей достигает предельных значений  $72^\circ$ – $90^\circ$ . При скорости ветра 21–22 м/с угол поворота достигает значения  $\alpha = 90^\circ$ , т.е. лопасти устанавливаются во флюгерное положение и ВК останавливается.

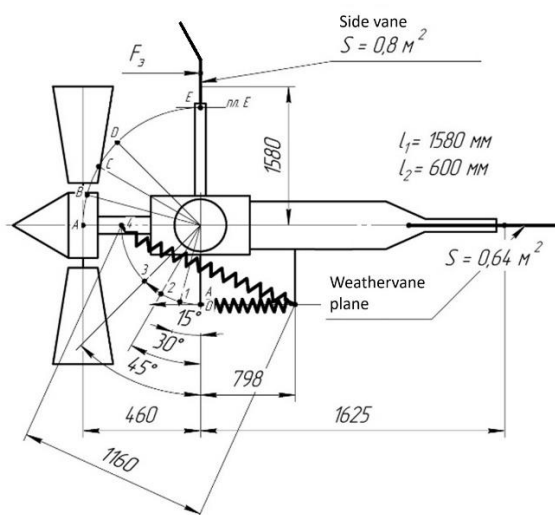


Рисунок 1 – Схема расчета поворота лопастей

Как показали ранее выполненные расчёты выбранная площадь экрана  $S_3 = 0,35$  м<sup>2</sup> обеспечивает правильное управление частотой вращения ВК [7].

На основании опыта эксплуатации и ранее проведенных предварительных исследований [8; 9] зависимости частоты вращения ВК от угла установки лопастей

относительно плоскости ВК, установлено, что чем больше угол установки лопастей, тем меньше частота вращения ВК. Эта закономерность может определяться двумя признаками:

- во-первых, при увеличении угла установки уменьшается суммарная площадь лопастей, воспринимающая прямой поток воздуха;
- во-вторых, увеличивается сопротивление вращению ВК вследствие увеличивающейся площади лопастей, воспринимающих это сопротивление.

Влияние указанных факторов в первом приближении может быть оценено расчётным путем. Первоначально выполним расчет снижения частоты вращения от влияния изменяющейся площади лопастей при их повороте при помощи описанного выше механизма буревой защиты.

### Результаты и обсуждения

Проанализировав конструкции ветровых колес малых ВЭУ, в качестве исходного (номинального) угла установки лопастей принят угол  $\alpha$ , равный  $15^\circ$  [10]. Расчет будем вести применительно к опытному образцу с диаметром ВК, равным 1,3 м и с обтекателем диаметром 0,320 м.

С целью возможности расчета частоты вращения ВК в зависимости от угла поворота лопастей, расчет частоты будем вести исходя из площади, ометаемой ветровым колесом. Последняя определяется как произведение первоначальной площади лопасти ( $F_{л} = 0,093 \text{ м}^2$ ) на ее число ( $i = 8$ ) и на косинус угла установки  $\alpha$ . (рисунок 2).

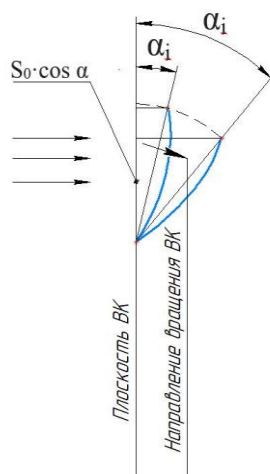


Рисунок 2 – Схема к определению частоты вращения ВК с увеличением угла  $\alpha$

С увеличением угла  $\alpha$  ометаемая ВК площадь уменьшается, частота вращения ( $n$ ) ВК снижается. Считаем, что первоначальный угол установки лопастей  $\alpha=15^\circ$  остается неизменным при росте скорости ветра до  $v = 8 \text{ м/с}$ .

Площадь лопасти с учетом первоначального номинального угла установки равном  $\alpha = 15^\circ$  составляет:

$$S_{л} = S \cdot \cos 15^\circ = 0,093 \cdot \cos 15^\circ = 0,09 \text{ м}^2,$$

Общая площадь лопастей ВК составила

$$S_0 = 0,09 \cdot 8 = 0,72 \text{ м}^2.$$

Если на  $1 \text{ м}^2$  секундная мощность при скорости ветра  $8 \text{ м/с}$  составляет  $310 \text{ Вт}$  (таблица 1) [10], то мощность, оказывающая воздействие на площадь  $0,695 \text{ м}^2$  окажется равной

Таблица 1 – Секундная мощность, заключенная в воздушном потоке, имеющем сечение  $1 \text{ м}^2$  при различной скорости ветра

Номер п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость ветра $\vartheta$ , м/с	4	6	8	9	10	12	14	18	22
Мощность потока $N$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,04	0,13	0,31	0,46	0,61	1,14	1,67	3,6	6,85

$$N = 0,695 \cdot 310 = 215 \text{ Вт}$$

Полученному значению мощности, согласно соотношению

$$310 \text{ Вт} - 8 \text{ м/с}$$

$$215 \text{ Вт} - \vartheta_3,$$

будет соответствовать скорость ветра

$$\vartheta_3 = \frac{215 \cdot 8}{310} = 5,55 \text{ м/с},$$

тогда частота вращения ВК согласно формуле (5) [7] составит

$$n_3 = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 5,55}{\pi \cdot 1,3} = 57 \text{ об/мин}$$

Примечание: здесь и в последующем при расчёте действительной частоты вращения не учитывалось влияние обтекателя как составляющей, увеличивающей частоту вращения ВК на 8–12% [9]. Такое допущение возможно, т. к. запас по частоте вращения  $n_{\text{доп}} = 100 \text{ об/мин}$  значителен и будет сохраняться, как покажут последующие расчеты для всех углов поворота лопастей.

При расчете частоты вращения начиная со скорости ветра  $\vartheta = 8$  м/с начинается поворот лопастей, т.е. угол установки лопастей принимает значение  $\alpha = 21^0$ . Площадь лопастей принимает значение

$$S_3 = 0,744 \text{ м}^2 \cdot \cos 21^0 = 0,744 \cdot 0,9336 = 0,695 \text{ м}^2 \text{ и т. д.}$$

Полученные результаты расчетов заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет момента ВК при повороте лопастей в зависимости от угла поворота лопастей при различной скорости ветра

№ п.п.	$\vartheta$ , м/с	$\alpha$ , град.	Площадь ВК м <sup>2</sup> (уменьшается)	$N_i$ , Вт	$\vartheta_i$ , м/с	$n_i$ , об/мин
1	4	$15^0$	0,719	29	2,9	30
2	6	$15^0$	0,719	94	4,34	45
3	8	$21^0$	0,695	215	5,55	57
4	9	$25^0$	0,674	310	6,07	63
5	10	$28^0$	0,675	401	6,57	68
6	12	$38^0$	0,586	668	7,03	72
7	14	$46^0$	0,517	868	7,27	75
8	18	$75^0$	0,193	695	3,48	36
9	22	$85-90^0$	0,065	445	1,43	15-0

Полученный ряд частот вращения ВК при повороте лопастей вплоть до  $\alpha = 90^0$ : 45, 57, 63, 68, 72, 75, 36, 0, где все значения ниже предельно допустимого

$$n_{max} = 100 \text{ об/мин,}$$

определяющего номинальную частоту вращения якоря генератора  $n_{гн} = 600$  об/мин.

Однако, как было указано ранее, частота вращения снижается не только за счет уменьшения площади лопастей при их повороте, но также за счет увеличения сопротивления вращению воздуха: чем больше угол поворота лопастей вплоть до  $\alpha = 90^0$ , тем больше сопротивление вращению ВК (рисунок 3). Выполним расчет снижения частоты вращения ВК с увеличением площади сопротивления при последовательном увеличении угла  $\alpha$ .



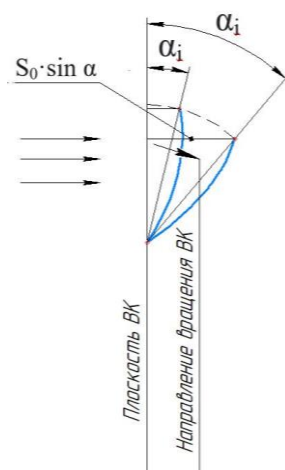


Рисунок 3 – Схема к определению силы сопротивления вращению  
ВК и влияния ее на частоту вращения

Для расчета влияния сопротивления воздуха на частоту вращения ВК воспользуемся рекомендациями «Работа силы сопротивления воздуха. Формула. Силы сопротивления движению. Сила сопротивлению воздуха» [11] по формуле

$$P = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot F \cdot \vartheta \cdot n, \quad (1)$$

где  $C_x$  – коэффициент, характеризующий форму тела и его аэродинамическое качество (коэффициент аэродинамического сопротивления). Для обтекаемых тел принимается  $C_x = 0,3$ , для тел с большим сопротивлением движению в воздушном пространстве принимается близким к единице.

В нашем случае лопасть выпуклой слегка дугообразной формой двигается вперед. Поэтому  $C_x$  можно принять равным  $C_x = 0,85$ . Однако  $C_x$  меняется, т.к. при малых углах поворота сопротивление движению мало, при увеличении угла увеличивается  $C_x$  и достигает максимума при  $\alpha = 85-90^\circ$ .

Окончательно примем значение  $C_x$  равным  $\alpha = 15^\circ - 0,3$ ;  $\alpha = 21^\circ - 0,35$ ;  $\alpha = 25^\circ - 0,38$ ;  $\alpha = 28^\circ - 0,4$ ;  $\alpha = 38^\circ - 0,45$ ;  $\alpha = 46^\circ - 0,5$ ;  $\alpha = 75^\circ - 0,7$ ;  $\alpha = 85^\circ-90^\circ - 0,85$ ;

$\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – плотность воздуха;

$F$  – лобовая площадь лопастей, которая меняется в зависимости от угла поворота, в  $\text{м}^2$ , первоначальная площадь лопасти  $0,093 \text{ м}^2$ , площадь восьми лопастей  $F = 0,744 \text{ м}^2$  (без учета номинального  $\alpha = 15^\circ$ );

$\vartheta$  – скорость движения в м/с. В нашем случае это окружная скорость на радиусе соответствующем центру площади трапеции лопасти, принимаем  $R = 0,49 \text{ м}$ .

$n$  – показатель степени (для реальных скоростей принимается  $n = 2$ ).

Определим значение силы  $P$  и ее действие на изменение частоты вращения для всех значений углов поворота лопастей.

Будем считать, что скорость ветра на силу  $P$  не влияет, т.к. вектор скорости направлен перпендикулярно силе  $P$ . Влияние скорости ветра на частоту вращения уже рассчитано и известна частота вращения ВК для каждого значения угла поворота без учета силы  $P$ . С увеличением угла  $\alpha$  значение силы  $P$  возрастает в связи с увеличением площади лопасти в плоскости, перпендикулярной плоскости колеса.

Для возможности определения силы  $P$  для всех значений скорости ветра прежде всего определим изменяющуюся в сторону увеличения суммарную площадь лопастей ( $F_{\text{л}}$ ), момент ( $M$ ), развиваемый ВК для всех уже известных частот вращения ( $n_1$ ) и окружную скорость на радиусе  $R = 0,49$  м также для всех частот вращения ВК.

При значении  $\alpha = 15^\circ$  площадь лопасти  $F_{\text{л}} = 0,093 \cdot \sin 15^\circ = 0,093 \cdot 0,2588 = 0,024 \text{ м}^2$ .

Суммарная площадь восьми лопастей

$$F_{\text{л}} = 0,024 \cdot 8 = 0,193 \text{ м}^2,$$

Полученные значения площадей, а также исходные значения скоростей ветра, углов поворота лопастей и соответствующие им частоты вращения занесены в таблицу 2.

Текущие значения моментов, развиваемых ВК, могут быть определены по формуле

$$M_i = \frac{30 \cdot N_i}{\pi \cdot n_i}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – текущие значения мощности, развиваемых ВК, [7];

$n_i$  – расчетные значения частот вращения

$$M_1 = \frac{30 \cdot 29}{\pi \cdot 30} = 9,2 \text{ Нм},$$

Аналогично получены значения  $M$  для различных частот вращения ВК. Полученные значения  $M$  занесены в таблицу 3.

Окружная скорость  $\vartheta_0$  на радиусе  $R=0,49$  м может быть рассчитана по формуле.

$$\vartheta_{0i} = 2\pi R \cdot \frac{n}{60} \quad (3)$$

$$\vartheta_{01} = 2\pi \cdot 0,49 \cdot \frac{30}{60} = 0,91 \text{ м/с},$$

Аналогичные расчеты проведены для других частот вращения ВК. Полученные значения  $\vartheta_0$  занесены в таблицу 2.

Расчет силы лобового сопротивления, создаваемой воздухом, начнем с третьей позиции, т.е. с угла  $\alpha = 21^0$ , при котором начинается поворот лопастей по формуле 3.

$$P_3 = 0,5 \cdot 0,35 \cdot 1,29 \cdot 0,267 \cdot 2,92 \cdot 2 = 0,35 \text{ Н и т. д.}$$

Значение силы  $P$  занесены в таблицу 3.

Значения текущего тормозного момента ( $M_T$ ) от действия силы  $P$  определены по формуле.

$$M_{Ti} = P \cdot R \quad (4)$$

$$M_{T3} = 0,35 \cdot 0,49 = 0,17 \text{ Нм и т. д.}$$

Полученные значения  $M_T$  занесены в таблицу 3.

Текущие значения мощности  $N_{Ti}$ , развиваемые тормозящим потоком воздуха, определены по формуле

$$N_{Ti} = N_{Mi} \cdot \frac{\pi n}{30} \quad (5)$$

$$N_{T3} = 0,17 \cdot \frac{\pi \cdot 57}{30} = 1 \text{ Вт и т. д.}$$

Полученные значения  $N$  занесены в таблицу 3.

Далее на основе текущих расчётных значений мощности, развиваемой тормозящим потоком воздуха, и соотношений согласно таблицы 1, определены текущие значения скорости тормозящего воздушного потока  $\vartheta_{Ti}$  по формуле 2.

$$N_{\text{табл}} - \vartheta$$

$$N_{Ti} - \vartheta_{Ti}$$

$$\vartheta_{Ti} = \frac{N_{Ti} \cdot \vartheta}{N_{\text{табл}}} \quad (6)$$

$$\vartheta_{Ti} = \frac{1 \cdot 8}{310} = 0,025 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ и т. д.}$$

Полученные значения  $\vartheta$  занесены в таблицу 3.

По полученным значениям скорости тормозящего воздушного потока выполнен расчет падения частоты вращения ВК  $n_{Ti}$  по формуле

$$n_{Ti} = \frac{60 \cdot v \cdot \vartheta_{Ti}}{\pi \cdot D} \quad (7)$$

$$n_{T3} = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 0,025}{\pi \cdot 1,3} = 0,26 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \text{ и т. д.}$$

Полученные значения  $n_{Ti}$  занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сводная таблица значений показывающих снижение частоты вращения при повороте лопастей ВК

№ п.п.	$\vartheta$ , м/с	$\alpha$ , град.	$F_{лс}$ , м <sup>2</sup>	$n_i$ , об/мин	$M_i$ , Нм	$\vartheta_{окр}$ , м/с	$C_x$	$P$ , Н	$M_{Ti}$ , Нм	$N_{Ti}$ , Вт	$\vartheta_{Ti}$ , м/с	$n_{Ti}$ , об/мин
1	4	15 <sup>0</sup>	0,193	30	9,2	0,91	-	-	-	-	-	-
2	6	15 <sup>0</sup>	0,193	45	20	2,3	-	-	-	-	-	-
3	8	21 <sup>0</sup>	0,267	57	36	2,92	0,35	0,35	0,17	1	0,225	0,26
4	9	25 <sup>0</sup>	0,3144	63	47	3,23	0,38	0,5	0,25	1,7	0,033	0,34
5	10	28 <sup>0</sup>	0,3493	68	56	3,49	0,4	0,63	0,31	2,2	0,036	0,37
6	12	38 <sup>0</sup>	0,4581	72	88	3,69	0,45	0,98	0,48	3,6	0,039	0,4
7	14	46 <sup>0</sup>	0,5352	75	110	3,85	0,5	1,33	0,64	5	0,042	0,43
8	18	75 <sup>0</sup>	0,7186	36	184	1,85	0,7	1,2	0,6	2,3	0,012	0,12
9	22	85-90 <sup>0</sup>	0,741	15-0	283	0,77	0,85	0,63	0,31	0,5	0,002	0,02

### Выводы

Наибольшее падение частоты вращения в результате действия тормозящего воздушного потока  $n_{T7} = 0,43$  об/мин имеет место для текущего значения скорости ветра  $\vartheta = 14$  м/с.

Частота вращения ВК при скорости  $\vartheta = 14$  м/с без поворота лопастей составила бы

$$n = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 14}{\pi \cdot 1,3} = 144 \text{ об/мин}$$

В результате поворота лопастей частота вращения ВК снизилась до 75 об/мин, т.е. падение частоты вращения составило 69 об/мин.

69 об/мин – 100%

0,43 об/мин –  $\Delta n\%$

То есть процент падения частоты вращения от действия тормозящего эффекта воздушного потока по сравнению со снижением частоты вращения за счет поворота лопастей составил

$$\Delta n = \frac{0,43 \cdot 100}{69} = 0,6\%$$

Таким образом падение частоты вращения ВК происходит за счет уменьшения ометаемой ветровым колесом площади и почти не зависит от тормозящего эффекта воздуха с увеличением площади лопастей при их повороте на угол от  $15^0$  до  $90^0$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Probst, O., Martínez, J., Elizondo, J., Monroy, O.** Статья Small Wind Turbine Technology // Журнал Wind Turbines. – April, 2011. – P. 107–136.

2 Закон Республики Казахстан от 19 апреля 2023 года № 223-VII. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии».

3 Цифровая платформа для бизнеса и граждан. – [Электронный ресурс]. – <https://qoldau.kz/>

4 **Шумейко, И. А., Коваль Ю. А.** Инновационный патент Республики Казахстан № 26174. Ветродвижитель с буревой защитой, 2013.

5 **Харитонов, В. П.** Автономные ветроэлектрические установки. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

6 Ветроагрегат АВЭУ6–4М. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации, 2004. – 48 с., ил.

7 **Нуркимбаев, С. М., Шумейко, И. А.** Расчёт механизма автономного регулирования частоты вращения ветрового колеса и буревой защиты. // Вестник Торайгыров университета. Наука и техника Казахстана – 2023. – № 4. – С. 90–102.

8 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М., Касенов, А. Ж.** Выбор оптимального варианта формы и относительной площади лопасти ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности // Республиканский журнал Труды университета. – 2023. – № 2. – С. 25–33.

9 **Нуркимбаев, С. М., Шумейко, И. А., Итыбаева, Г. Т.** Исследование и обоснование параметров ветрового колеса ветроэнергетической установки малой мощности различного назначения // Республиканский журнал Труды университета. – 2023. – № 3. – С. 72–78.

10 **Muhammad, S., Wang, Y., Muhammad, B.** Сравнение маломасштабных систем преобразования энергии ветра : экономические показатели чистых технологий. – 2020 – № 2. – С. 144–155.

---

11 **Malliotakis, G., Nikolaidis, N., Baniotopoulos, C.** Малые ветряные турбины : критерии устойчивости, относящиеся к местной застроенной среде. Серия конференций IOP : Наука о земле и окружающей среде. – 2020 – № 4 – С. 1–13.

## REFERENCES

1 **Probst O., Martinez J., Elizondo J., Monroe O.** Technology of small wind turbines // The magazine of wind turbines. – April, 2011. – P. – 107–136.

2 Law of the Republic of Kazakhstan dated 19 April, 2023 No. 223-VII. «On supporting the use of renewable energy sources».

3 A digital platform for businesses and citizens. – [Electronic resource]. – <https://qoldau.kz/>.

4 **Shumeiko, I. A., Koval Yu. A.** Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 26174. Wind turbine with storm protection, 2013.

5 **Kharitonov, V. P.** Autonomous wind power plants. – Moscow : GNU RESH, 2006. – 280 p.

6 AVEU6–4M wind turbine. Technical description. Operating instructions, 2004. – 48 p., ill.

7 **Nurkimbayev, S. M., Shumeyko, I. A.** Calculation of the mechanism of autonomous regulation of the wind wheel rotation frequency and storm protection. // Bulletin of the Toraighyrov University. Science and Technology of Kazakhstan. – 2023. – No 4.

8 **Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M., Kasenov, A. Zh.** Choosing the optimal variant of the shape and relative area of the blade of the wind wheel of a low-power wind power plant // Republican Journal Proceedings of the University. – 2023. – No. 2. – P. 25–33.

9 **Nurkimbayev, S. M., Shumeyko, I. A., Itybayeva, G. T.** Investigation and substantiation of the parameters of the wind wheel of a low-power wind power plant for various purposes. Republican Journal Proceedings of the University – 2023 – No. 3. – P. 72–78.

10 **Muhammad, S., Wang Y., Muhammad B.** Comparison of Small-Scale Wind Energy Conversion Systems: Economic Indexes Clean Technol. – 2020 – vol. 2 – P. 144–155.

11 **Malliotakis, G., Nikolaidis N., Baniotopoulos C.** Small wind turbines: Sustainability criteria related to the local built environment // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2020 – Vol. 410. – P. 1–13.

Поступило в редакцию 18.12.23.

Поступило с исправлениями 10.01.24.

Принято в печать 26.02. 24.

*И. А. Шумейко, \*С. М. Нұркімбаев, Г. Т. Итыбаева*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

18.12.23 ж. баспаға түсті.

10.01.24 ж. түзетулерімен түсті.

26.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **БҰРҒЫЛАУДАН ҚОРҒАУ МЕХАНИЗМІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЖЕЛ ДӨҢГЕЛЕГІНІҢ АЙНАЛУ ЖИІЛІГІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

*Жел электр станциялары дауылдың екпінінен қорғау механизмін қажет етеді. Мақала жазу үшін әртүрлі механизмдер зерттелді: орталықтан тепкіш реттегіштер, жел механизмі, қалақты тұрақтандырығышпен, құйрық тұрақтандырығышымен бұру және басқалар.*

*Бұл мақалада желдің жоғары жылдамдығында жел дөңгелегінің айналу жиілігін төмендетуге арналған бұрғылау механизмінің жұмыс процесі қарастырылады.*

*Жел дөңгелегінің айналу жиілігінің жел дөңгелегінің жазықтығына қатысты қалақтарды орнату бұрышына тәуелділігін пайдалану тәжірибесі мен бұрын жүргізілген алдын ала зерттеулерге сүйене отырып, қалақтарды орнату бұрышы неғұрлым үлкен болса, жел дөңгелегінің айналу жиілігі соғұрлым аз болатыны анықталды.*

*Бұл мақалада пышақтардың жалпы ауданын азайту факторларының әсері, тікелей ауа ағынын қабылдау және пышақтардың ұлғаюына байланысты жел дөңгелегінің айналуына төзімділіктің жоғарылауы қарастырылады.*

*Осылайша, жел дөңгелегінің айналу жиілігінің төмендеуі жел дөңгелегі белгілейтін аумақты азайту арқылы жүретіні дәлелденді және олар 15°-ден 90°-ге дейін бұрылған кезде қалақтардың ауданын ұлғайта отырып, ауаның тежегіш әсеріне тәуелді емес.*

*Кілтті сөздер: айналу моменті, айналу жиілігі, жел дөңгелегі механизмі, бұрғылау механизмі, жел дөңгелегі, қалақ, бұрғылау қорғанысы.*

*I. A. Shumeiko, \*S. M. Nurkimbaev, G. T. Itybaeva*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 18.12.23.

Received in revised form 10.01.24.

Accepted for publication 26.02.24.

## **DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING THE SPEED OF ROTATION OF A WIND WHEEL USING A STORM PROTECTION MECHANISM**

*Wind power plants need a protection mechanism against hurricane gusts. To write the article, various mechanisms have been studied: centrifugal regulators, windscreen mechanism, blade rotation using a stabilizer, tail stabilizer, and others.*

*This article discusses the process of the storm protection mechanism, designed to reduce the speed of rotation of the wind wheel at increased wind speeds.*

*Based on operational experience and previously conducted preliminary studies of the dependence of the rotation frequency of the wind wheel on the angle of installation of the blades relative to the plane of the wind wheel, it was found that the greater the angle of installation of the blades, the lower the rotation frequency of the wind wheel.*

*This article examines the influence of factors reducing the total area of the blades, which perceives a direct air flow and an increase in the resistance to rotation of the wind wheel due to the increasing area of the blades.*

*Thus, it is proved that the decrease in the rotation frequency of the wind wheel occurs due to a decrease in the area swept by the wind wheel and almost does not depend on the braking effect of the air with an increase in the area of the blades when they turn at an angle from 15<sup>0</sup> to 90<sup>0</sup>.*

*Keywords: torque, rotation speed, wind wheel mechanism, wind protection mechanism, wind wheel, blade, wind protection.*



Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

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

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

e-mail: [nitk.tou.edu.kz](mailto:nitk.tou.edu.kz)

[www.stk.tou.edu.kz](http://www.stk.tou.edu.kz)