



ВЕСТНИК Машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**10
2015**

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алешин Н.П., д-р техн. наук, акад. РАН, **Братухин А.Г.**, д-р техн. наук, **Воронцов А.Л.**, д-р техн. наук, **Гусейнов А.Г.**, д-р техн. наук, **Дмитриев А.М.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), **Драгунов Ю.Г.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Древаль А.Е.**, д-р техн. наук (председатель секции технологии машиностроения), **Кутин А.А.**, д-р техн. наук, **Омельченко И.Н.**, д-р техн. и экон. наук (председатель секции организации и экономики производства), **Кузин В.В.**, д-р техн. наук, **Попов Д.Н.**, д-р техн. наук, **Попов А.В.**, д-р техн. наук, **Рыбин В.В.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Трегубов Г.П.**, д-р техн. наук, **Скугаревская Н.В.** (ответственный секретарь)

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал переводится на английский язык, переиздается и распространяется во всем мире фирмой "Аллертон Пресс" (США)

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение»

Адрес издательства:

107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2
Телефон: 8-(499)-269-52-98
Факс: 8-(499)-269-48-97

Адрес редакции:

107076, Москва,
Колодезный пер., д. 2А, стр. 2
Телефон: 8-(495)-661-38-80.
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации по печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Канцлер",
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Авансед солишнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.
Сайт: www.aov.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

Кондаков С. В., Харлапанов Д. В., Вансович Е. И. — Достоверность моделей описания сопротивления повороту быстроходной гусеничной машины	3
Манфановский С. Б., Енаев А. А. — Колесный движитель с внутренним подрессориванием и его характеристики	8
Гуреева Н. А., Клочков Ю. В., Николаев А. П. — Геометрически нелинейный расчет произвольно нагруженной оболочки вращения на основе смешанного МКЭ	12
Гусев В. Г., Наумов Г. М. — Перспективные направления повышения уровня технологической подготовки производства высокоточных изделий на станках с ЧПУ	20
Соколов С. А. — Методика оценки риска, возникающего при эксплуатации технологических систем	25
Муркин С. В., Иванов А. С., Ермолаев М. М., Руднев С. К., Куц М. С. — Экспериментально-теоретическое исследование положения оси перекоса резьбового соединения, нагруженного опрокидывающим моментом	31
Сызранцев В. Н., Сызранцева К. В., Ильиных В. Н., Черная Л. А. — Расчет границ доверительного интервала малоциклового кривой усталости	35
Бетковский Ю. Я., Яковлев В. Н. — Генерирование случайного векторного поля с заданной матрицей когерентности при вибрационных испытаниях	39
Бардушкин В. В., Яковлев В. Б., Сычев А. П., Лапицкий А. В. — Прогнозирование эксплуатационных упругих свойств хаотично армированных полимерных композитов с антифрикционными дисперсными добавками	44
Крохмаль Н. Н. — Метод, алгоритм и программная реализация кинематического синтеза пространственного кривошипно-ползунного механизма на основе его передаточной функции	47
Большаков А. М., Захарова М. И. — Идентификация опасностей эксплуатации газопроводов при низких температурах	53
Гайдамака А. В. — Метод расчета сепаратора роликоподшипников рельсового транспорта на прочность при циклическом нагружении	56

Kondakov S. V., Kharlapanov D. V., Vansovich E. I. — Validity of description models of turn resistance of high-speed track-laying machine	3
Manfanovskiy S. B., Enaev A. A. — Wheel propeller with internal springing and its characteristics	8
Gureeva N. A., Klochkov Yu. V., Nikolaev A. P. — Geometrically non-linear analysis of arbitrary loaded shell of revolution on the base of combined FEM	12
Gusev V. G., Naumov G. M. — Perspective directions of improvement of preproduction planning level of high accuracy products on CNC machines	20
Sokolov S. A. — Methodic of risk assessment, taking place at machine operation	25
Murkin S. V., Ivanov A. S., Ermolaev M. M., Rudnev S. K., Kuts M. S. — Experimental and theoretical research of skew axis position of threaded joint loaded by tilting moment	31
Syzrantsev V. N., Syzrantseva K. V., Il'inykh V. N., Chernaya L. A. — Analysis of confidence limits of low-cycle fatigue curve	35
Betkovskiy Yu. Ya., Yakovlev V. N. — Generating of random vector field with specified coherence matrix at vibration testing	39
Bardushkin V. V., Yakovlev V. B., Sychev A. P., Lapitskiy A. V. — Forecasting of service elastic characteristics of randomly reinforced polymer composites with antifriction dispersion additives	44
Krokhmal' N. N. — Kinematic synthesis of spatial crank mechanism on the base of its transfer function	47
Bol'shakov A. M., Zakharova M. I. — Identification of dangers, taking place at gas mains operation at low temperatures	53
Gaydamaka A. V. — Strength analysis method of retainer of rail transport roller bearings at cyclic loading	56

Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки

Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication

Башкарев А. Я., Кущенко А. В. — Повышение долговечности соединений с натягом нанесением полимерного покрытия на поверхность вала	60
--	----

Bashkarev A. Ya., Kuschenko A. V. — Durability improvement of pressure couplings by application of polymer coatings on shaft	60
--	----

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

MANUFACTURING ENGINEERING

Носенко С. В., Носенко В. А., Кременецкий Л. Л. — Изменение концентрации химических элементов по глубине поверхностного слоя титанового сплава при шлифовании кругом из карбида кремния без охлаждения	64
Алешин Н. П., Коберник Н. В., Михеев Р. С., Ваганов В. Е., Решетняк В. В., Аборкин А. В. — Плазменно-порошковая наплавка антифрикционных покрытий из баббитовых сплавов, модифицированных углеродными нанотрубками	67

Nosenko S. V., Nosenko V. A., Kremenetskiy L. L. — Variation of chemical elements concentration along the depth of surface layer of titanium alloy at grinding by silicon carbide wheel without cooling	64
Aleshin N. P., Kobernik N. V., Mikheev R. S., Vaganov V. E., Reshetnyak V. V., Aborkin A. V. — Plasma-powder building-up of antifriction coatings from white metal alloys modified by carbon nanotubes	67

Проблемы теории и практики резания материалов

Problems of theory and practice of materials cutting

Железнов Г. С., Андреева С. Г. — Распределение отклонений по режущим кромкам развертки, создающих биение режущей части, и их влияние на отклонения размеров и формы обработанной поверхности	72
Аршинов С. В., Горелов В. А., Кушнер В. С., Бургонова О. Ю. — Сопротивление титановых сплавов резанию	75

Zheleznov G. S., Andreeva S. G. — Distribution of deviations on reamer cutting edge, creating run-out of its cutting head, and their influence on deviations of dimensions and shape of machined surface	72
Arshinov S. V., Gorelov V. A., Kushner V. S., Burgonova O. Yu. — Resistance of titanium alloys to cutting	75

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

ORGANIZATION AND ECONOMICS OF PRODUCTION

Исаченко В. А., Рахмилевич Е. Г., Кузьмин В. В. — Совершенствование технологического аудита предприятий ракетно-космической промышленности	81
--	----

Isachenko V. A., Rakhmylevich E. G., Kuz'min V. V. — Improvement of process audit of enterprises of rocket and space industry	81
---	----

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

TECHNICAL INFORMATION

Аскаров Е. С. — Разработка ветровой энергетической системы с неподвижной вертикальной осью	85
--	----

Askarov E. S. — Development of wind energy system with fixed vertical axis	85
--	----

Технический редактор Т. А. Шацкая
Корректор Т. В. Пчелкина

Сдано в набор 05.08.2015. Подписано в печать 14.09.2015.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,78.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

УДК 621.31

Е. С. АСКАРОВ, канд. техн. наук (Казахский НТУ им. К. И. Сатпаева, г. Алматы), e-mail: erlan57@mail.ru

Разработка ветровой энергетической системы с неподвижной вертикальной осью

Рассматривается проектирование ветровой энергетической системы с вертикальной неподвижной осью и варианты ее конструктивного исполнения.

Ключевые слова: ветровая энергетическая система, вертикальная неподвижная ось, энергия ветра.

The design of wind energy system with vertical fixed axis and variants of its structural variations are considered.

Keywords: wind energy system, vertical fixed axis, wind energy.

Использование ветровых установок наиболее эффективно для снабжения энергией небольших отдаленных населенных пунктов, вахтовых поселков, железнодорожных разъездов, нефтяных буровых установок и пр., где строительство больших ветровых энергетических систем (ВЭС) затруднено, а выход энергии на единицу массы или стоимости ВЭС мал. Большое значение имеет стабильность ветрового потока. Сегодня в мире насчитывается несколько миллионов малых установок, но актуальность повышения их эффективности остается, особенно для ВЭС с вертикальной осью вращения ротора.

Основной недостаток такой ВЭС — сложность изготовления длинного вала и его вертикальный монтаж в подшипниковых опорах [1], при котором необходимо обеспечить соосность опор и их жесткость. Недостатками конструкции являются также большая масса вала, создающая значительное давление на нижнюю вращательную опору, и большой момент трения, снижающий КПД установки.

Для упрощения изготовления данного вала и его монтажа в корпусе предлагается модульное исполнение ВЭС, при котором несколько модулей собирают на месте, а вращающийся вал заменяется неподвижной осью, на которую устанавливаются вращающиеся втулки с закрепленным на них ветровым колесом [2, 3].

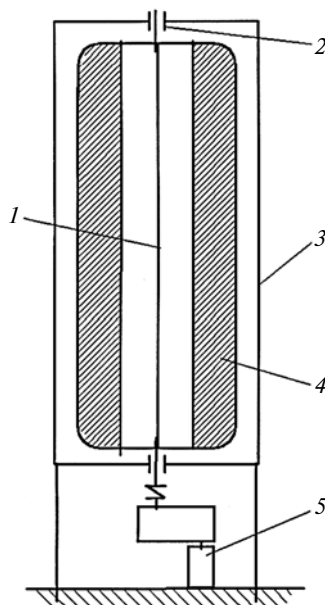


Рис. 1. Схема старой ВЭС

Рассмотрим несколько вариантов технологического решения.

Известная (старая) схема ВЭС (рис. 1) содержит длинный вал 1, смонтированный в двух вращательных опорах 2, установленных в корпусе 3. Расстояние между опорами 2 достаточно большое. Низкая точность изготовления вала 1 и опор 2, а также деформация вала препятствуют его свободному вращению вместе с ротором 4 и, следовательно, вращению генератора 5.

В предлагаемой схеме ВЭС (рис. 2) этот недостаток неподвижной оси 1 устраняется независимым вращением втулок 2 и деформацией ротора 3, что обеспечивает свободное вращение генератора 4.

Ветровая система (рис. 3) состоит из вертикальной оси 1, жестко вмонтированной в корпус-основание 2. На оси 1 установлены две втулки 3 с возможностью

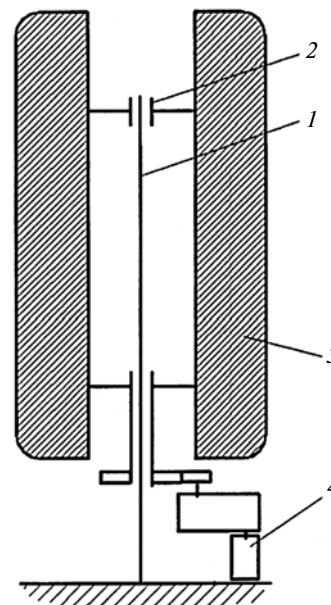


Рис. 2. Схема новой ВЭС

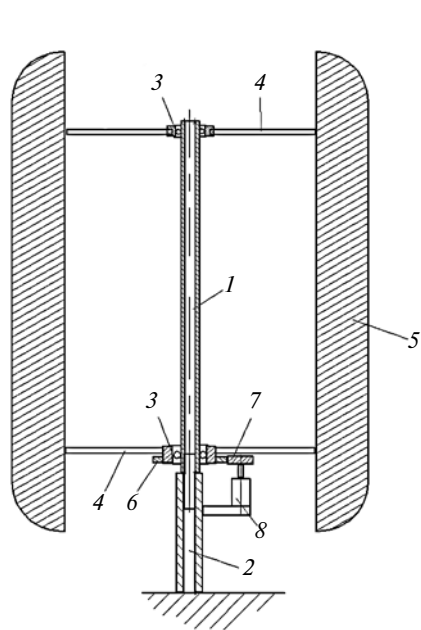


Рис. 3. Схема ВЭС с неподвижной осью

свободного поворота, к которым прикреплены распорки 4 с лопастями 5 ротора Дарье. На нижней втулке соосно и жестко установлено зубчатое колесо 6, кинематически связанное с зубчатым колесом 7, жестко закрепленным на валу генератора 8, который установлен на корпусе-основании 2. Расстояние между опорами 3 может быть в 2—3 раза (ориентировочно) меньше высоты лопастей 5 ротора Дарье. Следовательно, высоту оси 1 можно также уменьшить.

Ветровая система работает следующим образом. Под действием ветра лопасти 5 начинают вращаться, вращение передается втулкам 3, зубчатому колесу 6 и колесу 7, которое вращает вал генератора 8.

Изготовление предлагаемой конструкции ВЭС проще. В старой конструкции вращающийся вертикальный вал закреплялся внизу и вверху, поэтому для ВЭС мощностью 3 кВт вал должен был иметь длину около 8 м, т. е. практически равную длине ротора. Верхний конец вала не мог быть короче ротора, так как для крепления верхней опоры вала

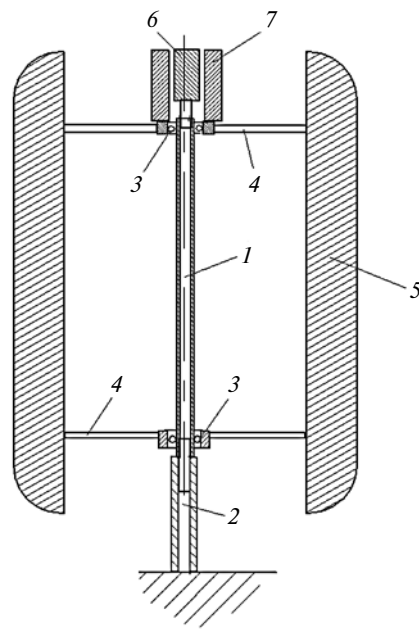


Рис. 4. Схема ВЭС без зубчатых колес

использовали, как правило, туго натянутые тросы. Изготовить длинный вал с обеспечением требуемых соосности и жесткости — сложная технологическая задача, также трудно смонтировать такой вал и обеспечить опору в верхней точке.

Достоинством предлагаемой схемы является то, что неподвижную жесткую ось устанавливают на основании и обеспечивают необходимую соосность в местах установки втулок. При высоте ротора 8 м расстояние между втулками может быть в 2—3 раза меньше высоты ротора, т. е. 3 м. В новой конструкции втулки вращаются вокруг жесткой, относительно короткой оси. Несосность втулок может составлять $2 \div 3$ мм, которая компенсируется упругостью и гибкостью лопастей. Не требуется также опора для крепления верхней части оси. Изготовление ВЭС упрощается на $25 \div 30$ %.

Напомним, что большая длина вертикального вала сдерживает широкое применение роторных ВЭС. Поэтому использование втулок, масса которых намного меньше массы вала,

позволяет создать значительно меньший момент трения в нижней вращательной опоре, а следовательно, повысит КПД установки. Данное решение можно применить в любой схеме ВЭС с вертикальной осью вращения ротора, например, в схемах Савониуса, Дарье, Эванса, Масгрува, карусельной и др.

Применение зубчатых колес в ВЭС не всегда желательно. Рассмотрим вариант, в котором верхняя втулка 3 (рис. 4) напрямую соединена со статором 7 генератора, а неподвижная ось 1 жестко соединена с неподвижным ротором 6 генератора, т. е. вращается статор 7, а ротор 6 остается неподвижным.

Недостатком рассмотренной схемы является сложность изготовления ВЭС мощностью более 10 кВт, так как в этом случае ось должна быть длиной не менее 10 м; затруднены также транспортировка и монтаж такой ВЭС. Поэтому для ВЭС большой мощности предлагается изготовить ось ротора из нескольких частей (рис. 5) [4]. ВЭС состоит из нескольких вертикальных осей 1 (на рис. 5 показаны три), соединяемых соосно, например, с помощью конусов 2 (см. рис. 5, А). Нижняя ось 1 жестко установлена в корпусе-основании 3. На каждой из осей установлены по две втулки 4 с возможностью свободного поворота. К втулкам прикреплены распорки 5 с вертикальными лопастями 6. Распорки соседних осей 1 соединены стержнями 7. На втулке 4 нижней оси 1 соосно и жестко установлено зубчатое колесо 8, кинематически связанное с зубчатым колесом 9, жестко установленным на валу генератора 10, который крепится на корпусе-основании 3. Для обеспечения жесткости всей вертикальной оси внутри осей 1 имеется канат 11, который на конце верхней оси 1 закреплен заглушкой 12, а внизу — винтом 13 и гайкой 14, же-

ство установленным в основании 3.

При действии ветра лопасти 6 начинают вращаться. Вращение через стержни 7 передается нижней втулке 4 нижней оси 1, зубчатому колесу 8 и колесу 9, которое вращает вал генератора 10. Жесткость всей конструкции обеспечивается натяжением каната 11 при вращении винта 13 в гайке 14.

Применение составной оси практически неограниченной длины, например 20 м, позволяет создать относительно недорогую ВЭС мощностью до 100 кВт, которую легко транспортировать к месту эксплуатации.

Рассмотрены ВЭС, имеющие собственное основание, что затрудняет создание комплекса из нескольких ВЭС, так как они занимают большую полезную площадь. Это снижает экономический эффект от их использования. Для уменьшения занимаемой площади предлагается конструкция ВЭС, состоящая из основной неподвижной оси 1 (рис. 6), закрепленной в основании 2, которое жестко установлено в грунте [5]. На ось 1 сверху устанавливается втулка 3, к которой крепится коромысло 4. Втулка с коромыслом могут свободно вращаться на оси 1. На коромысле 4 симметрично от оси 1 закреплены несколько вспомогательных осей 5 (показаны две). На осях 1 и 5 установлены по две втулки 6 с возможностью свободного вращения. К втулкам 6 прикреплены распорки 7 с вертикальными лопастями 8 ротора. На верхних втулках 6 осей 5 и нижней втулке 6 оси 1 соосно и жестко установлены зубчатые колеса 9, кинематически связанные с зубчатыми колесами 10, жестко закрепленными на валах генераторов 11. Генератор 11 оси 1 крепится к основанию 2, а генераторы 11 осей 5 — к коромыслу 4. В середине коромысла 4 перпендикулярно к нему жестко закреп-

лена балка 12, на конце которой установлен флюгер 13.

При действии ветра лопасти 8 начинают вращаться. Вращение передается втулке 6, зубчатому колесу 9 и колесу 10, которое вращает вал генератора 11. Если ось коромысла 4 системы ветровых установок расположится по направлению ветра, то ось 1 и одна из осей 5 будут закрыты от ветра, а плоскость флюгера 13 расположится перпендикулярно к направлению ветра. Под напором ветра флюгер 13 развернет коромысло 4 перпендикулярно к направлению ветра, при этом лопасти 8 всех осей 1 и 5 развер-

нутся в самое выгодное положение в потоке ветра.

Предлагаемый комплекс ВЭС имеет достаточно большую мощность и занимает небольшую площадь, что повышает общую эффективность ВЭС.

Однако рассмотренные ВЭС имеют низкий КПД, что связано со слабым использованием энергии ветра, так как он действует на лопасти, расположенные с одной стороны от оси вращения, в направлении их вращения, а на лопасти, расположенные с другой стороны от оси, — против их вращения. КПД ветровой установки можно повысить, если использо-

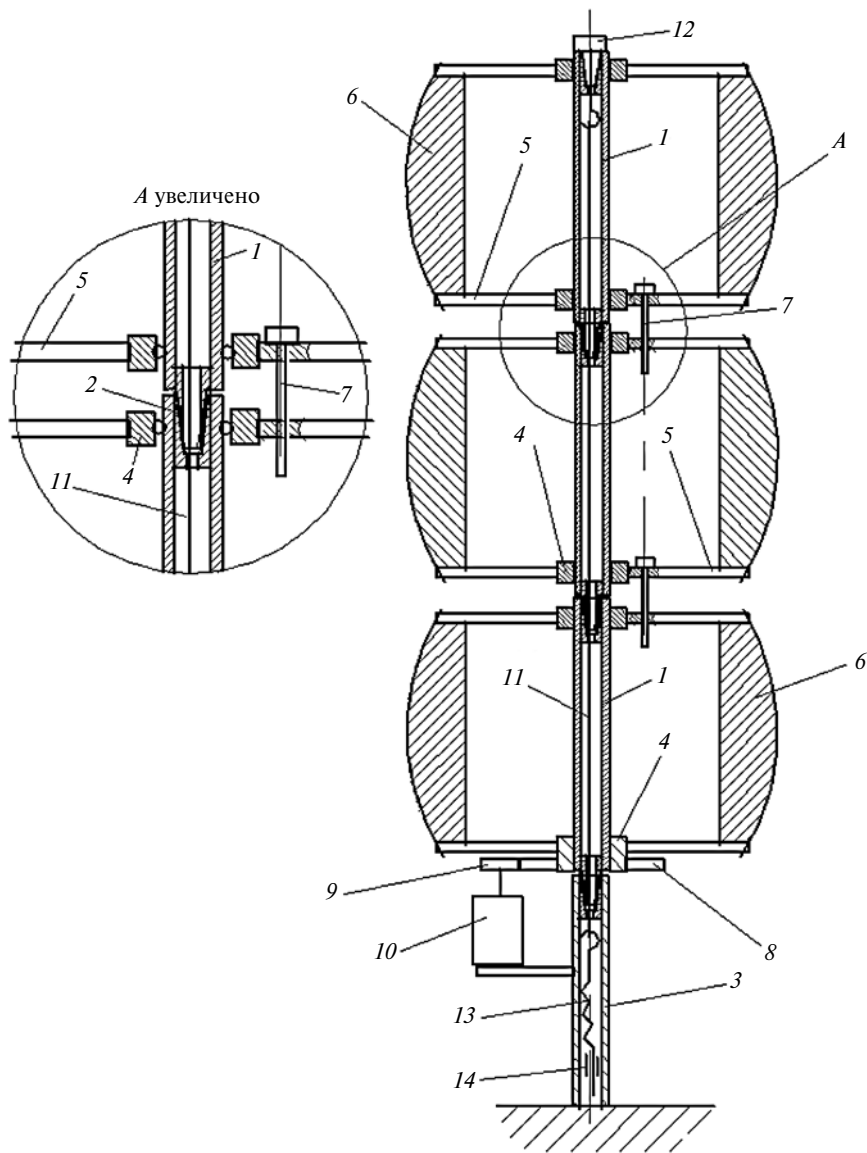


Рис. 5. Схема ВЭС с составной неподвижной осью

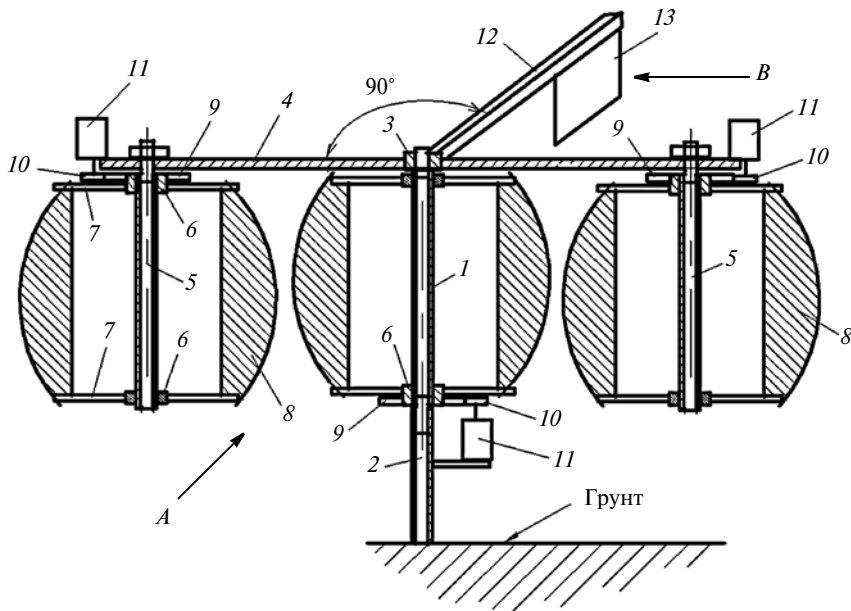


Рис. 6. Схема комплекса ВЭС на одном основании:

A и *B* — направления ветра соответственно на все лопасти 8 и на лопасти 8 только оси 5

вать большую часть потока ветра [6]. Предлагается конструкция ВЭС, которая состоит из вертикальной оси 1 (рис. 7), жестко закрепленной в корпусе-основании 2. На оси 1 установлены четыре втулки 3 с возможностью свободного поворота. К втулкам крепятся распорки 4 с вертикальными лопастями 5 и 6 ветрового ротора: лопасти 5 крепятся к распоркам втулок 3, установленным на концах оси 1; лопасти 6 — к распоркам 4 другой пары втулок 3. Лопасти 5 развернуты так, что при действии ветра вращаются по часовой стрелке, а лопасти 6 установлены так, что при действии ветра вращаются против часовой стрелки. Лопасти 5 и 6 установлены от оси 1 на разном расстоянии так, чтобы не мешать взаимному вращению в разные стороны. На нижней втулке 3 оси 1 соосно и жестко установлено зубчатое колесо 7, кинематически связанное с зубчатым колесом 8, жестко установленным на валу 9 статора 10 генератора. Вал 9 вращается в подшипнике 11, внешнее кольцо которого жестко закреплено на оси 1. На втулке 3 с лопастями 6 уста-

новлено зубчатое колесо 12, кинематически связанное с зубчатым колесом 13, жестко установленным на валу 14 ротора 15 генератора. Вал 14 вращается в подшипнике 16, внешнее кольцо которого жестко закреплено на оси 1.

При действии ветра лопасти 5 и 6 начинают вращаться в разные стороны. Лопасти 5 через распорки 4 вращают нижнюю втулку 3,

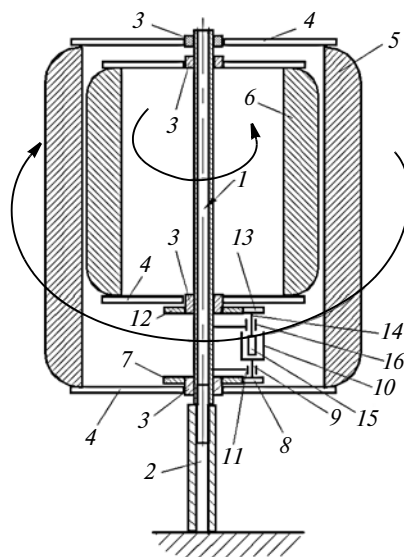


Рис. 7. Схема ВЭС с двумя роторами, вращающимися в разные стороны

зубчатое колесо 7 и колесо 8, которое вращает статор 10 генератора. Лопасти 6 через свои распорки 4 вращают свою втулку 3 с зубчатым колесом 12 и зубчатое колесо 13, которое вращает ротор 15 генератора. Так как ротор 15 генератора вращается в другую сторону относительно вращения статора 10, то общая частота вращения ротора 15 и статора 10 генератора равна сумме их частот вращения. Генератор вырабатывает электроток.

КПД такой ВЭС повышается примерно в 1,5 раза, так как более широкий поток ветра обтекает ось с обеих сторон, а два ротора вращаются в разные стороны под действием своего потока ветра.

Таким образом, предложено несколько вариантов ВЭС с неподвижной вертикальной осью, применение которых позволит повысить их эффективность, снизить стоимость и расширить область применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Eriksson. S., Bernhoff H., Leijon M. Evaluation of different turbine concepts for wind power // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. V. 12. Issue 5. P. 1419—1434.
2. Askarov E. S. Improving the operational efficiency of low power wind system // Russian Engineering Research. 2011. V. 31. N. 2. P. 153—155.
3. **Инновационный патент 22192 Казахстана.** Ветровая энергетическая система с вертикальной осью вращения ветроколеса.
4. **Инновационный патент 29297 Казахстана.** Ветровая энергетическая система с составной вертикальной осью вращения ветроколеса.
5. **Инновационный патент 29298 Казахстана.** Комплекс ветровых энергетических систем с вертикальной осью с одним основанием.
6. **Инновационный патент 29436 Казахстана.** Ветровая энергетическая система с вертикальной осью вращения двух ветровых роторов.