3 (51) 2020

ВЕСТНИК

ISSN 2075-6704

аграрной науки Дона

Don agrarian science bulletin

Теоретический и научно-практический журнал



ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ ДОНА

ISSN 2075-6704

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС77-47152 от 3 ноября 2011 г.

№ 3 (51) 2020

Учредители: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет»,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской»,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Гл. редактор
СЕРЁГИН А.А. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Зам. главного редактора
НЕСМИЯН А.Ю. — доктор технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Редакционная коллегия:

СТРЕБКОВ Д.С. — доктор технических наук, профессор, академик РАН. ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

ШКРАБАК В.С. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (г. Пушкин, Россия)

ВАСИЛЬЕВ А.Н. — доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

ЛОБАЧЕВСКИЙ Я.П. — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

ТАРАНОВ М.А. — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

БОНДАРЕНКО А.М. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

САДЫКОВ Ж.С. — доктор технических наук, профессор, академик МАИ и НАК. Научно-исследовательский институт агроинженерных проблем и новых технологий (г. Алматы, Республика Казахстан)

ВИТЕЗСЛАВ СТЫСКАЛА — Doctor of Philosophy (Ph.D), профессор, Технический университет (г. Острава, Чехия)

АРТЮХОВ И.И. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина» (Россия)

ОРЛОВ П.С. — доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (Россия)

БАРАНОВ Ю.Н. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)» (Россия)

КАЗАНЦЕВ С.П. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева» (Россия)

ЛЕБЕДЕВ А.Т. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Россия)

ПАСТУХОВ А.Г. — доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» (Россия)

ЮДАЕВ И.В. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

СИРАКОВ К.А. — Doctor of Philosophy (Ph.D), доцент, Университет им. Ангела Кынчева (г. Русе, Болгария)

Составитель Мясникова В.В. – кандидат технических наук
Редактор Ленкина Т.П.
Художественный редактор Воронина О.Н.
Компьютерная верстка Гвоздик Н.С.
Перевод Заболотная Е.А.

Подписано в печать 22.08.2020 г. Выход в свет 28.09.2020 г. Формат 60×84 1/8. Усл.-изд. л. 12,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 51.

Адрес редакции: 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21
Телефон/факс/E-mail: (863-59) 40-8-97, (863-59) 43-3-00; vanc2008@mail.ru

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации от 29.12.2015 г. журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и входит в базу данных AGRIS ФАО ООН, Ulrich's Periodicals Directory американского издательства Bowker.

При перепечатке материалов ссылка на «Вестник аграрной науки Дона» обязательна.
В издании рассматриваются научные проблемы обеспечения функционирования различных отраслей АПК.
Представленный материал представляет интерес для ученых, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, руководителей предприятий АПК, слушателей курсов повышения квалификации и др.

© ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2020
© ФГБНУ «АНЦ «Донской», 2020
© ФГБНУ РосНИИПМ, 2020

DON AGRARIAN SCIENCE BULLETIN

ISSN 2075-6704

The journal is registered by Federal Agency for Supervision of Legislation Observance of Mass Communications Sphere and Cultural Heritage Protection. Certificate ПИ № ФС77-47152 from November 3, 2011 г.

№ 3 (51) 2020

Constitutors: Feceral State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Don State Agrarian University».
Feceral State Scientific Establishment «Agricultural Research Center «Donskoy»,
Feceral State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Melioration Problems»

Editor in chief
SERYOGIN A.A. — Doctor of Technical Sciences, professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

Deputy editor in chief
NESMIYAN A.Yu. — Doctor of Technical Sciences, professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

Editorial staff:
STREBKOV D.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, Academician of the RAS, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)
SHKRABAK V.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «St.-Petersburg State Agrarian University» (Pushkin, Russia)
VASILJEV A.N. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)
LOBACHEVSKIY Ya.P. — Doctor of Technical Sciences, professor, Corresponding Member of the RAS, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)
TARANOV M.A. — Doctor of Technical Sciences, professor, Corresponding Member of the RAS, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd
BONDARENKO A.M. — Doctor of Technical Sciences, professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Russia)
SADYKOV Zh.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, Academician MAI and NAK, Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies (Alma-Aty, Kazakhstan)
VITEZSLAV STYSKALA — Doctor of Philosophy (Ph.D), professor Technická Univerzita Ostrava (VŠB – TUO) (Ostrava, Czech Republic)
ARTYUKHOV I. I. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Yuri Gagarin State Technical University of Saratov» (Russia)
ORLOV P.S. — Doctor of Technical Sciences, associate professor, FSBEI HE «Yaroslavl State Agricultural Academy» (Russia)
BARANOV Yu.N. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovskiy» (Russia)
KAZANTSEV S.P. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy» (Russia)
LEBEDEV A.T. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» (Russia)
PASTUKHOV A.G. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin» (Russia)
YUDAEV I.V. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «St. Petersburg State Agrarian University» (Russia)
SIRAKOV K.A. — Doctor of Philosophy (Ph.D), associate professor, «Angel Kanchev University of Ruse» (Bulgaria)

Compiler Miroshnikova V.V. – candidate of technical sciences
Editor Luchnikina N.P.
Art editor Vdovkina S.P.
Computer editors Gvozdik N.V
English version executive Zabolotnaia E.A.

Signed to publishing – 28.09.2020. Published – 28.09.2020. Format 60×84 1/8. Circulation 1000 copies. Order No 31.

Editor's address: 347740 Rostov region, Zernograd, 21, Lenin St.
Tel./fax/E-mail: (863-59) 43-9-97, (863-59) 43-3-80; vanc2008@mail.ru

According to the decision of Presidium of Higher attestation commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on 29.12.2015 the journal was included into the list of leading peer-reviewed journals and issues where candidate and doctoral degree thesis basic scientific results should be published.

The journal is included into the Russian Science Citation Index (RISC) and is included into AGRIS international database of FAO UN, the Ulrich's Periodicals Directory database of Bowker american publishing house.

When recopying the materials one must refer to «Don agrarian science bulletin».
The journal deals with the scientific problem of different fields functioning in Agro-Industrial Complex.
The material is for scientists, lecturers, post-graduates, students of higher educational institutions, heads of agricultural enterprises, students of retraining courses.

© FSBEI HE Don SAU, 2020
© FSSE «ARC «Donskoy», 2020
© FSBSI RRIMP, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование

Суханова М.В.
Обоснование применения ударопоглощающих рабочих органов для снижения травмирования и интенсификации предпосевной обработки семян 4

Башилов А.М., Королёв В.А., Таранов М.А., Гуляев П.В.
Манёвренные прецизионно-точечные авиационные агротехнологии 10

Краснов И.Н., Краснова А.Ю., Мирошникова В.В., Глобин А.Н.
Основные закономерности пастеризации молока с помощью гидродинамического нагревателя 19

Левшин М.В.
Влияние частоты электрического сигнала на измеряемое удельное сопротивление при электрофизическом подходе оценки свойств почв гумидной зоны 26

Суханова М.В., Забродин В.П., Грачёва Н.Н., Бондарев А.В., Казакова А.С.
Анализ травмируемости семян в смесителе-инфузаторе барабанного типа с наклонной осью вращения 32

Барышев Д.Д., Барышева Н.Н., Пронин С.П., Беляев В.И.
Сравнение биоэлектрических сигналов щуплых и выполненных семян пшеницы 38

Башилов А.М., Королёв В.А., Арженовский А.Г., Глобин А.Н., Глечикова Н.А.
Проактивное моделирование динамической сложности агротехноценозов 45

Мусенко А.А., Белов А.А.
Проведение исследований по влиянию ЭГ обработанной воды на рост и развитие растений 54

Таранов М.А., Гуляев П.В., Попов М.Ю., Пупенко К.К., Татаринцев А.С.
Система озоно-электролизной стерилизации птичьего помета для внесения в качестве удобрений в культивационных сооружениях защищенного грунта 60

Кравченко В.А., Кравченко Л.В., Меликов И.М., Кондра Б.А.
Агротехнологические показатели ходовых систем трактора класса 5 с шинами 33R-32 разного конструктивного исполнения 67

Бакиров С.М.
Разработка устройства динамической компенсации реактивной мощности электродвигателей, используемых в составе электроприводов секций дождевальной машины 78

Алексеенко В.А., Сидельников Д.А., Капов С.Н., Иноценко В.А., Шабаев Е.А.
Исследование влияния концентратора воздушного потока на энергетические показатели модели вертикально-осевого роторного ветродвигателя 87

Техносферная безопасность

Шкрабак Р.В., Богатырёв В.Ф., Шкрабак В.С., Шкрабак А.В., Давлятшин Р.Х., Шкрабак А.Р.
Динамика летального травматизма работников сельского, лесного хозяйства, рыболовства и рыбоводства 93

CONTENTS

Technology, mechanization and power equipment

Sukhanova M.V.
Justification of application of shock-absorbing working elements for reduction of injury and intensification of pre-seeding treatment of seeds 4

Bashilov A.M., Korolev V.A., Taranov M.A., Gulyaev P.V.
Maneuverable precision-point aviation agrotechnologies 10

Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroschnikova V.V., Globin A.N.
Basic regularities of milk pasteurization using a hydrodynamic heater 19

Levshin M.V.
Influence of the frequency of the electric signal on the measured specific resistance in the electrophysical approach to estimate the properties of soils in the humid zone 26

Sukhanova M.V., Zabrodin V.P., Grachyova N.N., Bondarev A.V., Kazakova A.S.
Analysis of seed injury in a drum-type seed treator with inclined rotation axis 32

Baryshev D.D., Barysheva N.N., Pronin S.P., Belyaev V.I.
Comparison of bioelectric signals of shrunken and full-weight wheat seeds 38

Bashilov A.M., Korolev V.A., Arzhenovskij A.G., Globin A.N., Glechikova N.A.
Proactive modeling of the dynamic complexity of agrotechnocenoses 45

Musenko A.A., Belov A.A.
Carrying out the research on the influence of electrohydraulic treated water on the growth of plants 54

Taranov M.A., Gulyaev P.V., Popov M.Yu., Pupenko K.K., Tatarintsev A.S.
The system of ozone-electrolysis sterilization of poultry manure for using as fertilizer at the growing sructures of protected ground 60

Kravchenko V.A., Kravchenko L.V., Melikov I.M., Kondra B.A.
Agrotechnological indicators of moveable systems of tractor class 5 with tires 33R-32 of different design 67

Bakirov S.M.
Development of power factor dynamic compensation unit of electric motors used in the composition of the electric drives of the sprinking machine sections ... 78

Alekseenko V.A., Sidelnikov D.A., Kapov S.N., Inotsenko V.A., Shabaev E.A.
Research of the influence of the airflow concentrator on the energy indicators of the vertical-axial mode rotary wind motor 87

Technosphere safety

Shkrabak R.V., Bogatyrev V.F., Shkrabak V.S., Shkrabak A.V., Davlyatshin R.Kh., Shkrabak A.R.
Dynamics of fatal injuries in agriculture, forestry and fisheriessectors 93

power supply system by compensating devices], *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2013. No 6. pp. 17–18. (In Russian)

3. Mugalimov, R.G., Mugalimov A.R. Opredelenie emkosti kompensiruyushhego kondensatora asinkhronnogo dvigatelya s individual'noj kompensacie reaktivnoj moshhnosti [Determination of the capacity of the compensating capacitor of an induction motor with individual compensation for reactive power], *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, Vyp. 3: v 5 ch. Tula, 2010. Ch. 4, pp. 115–120. (In Russian)

4. Katalog irrigatsionnoy produktsii Zimmatic by Lindsay [Irrigation Product Catalog Zimmatic by Lindsay], [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa www. lindsay.com. Data obrashheniya 23.11.2019.

5. Katalog produktsii Valley [Product Catalog Valley], [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa. www.valmont.com/irrigation. Data obrashheniya 16.11.2019. (In Russian)

6. Ryazancev A.I., Antipov A.O., Czvetkov A.V. Snizhenie energeticheskikh zatrat na dvizhenie mnogoopornykh elektrifitsirovannykh dozhdevalnykh mashin [Reducing energy costs for driving multi-support electrified sprinklers], *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2016, No 1 (29), pp. 83–86. (In Russian)

7. Eroshenko, G.P., Loshkarev I.Yu., Bakirov S.M., Shlyupikov S.V., Ischenko A.P. The rationale for the method of powering rail electrified machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, No 341(1).

8. Eroshenko G.P., Bakirov S.M., Ziniev Sh.Z., Grachev A.S. Znachenie dinamicheskoy kompensatsii reaktivnoy moshhnosti elektrodvigateley sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy [The value of dynamic compensation of reactive power of electric motors of agricultural enterprises]. Aktual'nye problemy energetiki APK: materialy X nacz. nauch.-prakt. konf. s mezhd. uchastiem, pod obshh. red. V.A. Trushkina, Saratov: OOO «CeSAin», 2019, pp. 89–93. (In Russian)

9. Spravochnik. Alyuminievye elektroliticheskie kondensatory EPCOS [EPCOS Aluminum Electrolytic Capacitors], M.: Epcos (www.epcos.com), 2004, 627 p. (In Russian)

10. Eroshenko G.P., Ziniev Sh.Z. Ekonomiya elektroenergii v sel'skokhozyaystvennykh asinkhronnykh elektroprivodakh za schet plavnoy individual'noy kompensatsii reaktivnoy moshhnosti [Saving electricity in agricultural asynchronous electric drives due to smooth individual compensation of reactive power], *VESTNIK*, 2013, No 1, Groznyy: FGBOU VPO Chechen. GU, pp. 143–145. (In Russian)

11. Jia H., Yin J., Li J., Huo Q., Han L. Auto-reclosing Control Strategy of Thyristors-based High Voltage DC Hybrid Circuit Breaker, *Gaodianya Jishu. High Voltage Engineering*, 2019. No 45 (1), pp. 46–54.

12. Iberla K. Faktornyy analiz [Factor analysis], [per. s nem.], M.: Statistika, 1980, 398 p. (In Russian)

13. Suzdal'tsev A.I., Petrov S.P. Osnovy strategii nauchnogo issledovaniya tekhnicheskikh sistem [Fundamentals of the Research Strategy of Technical Systems], *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2008, No 1–2, pp. 222–227. (In Russian)

Сведения об авторе

Бакиров Сергей Мударисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация). Тел.: +7-917-217-28-88. E-mail: s.m.bakirov@mail.ru.

Information about the author

Bakirov Sergey Mudarisovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Engineering physics, electrical equipment and electrical technologies department, FSBEI HE «Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov» (Russian Federation). Phone: +7-917-217-28-88. E-mail: s.m.bakirov@mail.ru.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 621.548: 621.311.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАТОРА ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОГО РОТОРНОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

© 2020 г. В.А. Алексевнко, Д.А. Сидельников, С.Н. Капов, В.А. Иноценко, Е.А. Шабаев

Ветроэлектрические станции рентабельны при среднегодовой скорости ветра больше 5 м/с. Одним из способов повышения их эффективности в регионах с малыми среднегодовыми скоростями ветра является использование концентраторов воздушного потока. Распространение концентраторов воздушного потока сдерживается отсутствием данных о их влиянии на основные энергетические характеристики ветроэлектрических станций. Испытание предусматривает определение энергети-ческих показателей модели вертикальнс-осевого роторного ветродвигателя с концентратором воздушного потока в зависимости от угла установки на нем плоских вертикальных направителей с использованием аэродинамический трубы. Для достижения поставленной цели разработана и изготовлена лабораторная установка. Она

состоит из модели ротора ветродвигателя, которая имеет трехлопастной ротор с определенными конструкционными и энергетическими характеристиками и непосредственно концентратором воздушного потока с возможностью установки угла наклона плоских направителей в пределах 25°–40°. Определение эффективности кольцевого концентратора воздушного потока сводится к определению крутящего момента, создаваемого трехлопастным ветродвигателем в зависимости от угла наклона плоских вертикальных направителей по отношению к направлению ветрового потока. Определение мощности на валу ветродвигателя производили косвенно через массу груза и число оборотов. Результаты лабораторных испытаний свидетельствуют о том, что при соблюдении рекомендованных пропорций линейных размеров лопастей и их взаимного расположения достигается максимальная мощность, соответствующая углу наклона вертикальных направителей 30°. Полученные результаты лабораторных испытаний позволили изготовить вертикально-осевую роторную ВЭУ с двумя роторами и концентратором воздушного потока, испытания которой в натурных условиях подтвердили правильность принятых решений.

Ключевые слова: концентратор, воздушный поток, ветродвигатель, энергоснабжение, ветроэнергетика, вертикально-осевой, модель, испытания, аэродинамическая труба, лопасть, крутящий момент.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE AIRFLOW CONCENTRATOR ON THE ENERGY INDICATORS OF THE VERTICAL-AXIAL MODEL ROTARY WIND MOTOR

© 2020 г. V.A. Alekseenko, D.A. Sidelnikov, S.N. Kapov, V.A. Inotsenko, E.A. Shabaev

Wind power plants are profitable with an average annual wind speed of more than 5 m/s. One of the ways to improve their efficiency in regions with low average annual wind speeds is to use air flow concentrators. The spread of air flow concentrators is constrained by the lack of data on their impact on the main energy characteristics of wind power plants. The test provides for the determination of the energy parameters of a model of a vertical-axial rotary wind turbine with an air flow concentrator depending on the angle of installation of flat vertical guides on it using a wind tunnel. To achieve this goal, a laboratory setup was developed and manufactured. It consists of a model of a wind turbine rotor, which has a three-bladed rotor with certain structural and energy characteristics and directly with an air flow concentrator with the ability to set the angle of inclination of flat guides within 25°– 40°. Depending on the angle of inclination of the flat vertical guides in relation to the direction of the wind flow. Determination of the power on the shaft of the wind turbine was carried out indirectly through the mass of the load and the number of revolutions. The results of laboratory tests indicate that, subject to the recommended proportions of the linear dimensions of the blades and their relative position, the maximum power is achieved, corresponding to the angle of inclination of the vertical guides of 30°. The obtained results of laboratory tests made it possible to manufacture a vertical-axial rotary wind turbine with two rotors and an air flow concentrator, the tests of which in full-scale conditions confirmed the correctness of the decisions made.

Keywords: concentrator, air flow, wind turbine, power supply, wind power, vertical-axial, model, tests, wind tunnel, blade, torque.

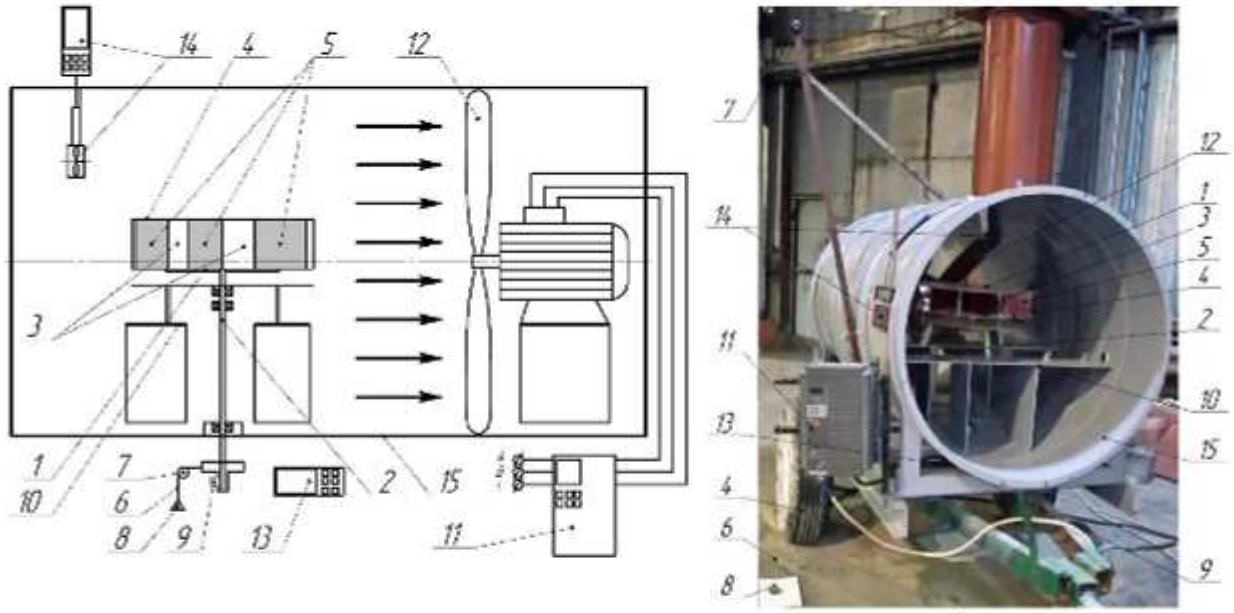
Введение. Постоянный рост цен топливных ресурсов заставляет удалённых от энергосетей сельскохозяйственных потребителей использовать альтернативные и возобновляемые источники, к которым относятся солнце и ветер [1]. Использование солнечных панелей и ветроэлектрических станций (ВЭС) уже давно не новинка [2, 3].

ВЭС рентабельны при среднегодовой скорости ветра больше 5 м/с [4, 5]. Одним из способов повышения эффективности ВЭС в регионах с малыми среднегодовыми скоростями ветра является использование концентраторов воздушного потока (КВП), обеспечивающих усиление аэродинамического взаимодействия набегающего воздушного потока с ротором ВЭС.

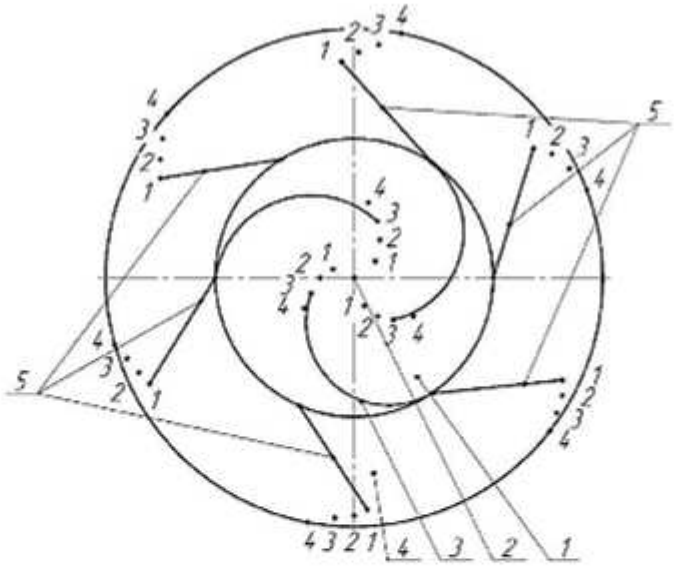
В последнее время разработано большое количество предложений по применению в конструкциях ветроэнергетических установок (ВЭУ) дополнительных устройств (концентраторов воздушного потока, поток формирующих элементов), призванных повысить эффективность использования ветровой энергии [6, 7]. Однако отсутствуют данные о их влиянии на основные энергетические характеристики ВЭУ, а также недостаточно разработаны методики, позволяющие выбрать оптимальные параметры этих устройств.

Цель исследований и испытаний предусматривает определение энергетических показателей модели вертикально-осевого роторного ветродвигателя с концентратором воздушного потока в зависимости от угла установки на нем плоских вертикальных направителей с использованием аэродинамической трубы.

Методика исследования. Для проведения научных исследований эффективности КВП была разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунки 1 и 2).



а – схема установки; *б* – общий вид
1 – диск; 2 – ось; 3 – лопасти (сбоку не показаны); 4 – концентратор воздушного потока; 5 – плоские вертикальные направители; 6 – нить; 7 – блок; 8 – груз; 9 – прерыватель; 10 – опора; 11 – преобразователь частоты; 12 – вентилятор; 13 – счетчик оборотов; 14 – анемометр; 15 – труба
Рисунок 1 – Схема и общий вид лабораторной установки для исследования эффективности КВП в зависимости от расположения плоских вертикальных направителей



1 – диск; 2 – ось; 3 – лопасти; 4 – концентратор воздушного потока; 5 – плоские вертикальные направители
Рисунок 2 – Схема установки углов наклона плоских вертикальных направителей на лабораторной установке при испытании модели ротора ветродвигателя с КВП

Установка состоит из модели ротора ветродвигателя, помещенной в аэродинамическую трубу, которая имеет трехлопастной ротор с определенными конструкционными и энергетическими характеристиками [8] и непосредственно КВП с возможностью установки угла наклона плоских направителей α в позициях 1, 2, 3, 4 (рисунок 3).

Работает лабораторная установка следующим образом (рисунок 1). При включении вентилятора 12 через преобразователь частоты 11 поток воздуха, проходя вдоль плоских вертикальных направителей 5 концентратора воздушного потока 4, воздействует на лопасти 3, установленные на диске 1. Под воздействием направленного потока воздуха лопасти 3 испытывают давление и стремятся привести диск 1

во вращательное движение. При этом диск 1 воздействует на нить 6, переброшенную через блок 7, стремясь поднять груз 8. Величина груза 8, которую может сдвинуть врашающийся диск 1, определяет момент трогания, создаваемый лопастями 3 под воздействием воздушного потока. Число оборотов и время поднятия груза регистрируются с помощью прерывателя 8 счетчиком числа оборотов 13.

Лабораторные испытания проводили в следующем порядке. Предварительно установили лопасти ротора 3 в позиции 3, плоские направители 5 в позиции 1. Скорость ветрового поток измерялась анемометром UT362 в пределах 9 м/с и регулировалась частотным преобразователем 11 вентилятора 12. Величина груза 8, который может сдвинуть вращающийся диск 1, подбиралась экспериментально. Частота вращения диска 1 регистрировалась счетчиком оборотов 13. Испытания проводились в пятикратной повторности с их рандомизацией. Полученные данные позволили определить крутящий момент на валу ротора в каждом из экспериментов, проводимых в позициях вертикальных направителей 1, 2, 3, 4, изменяющих их угол наклона к направлению ветрового потока соответственно 25°, 30°, 35°, 40°.

Определение эффективности кольцевого КВП потока сводится к определению крутящего момента, создаваемого трехлопастным ветродвигателем в зависимости от угла наклона плоских вертикальных направителей по отношению к направлению ветрового потока [9, 10]. Комплект оборудования для проведения исследования (см. рисунок 1 *б*) включает также контрольно-измерительную аппаратуру, приборы для регистрации опытных данных.

Определение мощности на валу ветродвигателя производили косвенно через массу груза и число оборотов.

Величина крутящего момента $M_{кр}$, Н·м, определяется выражением по формуле

$$M_{кр} = m \cdot g \cdot l, \qquad (1)$$

где m – масса груза, кг;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

l – длина плеча от точки крепления нити до оси вращения, м.

Мощность, развиваемая моделью трехлопастного ветродвигателя с КВП, находили по формуле

$$N = M_{кр} \cdot 2\pi \cdot n / 60, \qquad (2)$$

где n – число оборотов, мин⁻¹.

Результаты лабораторных исследований и их обсуждение. Авторами работы оценивалось влияние положения плоских вертикальных направителей КВП на энергетические показатели модели вертикально-осевого роторного трехлопастного ветродвигателя, имеющего лучшие энергетические характеристики.

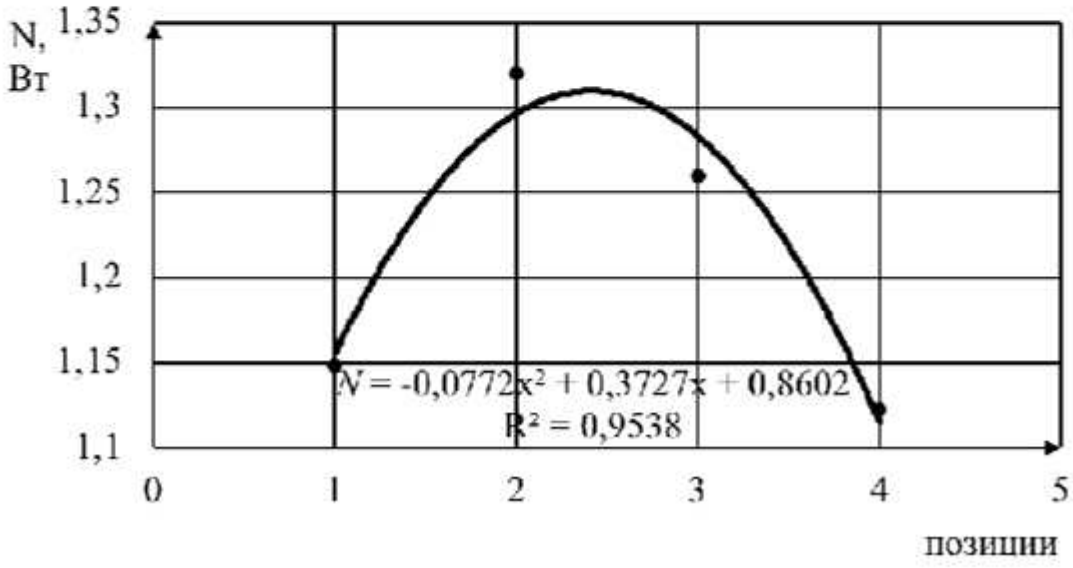


Рисунок 3 – Зависимость мощности ротора N от погожений в позициях

Лабораторные испытания трехлопастной модели роторного ветродвигателя с КВП (рисунок 3) свидетельствуют о том, что при соблюдении рекомендованных пропорций линейных размеров лопастей и их взаимного расположения, определенных по отношению к радиусу ротора модели ветродвигателя, достигается максимальная мощность, соответствующая 2-й позиции плоских вертикальных направителей при скорости воздушного потока 9 м/с.

В позиции 2 угол наклона вертикальных направителей составляет α = 30°. При этом площадь прохождения воздушного потока между внутренними кромками лопастей составляет S = 0,073 м^2 и соответствует углу α сектора лопасти, равному 18°, представляющему собой угол раскрытия лопасти, обеспечивающий необходимое проходное сечение между внутренними кромками лопастей, достаточное для массового расхода воздушного потока при заданных параметрах ротора.

Выводы. Используя полученные результаты лабораторных испытаний модели роторного ветродвигателя с КВП, представилась возможность изготовить вертикально-осевую роторную ВЭУ с двумя роторами и кольцевым концентратором воздушного потока, испытания которой в натурных условиях подтвердили правильность принятых решений.

Применение КВП позволит сделать рентабельным эксплуатацию РВУ при среднегодовых скоростях ветрового потока от 4–5 м/с.

Литература

1. Григораш, О.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О.В. Григораш, А.А. Хамула, А.В. Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.

2. Шерьязов, С.К. Выбор рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей (на примере Челябинской области) / С.К. Шерьязов. – Челябинск, 2010. – 40 с.

3. Obukhov, S.G. Methods of effective use of solar power system / S.G. Obukhov, I.A. Plotnikov, S.K. Sheryazov // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. – Proceedings. – Tomsk, 2016. – P. 791–1015.

4. Solomin, E. Renewable energy potential of Russian Federation / E. Solomin, A. Ibragim, P. Yunusov // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2020. – T. 641 LNEE. – P. 469–476.

5. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation / V.A. Alekseenko, Y.I. Gevora, D.A. Sidelnikov, A.A. Pluzhnikova // 19-th International Scientific Conference: Engineering for rural development. – Proceedings, 2020. – V. 19. – P. 860–866.

6. Seitenov, D. A comparative ANSYS-based force analysis of a new horizontal-axis semi-exposed wind turbine / D. Seitenov, N. Mir-Nasiri, M.H. Ali // Wind Engineering. – 2019. – No 44 (4). – P. 410–433.

7. Пат. 2572356 РФ. Роторный ветродвигатель с кольцевым концентратором воздушного потока / Алексеенко В.А., Халюткин В.А. – № 2014146331/06; заявл. 18.11.2014; опубл. 10.01.2016.

8. Исследование роторного ветродвигателя при различном числе лопастей и их расположении / В.А. Алексеенко, В.А. Халюткин, В.А. Иноценко, И.И. Швецов // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 42–43.

9. Darrieus vertical axis wind turbine: Basic research methods / X. Jin, G. Zhao, K. Gao, W. Ju // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – No 42. – P. 212–225.

10. Pope, K. Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines / K. Pope, I. Dincer, G.F. Naterer // Renewable Energy. – 2010. – No 35 (9). – P. 2102–2113.

References

1. Grigorash O.V., Hamula A.A., Kvitko A.V. Resursy vozobnovlyaemykh istochnikov energii Krasnodarskogo kraya [Renewable energy resources of the Krasnodar Territory]. *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No 92, pp. 630–641. (In Russian)

2. Sheryazov S.K. Vybor ratsional'nogo sochetaniya traditsionnykh i vozobnovlyaemykh energoresursov v sisteme energosnabzheniya sel'skohozyaystvennykh potrebiteley (na primere Chelyabinskoy oblasti) [Choosing a rational combination of traditional and renewable energy resources in the energy supply system of agricultural consumers (on the example of the Chelyabinsk region)], Chelyabinsk, 2010, 40 p. (In Russian)

3. Obukhov S.G., Plotnikov I.A., Sheryazov S.K. Methods of effective use of solar power system, *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing*. ICIEAM 2016. Proceedings. Tomsk, 2016, pp. 791–1015.

4. Solomin E., Ibragim A., Yunusov P. Renewable energy potential of Russian Federation, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, T. 641 LNEE, pp. 469–476.

5. Alekseenko V.A., Gevora Y.I., Sidelnikov D.A., Pluzhnikova A.A. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation, 19-th International Scientific Conference: Engineering for rural development. Proceedings, 2020, V. 19, pp. 860–866.

6. Seitenov D., Mir-Nasiri N., Ali M.H. A comparative ANSYS-based force analysis of a new horizontal-axis semi-exposed wind turbine, *Wind Engineering*, 2019, No 44 (4), pp. 410–433.

7. Alekseenko V.A., Khalyutkin V.A. Rotornyy vetrodvigatel' s kol'tsevym koncentratorom vozdushnogo potoka [Rotary wind turbine with annular air flow concentrator], pat. 2572356 RF, No 2014146331/06; zayavl. 18.11.2014, opubl. 10.01.2016. (In Russian)

8. Alekseenko V. A., Khalyutkin V.A., Inotsenko V.A., Shvetsov I.I. Issledovanie rotornogo vetrodvigatelya pri razlichnom chisle lopastey i ikh raspolozhenii [Research of a rotary wind turbine with a different number of blades and their location], *Sel'skiy mekhanizator*, 2019, No 4, pp. 42–43. (In Russian)

9. Jin X., Zhao G., Gao K., Ju W. Darrieus vertical axis wind turbine: Basic research methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015. No 42, pp. 212–225.

10. Pope K., Dincer I., Naterer G.F. Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines, *Renewable Energy*, 2010, No 35 (9), pp. 2102–2113.

Сведения об авторах

Алексеенко Виталий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технологии АПК», ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация). Тел.: +7-918-751-34-79. E-mail: v.a.alexeenko81@gmail.com.

Сидельников Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технологии АПК», ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация). Тел.: +7-918-760-78-73. E-mail: dimasud@yandex.ru.

Капов Султан Нануович – доктор технических наук, доцент кафедры «Механика и компьютерная графика», ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация). Тел.: +7-918-751-34-79. E-mail: capov-sn57@mail.ru.

Иноценко Виктор Александрович – старший преподаватель кафедры «Тактико-специальная и огневая подготовка», Ставропольский филиал Краснодарского университета МВД России (г. Ставрополь, Российская Федерация). Тел.: +7-909-759-66-07. E-mail: inovik8@mail.ru.

Шабаев Евгений Адимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация энергетического оборудования и электрические машины», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Россия). Тел.: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

Information about the authors

Alekseenko Vitaly Alekseevich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Machines and technologies of agro industrial complex department, FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» (Russian Federation). Phone: +7-918-751-34-79. E-mail: v.a.alexeenko81@gmail.com.

Sidelnikov Dmitry Alekseevich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Machines and technologies of agro industrial complex department, FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» (Russian Federation). Phone: +7-918-760-78-73. E-mail: dimasud@yandex.ru.

Kapov Sultan Nanuovich – Doctor of Technical Sciences, associate professor of the Mechanics and computer graphics department, FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» (Russian Federation). Phone: +7-918-751-34-79. E-mail: capov-sn57@mail.ru.

Inotsenko Viktor Aleksandrovich – senior lecturer of the Special tactical and fire training department, Stavropol Branch of the Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of Russia (Stavropol, Russian Federation). Phone: +7-909-759-66-07. E-mail: inovik8@mail.ru.

Shabaev Evgeny Adimovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor, chief of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zemograd (Rostov region, Russia). Tel.: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.