



УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И РЕШЕНИЯ ПО УТИЛИЗАЦИИ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

### MODERN METHODS AND SOLUTIONS FOR UTILIZATION OF WINDMILL BLADES

**Ляшенко Андрей Михайлович**

Кубанский государственный технологический университет

**Афанасьев Виктор Леонидович**

Кубанский государственный технологический университет

**Махинько Владислав Сергеевич**

Кубанский государственный технологический университет

**Аннотация.** В статье показан анализ современных методов и решений по утилизации лопастей ветроэлектрических установок.

**Ключевые слова:** моделирование, электроприемник, электрический генератор, электрическая машина, ветроэлектрические установки, экология.

**Lyashenko Andrey Mikhaylovich**

Kuban State Technological University

**Afanasiev Viktor Leonidovich**

Kuban State Technological University

**Mahinko Vladislav Sergeyeovich**

Kuban State Technological University

**Annotation.** The article shows the analysis of problems of creation and ecological operation of electric receivers using the example of wind power plants.

**Keywords:** simulation, electric receiver, electric generator, electric machine, wind-electric plants, ecology.

Для ветроэнергетики в выработке мировой электроэнергии постепенно возрастает [1]. Для успешного развития ветроэнергетики необходимо создание новых типов электрических комплексов [2, 3] и электромеханических систем [4, 5]. Для этого необходимы новые подходы [6, 7] и методы [8, 9] для расчета параметров [10]: электромагнитной системы [11, 12] и электромагнитных величин [13, 14], электромагнитную энергию [15, 16] и момент [17, 18]. Аналитически такая задача решается довольно трудно. Для этого разрабатывают программы расчета параметров и моделирования электромагнитных процессов [19].

На сегодняшний день во всем мире люди сталкиваются с проблемой утилизации ветроэлектрических установок. Из чего же они выполнены, что их так сложно и проблемно утилизировать? Лопастей ветроэлектрических установок выполнены из волокнисто-полимерного композита, который способен выдерживать сильнейшие порывы ветра и не разрушаться под его воздействием.

В естественной среде материал, из которого изготавливают лопасти ветроэлектрических установок, практически не подвержен разложению в естественной среде. На сегодняшний день есть несколько способов утилизации лопастей.

Первый и самый «грязный» способ – это захоронение лопастей ветроэлектрических установок под землей. В США из эксплуатации ежегодно выводится около 8000 лопастей. По окончании срока службы ветряных турбин лопасти необходимо разрезать промышленными пилами на маленькие куски, чтобы их можно было разместить на прицепе с плоской платформой, и вывезти на мусорную свалку. Кроме свалки мусора в Каспере, выброшенные лопасти принимают еще в Лейк-Миллсе, Айове и Су-Фолсе, Южной Дакоте. Как только лопасти оказываются в земле, они остаются там практически навсегда, так как не разлагаются со временем.

Второй способ – это измельчение лопастей в мелкие гранулы – так называемый рециклят. То есть лопасти разрезают на все более мелкие части, потом и их дробят, и полученный продукт служит наполнителем при производстве пластмасс или новых волокнистых композиционных материалов. Правда, это едва ли сможет полностью решить проблему утилизации лопастей, поскольку доля рециклята в новых продуктах не должна превышать 40 процентов. Возможно, именно это побудило одного из швейцарских производителей цемента предложить технологию, в которой термическая утилизация сочетается с рециклингом материала. Процесс производства цемента предполагает нагрев сырья до температуры в 1400 градусов Цельсия, и измельченные лопасти могут заменить уголь или мазут в качестве топлива, пусть и низкокалорийного. А из золы, остающейся после сгорания, можно извлечь еще и ряд материалов, обычно используемых в производстве цемента – например, песок.

Возможно, выходом из ситуации станет развитие стартапа, предложенного компанией Global Fibreglass Solutions. Его суть заключается в применении сверхвысоких температур, трансформирующих исходный материал в волокна. На втором этапе переработки они могут быть спрессованы в плиты и превращены, например, в напольные покрытия. По словам разработчиков, таким способом можно ути-



лизировать 99,9 % стандартной лопасти, а мощности одного завода хватит на то, чтобы переработать от 6 до 7 тысяч лопастей в год. Однако это лишь теория, а жители тех регионов мира, где в общем объеме генерации велика доля ветра, нуждаются в практическом воплощении подобного рода идей.



**Рисунок 1** – Лопасти ветроэлектрических установок

Вдобавок к этому, специалисты работают над альтернативными технологиями переработки композитных лопастей, такими как: механическая рециркуляция, сольволиз и пиролиз. Успешные исследования в этих направлениях дадут возможность создавать безотходные ветровые турбины. Так, компания Vestas обещает наладить безотходное производство ветрогенераторов к 2040 году. Не осталась в стороне химическая и композитная промышленность – совместно с ветроэнергетическими корпорациями создана межотраслевая площадка, основой которой является ветроэнергетическое объединение WindEurope, Европейский совет химической промышленности Cefic и ассоциация EUCIA, производящая композитные материалы. Совместными усилиями корпорации ведут поиск новых способов утилизации и переработки лопастей ветряков.

### Литература:

1. URL : <https://forpost-sz.ru/a/2020-10-13/vetroehnergetiku-nazvali-v-ssha-nepredvidennym-ehkologicheskim-koshmarom>
2. Карандей В.Ю., Попов Б.К. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
3. Афанасьев В.Л., Карандей В.Ю., Попов Б.К. Управляемый каскадный электрический привод // Патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
4. Карандей В.Ю., Попов Б.К. Токосъемное устройство // Патент на изобретение № 2370869 зарегистрировано 30.06.2008 г.
5. Сигнализирующее токосъемное устройство / В.Ю. Карандей [и др.] // Патент на изобретение № 2601958 от 27 июля 2015 г, зарегистрировано 18.10.2016 г.
6. Popova O.B., Popov B.K., Karandey V.Yu. Intelligence amplification in distance learning through the binary tree of question-answer system // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. – 2015. – Vol. 214. – P. 75–85. Doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.597.
7. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – Vol. 722. – P. 432–437. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8\_67.
8. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova [et al.] // *Mediterranean journal of social sciences*. – 2015. – Vol 6. – № 6 S5. – P. 212–217.
9. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova [et al.] // *British Journal of Applied Science & Technology*. – 2016. – Vol. 17. – P. 9–19. Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.
10. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / V.Yu. Karandey [et al.] // *Procedia-social and behavioral science*. – 2015. – Vol. 214. – P. 897–905.
11. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. – 2015. – № 10 (114). – С. 182–201.
12. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]*. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 587–605. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>
13. Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940., Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.
14. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей [и др.] // *Политематический сетевой*



электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

15. Karandey V.Yu., Popov B.K., Afanasyev V.L. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2018. – P. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

16. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey [et al.] // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies. – 2019. – P. 69–74. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

17. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 052003. Doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.

18. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019). – 2019. – P. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

19. Попов Б.К., Карандей В.Ю. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.

## References:

1. URL : <https://forpost-sz.ru/a/2020-10-13/vetroehnergetiku-nazvali-v-ssha-nepredvidennym-ehkologicheskim-koshmarom>

2. Karandey V.Y., Popov B.K. Controlled cascade electric drive with liquid current collector // Invention patent № 2461947 registered 20.09.2012.

3. Afanasyev V.L., Karandey V.Y., Popov B.K. Controlled cascade electric drive // Utility model patent RU 191959 U1, 28.08.2019, application № 2019111630 dated 16.04.2019.

4. Karandey V.Y., Popov B.K. Current-carrying device // Patent for the invention № 2370869 registered 30.06.2008.

5. Signaling current-carrying device / V.Yu. Karandey [et al.] // Patent for invention № 2601958 dated July 27, 2015, registered 18.10.2016.

6. Popova O.B., Popov B.K., Karandey V.Yu. Intelligence amplification in distance learning through the binary tree of question-answer system // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 214. – P. 75–85. Doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.597.

7. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 722. – P. 432–437. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8\_67.

8. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova [et al.] // Mediterranean journal of social sciences. – 2015. – Vol 6. – № 6 S5. – P. 212–217.

9. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova [et al.] // British Journal of Applied Science & Technology. – 2016. – Vol. 17. – P. 9–19. Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.

10. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / V.Yu. Karandey [et al.] // Procedia-social and behavioral science. – 2015. – Vol. 214. – P. 897–905.

11. Approach to Determination of Magnetic Parameters of a Controlled Cascade Asynchronous Electric Drive Component / V.Yu. Karandey [et al.] // Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University [Electronic resource]. – 2015. – № 10 (114). – P. 182–201.

12. Development of an algorithm for calculating the electromagnetic parameters of the stator component of the controlled asynchronous cascade electric drive / V.Yu. Karandey [et al.] // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubGAU) [Electronic resource]. – Krasnodar : KubGAU, 2016. – № 06 (120). – P. 587–605. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>

13. Karandey V.Y., Afanasyev V.L. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch // Mathematical Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University [Electronic resource]. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940., Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

14. Determination of magnetic parameters of the stator model component of the controlled asynchronous cascade electric drive of cylindrical design / V.Yu. Karandey [et al.] // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University [Electronic resource]. – 2017. – № 09 (133). – P. 1231–1248. Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

15. Karandey V.Yu., Popov B.K., Afanasyev V.L. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2018. – P. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

16. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey [et al.] // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies. – 2019. – P. 69–74. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

17. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 052003. Doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.

18. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019). – 2019. – P. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

19. Popov B.K., Karandey V.U. Software for Calculation of Stator and Rotor Currents in Cascade Electric Drive // Registration certificate for computer program RU № 2008614048, registered 30.06.2008.