

РАЗРАБОТКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НА ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р. А. Ильин, Н. Д. Шишкин

*Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем
Саратовского научного центра РАН (при Астраханском государственном
техническом университете), Астрахань, Российская Федерация*

Проанализирован вопрос внедрения и эксплуатации разработанной оригинальной конструкции ветроэнергетической установки для размещения на дымовые трубы энергообъектов морского порта. Разработанная ветроэнергетическая установка позволит использовать вторичную тепловую энергию (тепло уходящих газов котельной, мини-ТЭЦ на базе газопоршневых установок и др.) для выработки электроэнергии в количестве, способном покрыть или частично компенсировать собственные нужды энергообъекта. Проработан вопрос о конструкции ветроэнергетической установки и принципе получения энергии в ней. Источником возникновения энергии восходящих потоков воздуха в разработанной оригинальной конструкции ветроэнергетической установки служит горячая поверхность самой дымовой трубы. Размещаемая сверху дымовой трубы ветроэнергетическая установка является дополнительным экологически чистым способом использования потенциала возобновляемых источников энергии для выработки электрической энергии. Этот способ отличается от существующих тем, что труба используется не как высокая опора, где преобладают более высокие скорости ветра, а как источник тепловой энергии от вторичных энергетических ресурсов (дымовые газы топливной установки). Схема ветроэнергетической установки включает дымовую трубу, ротор генератора, постоянный магнит ротора, упорный бурт для монтажа обмоток статора, упорный бурт для монтажа подшипникового узла, тормозной барабан, тормозной башмак, рычаг тормозного привода, трос привода системы торможения ротора, тормозную рукоятку и другие элементы. Внедрение таких установок позволит частично или полностью компенсировать собственные нужды энергообъектов, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию для надежной и бесперебойной работы портовых хозяйств.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, вторичные энергоресурсы, портовое хозяйство, ветроэнергетическая установка, дымовые трубы энергообъектов.

Для цитирования: Ильин Р. А., Шишкин Н. Д. Разработка ветроэнергетической установки для размещения на дымовые трубы энергообъектов морской инфраструктуры // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 62–68. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-62-68.

Введение

К объектам морской инфраструктуры, помимо судов портового флота, средств навигаций, объектов навигационно-гидрографического обеспечения морских путей и т. д., относятся устройства тепло-, газо-, водо- и электроснабжения, предназначенные для оказания услуг в морском порту [1]. В настоящей работе рассматривается использование энергии ветра для выработки электрической энергии, потенциал которой можно использовать для полного или частичного покрытия собственных нужд различных энергообъектов, имеющих в своем составе дымовые трубы, например дымовые трубы котельных для обеспечения объектов портового хозяйства тепловой энергией. Источником возникновения энергии восходящих потоков воздуха в разработанной конструкции ветроэнергетической установки (ВЭУ) служит горячая поверхность самой дымовой трубы. Это позволит частично или полностью покрыть собственные нужды конкретного энергообъекта, что в конечном итоге поспособствует сокращению потребления топливно-энергетических ресурсов и снижению антропогенного воздействия на экологию.

Актуальность использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в настоящее время достаточно высока [2]. В соответствии с Федеральным законом РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные зако-

подательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ и с учетом «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р) возникает необходимость расширять область применения энерго-, ресурсосберегающих технологий и современного оборудования. Данный вопрос весьма актуален и для портовых хозяйств, т. к. каждое предприятие стремится к снижению издержек (топливно-энергетических ресурсов) на функционирование своих объектов. Исследование вопроса внедрения и применения энергоэффективных технологий получения электроэнергии от возобновляемых и вторичных энергоресурсов позволит не только повысить энергоэффективность энергоснабжения портовых хозяйств, но и, как уже было отмечено, улучшить экологическую ситуацию от снижения антропогенного воздействия человека на природные компоненты или геосистемы в целом в результате хозяйственной деятельности.

Материалы исследования

Известны способы размещения ВЭУ с вертикальной осью вращения на верхней части дымовой трубы [3], используемой в качестве высокой опоры, с целью получения электроэнергии (рис. 1).

Принцип работы рассматриваемой ВЭУ следующий: ветер воздействует на вертикальные и горизонтальные лопасти, что приводит во вращение ВЭУ уже при скорости ветра от 3,5 м/с. Характерно, что скорость вращения ротора магнитоэлектрических генераторов (МЭГ) зависит больше от диаметра дымовой трубы, чем от скорости набегающего потока ветра. Вращение через зубчатый венец подвижного кольца передается зубчатому колесу вала ротора МЭГ. Аэродинамические тормоза служат для регулирования скорости вращения ВЭУ. Кроме этого, конструкция снабжена ручными тормозами барабанного типа с целью полной остановки ротора ВЭУ для защиты разрушения ВЭУ от больших скоростей ветра (40 м/с и более), а также для проведения плановых профилактических работ.

Описанный способ размещения ВЭУ в изобретении [2] позволяет использовать скорость ветра на высоте от 20 м, где скорость ветра на 6–7 % выше, чем скорость приземного ветра, что увеличивает выработку электроэнергии с помощью МЭГ на 18–21 %. В этом случае дымовая труба используется как готовая высокая опора.

Известны также способы размещения ветряных ферм в открытом море [4] и использования ВЭУ для привода гребных винтов [5]. Этому способствуют следующие факторы: благоприятные аэродинамические условия, обеспечивающие наиболее стабильный и регулярный запас энергии, что, в свою очередь, позволяет получать устойчивую прибыль; гораздо большая свобода локализации, которая при размерах ветряных ферм и ветрогенераторов немаловажна; и, наконец, умеренное признание местного сообщества для строительства и эксплуатации такого типа конструкции. Следует также подчеркнуть, что морская ветроэнергетика создает новые, так называемые «зеленые» рабочие места. В этом случае порты могут служить базой для проектируемых ВЭУ морской ветроэнергетики. Наблюдаются также процессы, происходящие на морских территориях недалеко от портов, где могут появиться новые виды деятельности, включая ветряные фермы. Полное использования их потенциала, который в этом случае может привести к созданию сильной производственной и материально-технической базы, будет зависеть от инвестиционных мер, обеспечивающих способность обрабатывать перевозки крупноштабных элементов как с моря, так и с берега, а также от предоставления надлежащих складских площадей для этих элементов.

Таким образом, краткий анализ опыта применения возобновляемых источников энергии в портах и прибрежных зонах подтверждает, что их электроснабжение с помощью ВЭУ имеет ряд преимуществ перед традиционными источниками энергии: практически полное отсутствие влияния на окружающую среду (экологичность); отсутствие электромагнитных помех, создаваемых линиями электропередачи; отказ от части покупной электроэнергии и топлива; автономность энергоснабжения; легкость наращивания необходимой мощности. Средний срок окупаемости различных проектов на ВИЭ в России составляет от 8 до 15 лет, т. е. не превышает, как правило, срока эксплуатации ВЭУ, составляющего от 8 до 30 лет. Возможна совместная комбинированная работа солнечных установок и ВЭУ, что дает возможность установки их практически в любом месте. Это весомое преимущество в случаях, когда портовые объекты находятся на удалении от обжитых мест и практически не могут снабжаться электрической энергией от других энергоисточников.

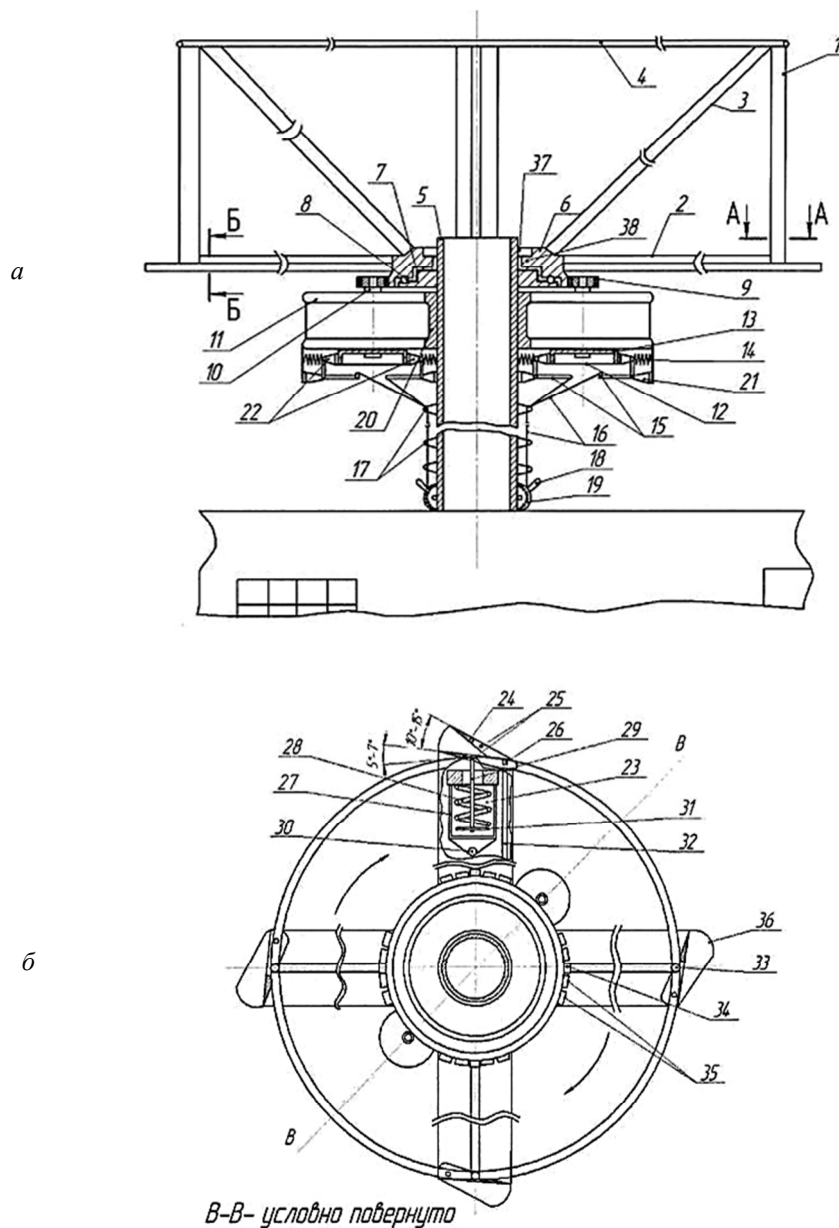


Рис. 1. Размещение ВЭУ на верхней части дымовой трубы: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху [2]:
 1 – вертикальная лопасть аэродинамического профиля; 2 – горизонтальная лопасть улучшенного аэродинамического качества; 3 – стержень; 4 – тонкое алюминиевое кольцо; 5 – дымовая труба;
 6 – верхнее вращающееся кольцо с внешним зубчатым венцом; 7 – неподвижное профильное кольцо;
 8 – подшипниковые шарики; 9 – зубчатое кольцо; 10 – вал ротора магнитоэлектрических генераторов (МЭГ);
 11 – магнитоэлектрические генераторы; 12 – ручной тормоз барабанного типа; 13 – тормозной барабан;
 14 – пружина; 15 – тормозной рычаг; 16 – трос; 17 – элемент крепления роторной ВЭУ к трубе;
 18 – тормозная рукоятка; 19 – сектор для фиксации тормозной рукоятки; 20 – опора МЭГ; 21 – опора;
 22 – тормозная колодка; 23 – аэродинамический тормоз; 24 – утяжеленная хвостовая часть;
 25 – шарнирное соединение; 26 – вертикальный вал; 27 – стакан; 28 – пружина; 29 – шток;
 30 – цилиндрический шарнир; 31 – опорная шайба; 32 – горизонтальный стержень; 33 – верхнее крепление;
 34 – нижнее крепление; 35 – силовой элемент; 36 – опорная площадка; 37 – уплотнительное кольцо;
 38 – лабиринтное уплотнение

В настоящей работе предложено использовать тепло уходящих газов энергообъектов портов за счет использования явления свободной конвекции. Для этого в разработке находится оригинальная конструкция ВЭУ, располагаемой в верхней части дымовой трубы, непосредственно перед выходом дымовых газов, обнесенная легким кожухом, выполненным из композитных ма-

териалов. В этом случае дымовая труба не является высокой опорой для ВЭУ, а является источником тепловой энергии от вторичных энергоресурсов (дымовые газы энергообъекта). На рис. 2 приведена конструкция предлагаемой ВЭУ на верхней части дымовой трубы (вид сбоку и сверху).

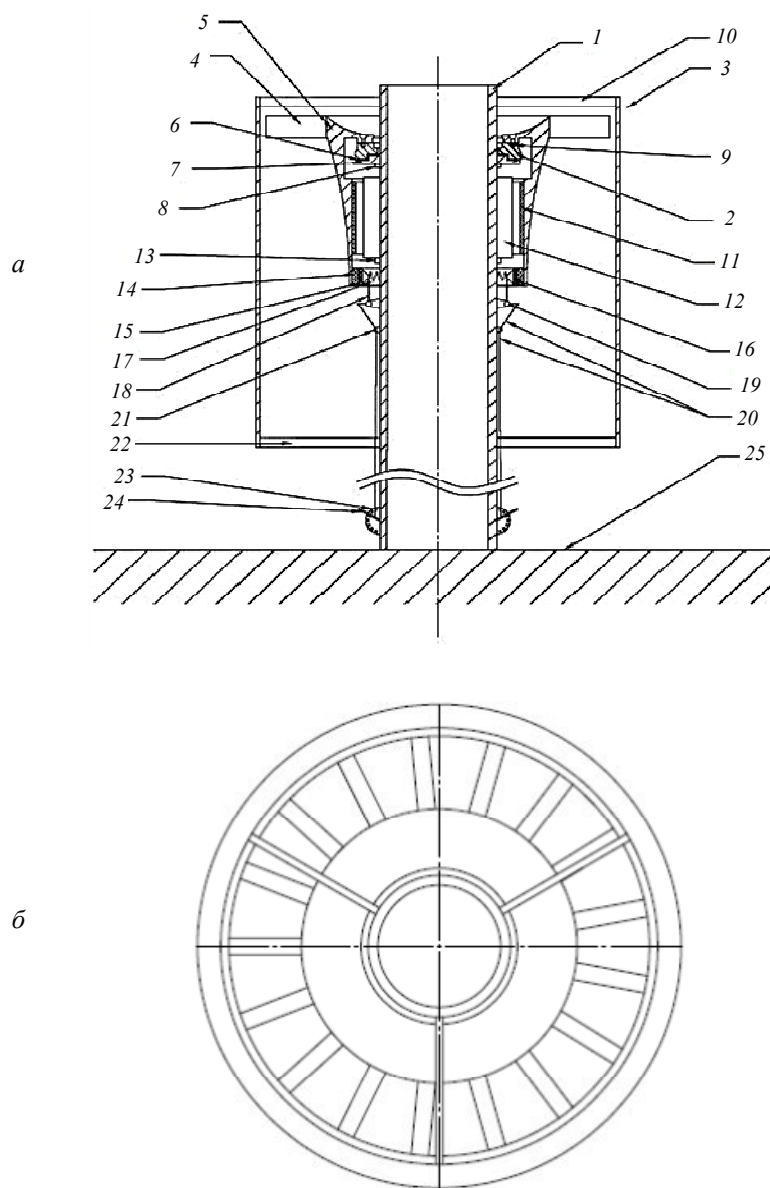


Рис. 2. Размещение оригинальной конструкции ВЭУ на верхней части дымовой трубы:

а – вид сбоку; *б* – вид сверху:

- 1* – дымовая труба; *2* – верхнее кольцо упорного подшипника; *3* – кожух из композитных материалов;
- 4* – лопасть ротора генератора; *5* – ротор генератора; *6* – подшипниковый шарик;
- 7* – нижнее кольцо упорного подшипника; *8* – упорный бурт для монтажа подшипникового узла;
- 9* – резьбовое отверстие крепления ротора с верхним кольцом подшипника; *10* – верхняя опора кожуха;
- 11* – постоянный магнит ротора; *12* – обмотка генератора статора; *13* – упорный бурт для монтажа обмоток статора; *14* – тормозной барабан; *15* – фрикционная накладка тормозного башмака;
- 16* – тормозной башмак; *17* – возвратная пружина системы торможения ротора;
- 18* – рычаг тормозного привода; *19* – ось тормозного рычага; *20* – трос привода системы торможения ротора; *21* – направляющий ролик троса; *22* – нижняя опора кожуха;
- 23* – сектор с отверстиями для фиксации тормозной рукоятки;
- 24* – тормозная рукоятка; *25* – бетонная опора дымовой трубы

Предлагаемая ВЭУ работает следующим образом: в кольцевом зазоре между горячей поверхностью дымовой трубы и кожуха происходит нагревание воздуха за счет теплоты вторичных энергоресурсов производства. При нагреве воздуха согласно законам теплообмена происходит уменьшение его плотности, он становится легче, чем окружающий кожух атмосферный воздух. Возникает естественная конвекция, что приводит к возникновению подъемной силы. Поднимающийся в кольцевом зазоре воздух приводит во вращение лопасти ВЭУ. Снятие получаемой электрической энергии в предлагаемой конструкции ВЭУ можно организовать двумя способами: первый (рис. 2, б) – как в изобретении [3]; второй (рис. 3) – расположение обмоток статора с внешней стороны, при котором вращение лопастей и связанных с ним постоянных магнитов приводит к наведению в обмотках на неподвижной части электродвижущей силы.

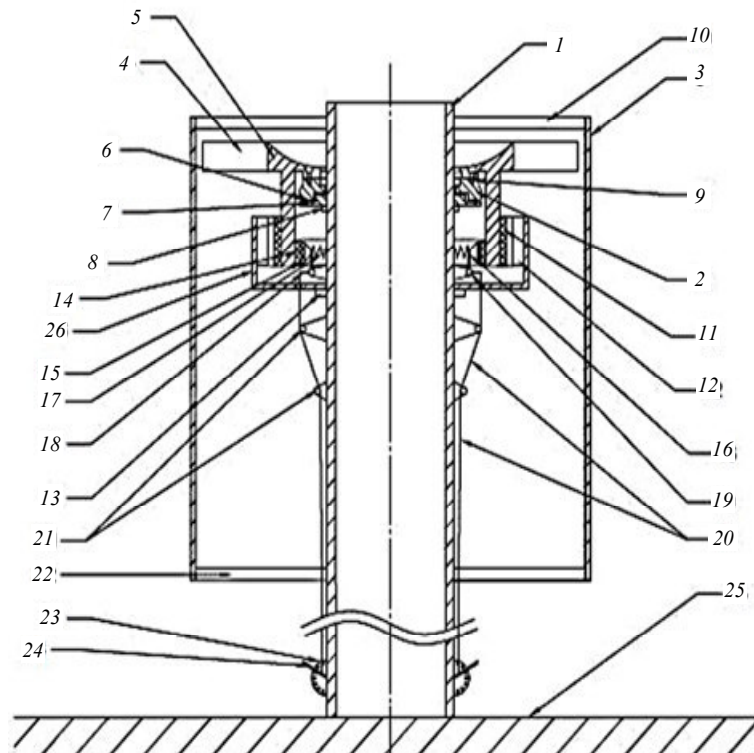


Рис. 3. Размещение ВЭУ на верхней части дымовой трубы при расположении обмоток статора с внешней стороны (вид сбоку): 1–12 и 14–25 (см. обозначения на рис. 2, а); 13 – упорный бурт для монтажа корпуса статора; 26 – корпус статора

Обмотку предпочтительно располагать на неподвижной части конструкции. В этом случае соединение с внешней цепью для снятия напряжения производится с помощью надежных простых резьбовых соединений (гайка – болт и т. д.). Если расположить обмотку на вращающейся части конструкции, то для соединений с внешней цепью придется использовать скользящий электрический контакт (щетками – контактные кольца). Этот вариант менее надежен и конструктивно более сложен.

Дальнейшая работа будет направлена на создание экспериментального образца предлагаемой ВЭУ и на определение оптимальных геометрических соотношений размеров трубы и кожуха, а также на проведение экспериментальных исследований с целью определения работоспособности и основных технико-экономических характеристик ВЭУ. Помимо этого, следует проработать вопрос об эффективных лопастях ВЭУ (геометрия лопастей, материал и т. д.). Также будет проработан вопрос о возможности размещения предлагаемой оригинальной конструкции ВЭУ внизу дымовых труб. Связано это с таким фактором, что дымовые трубы энергообъектов в нижней своей части имеют температуру поверхности больше, чем в верхней. Однако стоит вопрос о способе закрепления такой конструкции внизу трубы.

Таким образом, предложенная оригинальная конструкция ВЭУ, размещаемая сверху дымовой трубы, является дополнительным экологически чистым ВИЭ для выработки электрической энергии. Этот способ отличается от предложенного в работе [3], где труба используется как высокая опора. Такие ВЭУ позволят полностью или частично покрыть собственные нужды различных энергообъектов портовых хозяйств.

Заключение

Рассмотренный вариант размещения оригинальной конструкции ВЭУ в верхней части дымовых труб энергообъектов портовых хозяйств позволит вырабатывать электроэнергию вне зависимости от наличия ветра и его скорости, т. к. принцип работы основан на физическом явлении свободной конвекции при использовании теплоты вторичных энергоресурсов (дымовых газов), а не в поднятии точки расположения ВЭУ над поверхностью земли для использования более высокоскоростного ветряного потока. Внедрение таких ВЭУ позволит частично или полностью компенсировать собственные нужды энергообъектов, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию для надежной и бесперебойной работы портовых хозяйств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации*: Федеральный закон РФ от 08.11.2007 № 261-ФЗ (ред. от 25.06.2012). URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-08112007-n-261-fz-o/> (дата обращения: 02.02.2020).
2. *Шишкин Н. Д., Ильин Р. А., Атнаев Д. И.* Применение экологически эффективных вертикально-осевых ветроэнергоустановок для заповедников и национальных парков // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 11. С. 43–49.
3. *Пат. 2510611*. Способ размещения роторной ветроэнергетической установки на дымовой трубе / Голошапов В. М., Баклин А. А., Терехин Е. А., Вострокнутов Е. В.; опубл. 10.04.2014.
4. *Czapliński P.* Problemy rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na południowym Bałtyku // *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*. 2016. N. 30 (3). P. 173–184.
5. *Шишкин Н. Д., Ильин Р. А.* Экспериментальное исследование параметров вертикально-осевых ветроэнергоустановок для привода гребных винтов маломерных судов // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2019. № 2. С. 93–100.

Статья поступила в редакцию 14.02.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ильин Роман Альбертович – Россия, 414056, Астрахань; Лаборатория нетрадиционной энергетики Саратовского научного центра РАН при АГТУ; канд. техн. наук, доцент; старший научный сотрудник; kaften.astu@mail.ru.

Шишкин Николай Дмитриевич – Россия, 414056, Астрахань; Лаборатория нетрадиционной энергетики Саратовского научного центра РАН при АГТУ; д-р техн. наук, профессор; заведующий лабораторией; evt@astu.org.



DESIGNING WIND POWER PLANT FOR MOUNTING ON SMOKE STACKS OF OFFSHORE INFRASTRUCTURE FACILITIES

R. A. Ilyin, N. D. Shishkin

*Laboratory of Alternative Energy Sources Saratov Science Centre of RAS at ASTU,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article focuses on implementation and operation of the wind power plant of the original design for mounting on the chimneys of seaport power facilities. The worked out wind power unit makes it possible to use secondary thermal energy (heat from the exhaust gases

of a boiler house, a mini-thermal power plant based on gas reciprocating plants, etc.) to generate electricity in an amount sufficient to satisfy or partially compensate the needs of the power facility. The aspect of the wind power plant design and the concept of energy generation have been worked out. The hot surface area of the stack serves as the source of energy for upward air flows in the developed original design of the wind power plant. The wind power plant placed on top of the stack is an additional environmentally friendly way of using the potential of renewable energy sources for electric power generation. This method differs from the existing ones in that the pipe is used not as a high support where higher wind speeds prevail, but as a source of thermal energy from secondary energy resources (flue gases of the fuel plant). Wind power plant design includes chimney, generator rotor, permanent rotor magnet, thrust collar for stator winding assembly, thrust collar for bearing assembly, brake drum, brake shoe, brake drive lever, rotor brake drive cable, brake handle and other elements. The introduction of such power units will partially or fully compensate for the own needs of the power facilities that generate thermal and electric energy for the reliable and uninterrupted operation of port services.

Key words: renewable energy sources, secondary energy sources, port facilities, wind power plant, smoke stacks of power facilities.

For citation: Ilyin R. A., Shishkin N. D. Designing wind power plant for mounting on smoke stacks of offshore infrastructure facilities. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:62-68. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-62-68.

REFERENCES

1. *O morskikh portah v Rossijskoj Federacii i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii* [On seaports in the Russian Federation and amendments to certain legislative acts of the Russian Federation]. Federal'nyj zakon RF ot 08.11.2007 № 261-FZ (red. ot 25.06.2012). Available at: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-08112007-n-261-fz-o/> (accessed: 02.02.2020).
2. Shishkin N. D., Il'in R. A., Atdaev D. I. Primenenie ekologicheski effektivnykh vertikal'no-osevykh vetroenergoustanovok dlya zapovednikov i nacional'nykh parkov [Using environmentally friendly vertical-axis wind turbines in nature reserves and national parks]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 11, pp. 43-49.
3. Goloshchapov V. M., Baklin A. A., Terekhin E. A., Vostroknutov E. V. *Sposob razmeshcheniya rotornoj vetroenergeticheskoy ustanovki na dymovoj trube* [Method of placing rotor wind power plant on smoke stack]. Patent RF, no. 2510611, 10.04.2014.
4. Czapliński P. Problemy rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na południowym Bałtyku. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 2016, no. 30 (3), pp. 173-184.
5. Shishkin N. D., Il'in R. A. Eksperimental'noe issledovanie parametrov vertikal'no-osevykh vetroenergoustanovok dlya privoda grebnykh vintov malomernykh sudov [Experimental study of parameters of vertical-axis wind turbines for propeller drive of small boats]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 2, pp. 93-100.

The article submitted to the editors 14.02.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilyin Roman Albertovich – Russia, 414056, Astrakhan; Laboratory of Alternative Energy Sources of Saratov Science Centre of RAS under ASTU; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Senior Researcher; kaften.astu@mail.ru.

Shishkin Nikolay Dmitrievich – Russia, 414056, Astrakhan; Laboratory of Alternative Energy Sources of Saratov Science Centre of RAS under ASTU; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Laboratory; evt@astu.org.

