



Основания ветроэнергетических установок на шельфе и их защита от размыва

А.А. Нестеров¹, Н.Д. Беляев², А.В.Карелов³, В.В. Ефимова⁴, П.П. Власов⁵

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 69.059.327

История

Подана в редакцию 19.04.2015

Ключевые слова

морские ветроэнергетические установки;
основания;
размыв;
инженерные мероприятия;
экспериментальные исследования;

АННОТАЦИЯ

Удовлетворение потребности северных и дальневосточных прибрежных территорий России в электроэнергии возможно путём создания морских ветроэнергетических установок. Основания для установок на шельфе могут состоять из бетонных фундаментов, стальных свай и многоопорных конструкций. В данной статье рассматриваются инженерные мероприятия по защите от размыва дна у оснований таких сооружений с использованием различных покрытий. Рекомендации основаны на анализе результатов экспериментальных исследований.

1 Контактный автор:
+7 (952) 203 6624, artjom_nesterov@mail.ru (Нестеров Артем Андреевич.)
2 +7 (921) 982 7244_dnd@mail.ru (Беляев Николай Дмитриевич)
3 +7 (981) 717 4402, karelov.aleksandr@inbox.ru (Карелов Александр Владимирович)
4 +7 (981) 112 4606, efimova-v93@inbox.ru (Ефимова Валерия Валерьевна.)
5 +7 (931) 382 7372, vlasov.ppavel@gmail.com (Власов Павел Павлович.)

1. Введение

В связи с тем, что природные источники энергии иссякают, человечество все чаще обращается к возобновляемым источникам энергии рек, океанов, солнца и ветра. В последнее время многие страны северного полушария делают ставку на использование энергии воздушных потоков на морском побережье, где, как правило, дуют довольно сильные северо-западные ветры. И главный акцент при этом ставится на размещение ветряков по новому принципу – не на суше, а в море, недалеко от берега.

Российская Федерация обладает обширными территориями, плотность населения которых распределена неравномерно. На значительной части северных и дальневосточных прибрежных территорий плотность населения низкая, инфраструктура плохо развита. Несмотря на это существует потребность в электроэнергии и для этих территорий. Удовлетворить данные потребности можно путем создания морских ветроэнергетических установок (МВЭУ). Использование МВЭУ на прибрежных территориях России практически обоснованно, т.к. для этого имеется достаточный ветроэнергетический потенциал.

2. Обзор литературы

В современной научной литературе широко рассматриваются и изучаются следующие вопросы, связанные с тематикой данной работы: получение электроэнергии с помощью ветроэнергетических установок [1-5]; перспективы размещения на шельфе и виды опорных конструкций МВЭУ [6-10]; морские гидротехнические сооружения на арктическом шельфе и их безопасность [11, 12] и способы предотвращения местного размыва у оснований морских сооружений [13-27].

Существуют две разновидности морских ВЭУ: в стационарном (с опорой на морское дно) и плавучем исполнении. Фундамент для установок на шельфе может быть выполнен из бетона, стальных свай и многоопорных структур [6, 7].

Для нормальной эксплуатации морских МВЭУ необходимо обеспечить их безопасность [6, 11]. При длительной эксплуатации данного типа сооружений возможны значительные размывы дна непосредственно у фундаментной опоры, что может привести к потере устойчивости всей конструкции. Образование пустот из-за вымывания грунта приводит к необходимости дорогостоящих технологических мероприятий по его укреплению [12, 13, 17]. Обоснование выбора защитных мероприятий, обеспечивающих безотказную работу гравитационных ГТС, является весьма актуальной и практически значимой задачей [13, 20, 24].

3. Фундаменты для установок морского базирования

Фундаменты установок морского и сухопутного базирования значительно отличаются друг от друга в техническом и экономическом плане. Фундаменты для установок на шельфе могут состоять из бетона, стальных свай и многоопорных конструкций. Опыт эксплуатации нефтяных платформ показывает, что коррозия в открытом море не является главной проблемой и при электрической защите от коррозии такой фундамент может прослужить более 50 лет. На выбор типа фундамента влияет много факторов: глубина, течения, высота волны, воздействие льда и все они очень важны.

При таком виде фундамента, как бетонный короб, установка фиксируется на морском дне весом самого фундамента (рис. 1, а). Этот метод позаимствован у строителей мостов. Погружной короб изготавливается в сухом доке из стали и бетона, транспортируется к месту установки и после погружения заполняется гравием и песком. Преимуществом таких бетонных коробов является большое сопротивление при подвижке льдов. К недостаткам следует отнести высокую стоимость при больших глубинах. Такие фундаменты опробованы только на мелководье (глубина меньше 10 м), на больших глубинах ее применение экономически нецелесообразно.

Следующий вид – это односвайные конструкции из стали, которые являются самым простым видом оснований на шельфе (рис. 1, б). Они состоят из стальной трубы, которая вбивается в морское дно. Этот метод особенно целесообразен для установок класса от 2-х до 3-х МВт при глубине около 20 метров и для класса от 3-х до 5-и МВт при глубине около 15 м. Они устанавливаются относительно просто и быстро с использованием копра для забивания свай. В процессе производства работ возникает сильный шум, который может нанести вред морским млекопитающим, например дельфинам и морским свиньям. Эта проблема может быть частично решена за счет уменьшения времени беспокойства животных и применения антишумовых мероприятий. При каменистом дне такие конструкции не находят применения.

Также фундамент может быть в виде ферменной конструкции (рис. 1, в). Такие сооружения имеют решетчатую структуру, применяются на больших глубинах (более 20 м) и для ветрогенераторов с установленной мощностью менее 5 МВт. Этот метод применяется при сооружении буровых платформ. Башня ВЭУ связывается с рамной конструкцией, выполненной из труб, и распределяет нагрузку на несколько ног или на решетку, которые крепятся или к коробу, или к сваям. Для свайного закрепления может применяться меньшее сечение, чем при односвайном, что делает процесс забивания свай значительно проще.

Существует, так называемый, баккет-фундамент (от англ. bucket – ведро) представляет собой стальной стакан, перевернутый вверх дном. Этот стакан устанавливается на морское дно, а потом из него откачивают воздух. Создавшийся вакуум втягивает стакан в морское дно. Баккет-фундамент используется только при однородных грунтах. Для его установки не требуется забивка свай. Поэтому такой метод более щадящий для окружающей среды. После окончания срока службы фундамент очень легко демонтируется с помощью подачи в стакан сжатого воздуха.

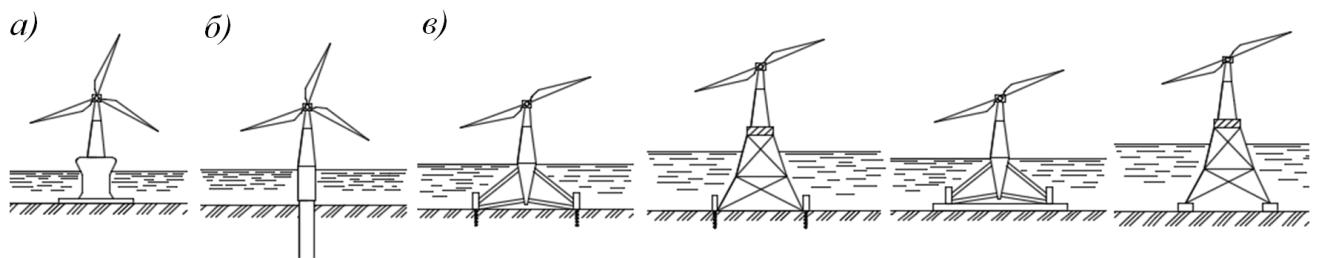


Рисунок 1. Некоторые типы фундаментов под ВЭУ:
а) бетонный короб; б) односвайное основание; в) основания в виде треног и ферменных конструкций

В практике строительства широко применяется плавающие конструкции. При глубине более 50-ти метров тяжело создать сооружение, жестко закрепленное за грунт, и поэтому была предложена идея использования плавучих сооружений. Плавающий корпус закрепляется за дно с помощью тросов и якорных устройств. В нефтедобывающей отрасли накоплен немалый опыт эксплуатации таких сооружений. При внедрении такой технологии в строительство морских ветропарков следует учитывать то обстоятельство, что на сооружение будут действовать значительно большие силы [6, 9].

4. Защита дна оснований МВЭУ от размыва

Рассмотрим защиту дна оснований МВЭУ от размыва с использованием различных покрытий.

Методы защиты бывают фактическими и восстановительными, которые применяются уже после возникновения размыва. Кроме того, известные методы защиты дна от размыва могут быть разбиты на две группы [12, 13]: на пассивные и активные способы. В общем случае пассивный способ основан на защите зоны воздействия на дно без существенного нарушения естественного режима движения воды, а при активном способе резко изменяется характер водного потока в придонной зоне, что способствует переформированию дна за счет накопления наносов [11, 13, 17].

Также все мероприятия защиты по способу распространения делятся на две группы:

- а) с преимущественно горизонтальным распространением (защита с помощью гранулированных материалов, матов, матрасов и т.д.)
- б) с преимущественно вертикальным распространением («юбки», шатровая защита, изменение формы корпуса сооружения)

У всех существующих методов защиты грунта от размыва имеются недостатки [16, 17, 19, 26], представленные в таблице 1.

Таблица 1. Недостатки существующих методов защиты грунта от размыва

Способ защиты	Недостатки
Защитный слой из гранулированных материалов	Трудность добычи камня больших размеров и возможность его доставки и установки на месте строительства

Укладка покрытий из тканевых и сетчатых мешков, матрасов, габионов	Невозможность использования в конструкциях, подвергающихся изгибам значительной величины
Установка искусственных бетонных плит, матов, матрасов и блоков	Крайние участки подвержены подмывам и разрушениям
Защита с помощью экранов (отражателей)	Инженерный расчет оптимальных значений параметров экранов-отражателей затруднителен
Искусственные водоросли	Возможность запутывания в водорослях рыболовных снастей и водолазов
Шатровая защита	Эффективна только в течение короткого промежутка времени
Юбки по периметру сооружения	Отсутствие методик по определению длины юбки, сложности при транспортировке

Конструкции из бетона подвержены подмывам и разрушению крайних участков. Для недопущения этого требуется более надежный подстилающий слой, крупность частиц которого должна быть значительно больше, чем зазор между плитами крепления для предотвращения вымывания при волнении [13]. Традиционные бетонные плиты обычно не применяются для защиты от размыва сооружения шельфа. Другим вариантом защитного покрытия является использование матрасов с бетонным наполнением. Наполнение матрасов раствором с одновременным удалением излишков воды через фильтрующую ткань осуществляется под водой. Еще одним вариантом являются сборные тяжелые маты, состоящие из бетонных элементов и различного вида связей между ними (канаты, полимерные ткани и пр.).

В последнее время появились предложения по укладке матов из резины, геотекстиля и других гибких элементов. Достоинства матов из композитной резины [16]:

- небольшой собственный вес по сравнению с камнями;
- производятся на берегу (высокое качество);
- могут быть легко демонтированы после окончания работы платформы.

Однако, маты восприимчивы к механическим повреждениям тралами, якорями, и т.д., а также имеются некоторые трудности в укладке точно в расчетное место. Маты одновременно выполняют функции защиты и фильтра, но их необходимо пригружать, закрепляя к бетонным конструкциям или к основанию.

Так же существует новый способ защиты, предлагаемый компанией «ТВЭЛЛ». Он заключается в изготовлении и укладке на подводную поверхность водоема мата из синтетического, водостойкого, нетканного материала, представляющего собой двухслойное полотно, простеганное вдоль по всей длине, что позволяет образовать продольные каналы, заполняющиеся балластировочным материалом из раздаточного бункера, расположенного на судне обеспечения [14, 16].

5. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования были проведены в 2013-2014 годах для оценки эффективности методов защиты дна от размыва у оснований шельфовых сооружений. Исследования проходили в специализированных испытательных лабораториях на моделях, выполненных в трех масштабах. Подробное описание экспериментальных установок и оборудования представлены в предыдущих публикациях [21, 25, 27, 28].

В данной работе проанализированы несколько методов защиты оснований шельфовых сооружений от размыва (рис. 2): подводные бермы из каменной наброски; защита с помощью экранов; юбочные конструкции по периметру сооружения; синтетические маты с пригрузами, изготовленные по технологии ООО «ТВЭЛЛ». Результаты испытаний показывают, что известные системы защиты такие, как каменная наброска, обеспечивают надежную защиту от размыва. Принимая во внимание ее сравнительно высокую стоимость, в некоторых случаях предпочтительно использование других методов защиты [15, 19].

Способ защиты дна от размыва, предложенный ООО «ТВЭЛЛ», с использованием синтетических матов с пригрузами, установленными в продольных углублениях матов, был исследован в лабораторных

условиях впервые. Маты укладываются вокруг основания по периметру. Балластировочный материал, изготовленный из подвижной магнезиально-минеральной композиции, укладывается в углубления непосредственно во время установки мата.

Преимущества новой технологии:

- защитное покрытие подводной поверхности обладает низкой себестоимостью и высокой прочностью;
- заполнение мата балластировочным материалом производят одновременно с его укладкой на защищаемую подводную поверхность;
- технология может быть использована для укрепления дна с целью его защиты от разрушительных внешних воздействий, в частности от действия струй судовых движителей, волн и течений.

Синтетические маты с пригрузами, изготовленные по технологии ООО «ТВЭЛЛ», принципиально могут защищать основания морских сооружений от местных размывов. Вместе с тем, надежность работы рассматриваемого устройства существенным образом зависит от способа и качества его укладки на дно по периметру ГТС [16, 25, 27]. Как показали опыты, наличие незащищенных матами участков дна у основания сооружения может свести на нет защитные свойства рассматриваемого устройства.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 2. Способы защиты от размыва в экспериментальных исследованиях:
а – подводная берма из каменной наброски; б – отражатели; в – «юбки»; г – синтетические маты

6. Рекомендации

Проанализировав все известные методы защиты дна у оснований МВЭС, мы пришли к выводу, что выбор способа предотвращения размыва зависит от конструкции основания ВЭС.

В частности, для ферменных оснований лучше использовать активный метод в виде искусственных водорослей, которые защищают подверженное эрозии морское дно, снижая турбулентность потока у дна. Искусственные водоросли в виде пучков волокон прикрепляются к стальным и бетонным блокам, укладываемым в определенном порядке на защищаемое дно [12, 19]. Данный метод эффективен и может вызвать даже накопление наносов и образование песчаного вала.

Для односвайных структур, в качестве защиты, больше всего подходят, так называемые, «юбки» [15, 19, 24]. Такие конструкции обустраиваются на подошве платформы по ее периметру и укрепляются системой перекрещивающихся внутренних ребер по площади подошвы. «Юбка» и внутренние ребра должны быть достаточно тонкими для погружения в грунт во время установки основания и достаточно прочными для передачи на грунт горизонтальных нагрузок, действующих на основание МВЭУ [26]. В некоторых случаях, по данным отчета [22], была использована добавочная нагрузка для погружения «юбок» до расчетной глубины.

Возможен также новый метод защиты для фундаментов в виде бетонного короба. Балластировочный материал для сверхтяжелых пригрузов изготавливается из подвижной магнезиально-минерально-солевой композиции, непосредственно не борту плавсредства, используя для затворения забортную морскую воду, а в качестве утяжелителя – чугунную или свинцовую дробь (рис. 2, г).

Заключение

Итогами данной работы являются рекомендации по выбору вариантов защитных мероприятий от размыва дна для конкретных типов конструкций оснований МВЭУ.

При выборе схемы защиты дна от размыва неизменным условием остается необходимость распространения этой защиты за пределы зоны с высокими донными скоростями. Важным является также детальная разработка сопряжения концевых участков с естественным дном для предохранения защитных конструкции от возможных подмывов края.

Выбор метода защиты зависит от наличия и стоимости материалов, средств доставки и установки. Для выбора оптимального варианта защиты в каждом конкретном случае требуется проведение модельных исследований.

Литература

- [1] Безруких П.П. Ветроэнергетика. Справочное и методическое пособие. М.: ИД «Энергия», 2010. 315 с.
- [2] Горлов А., Возобновляемые источники энергии для повышения эффективности исследований мирового океана, Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской Академии Наук (РАН). №18 2014. с. 14-32.
- [3] Николаев В.Г., Ганага С.В. Ветроэлектрические станции как альтернативный способ значительного увеличения электрогенерации в России, НИЦ «Атмограф», 2008. с. 72-82.
- [4] Чепенко В.Л. Промышленные ветроэнергетические станции: современное состояние и перспективы использования // Журнал «Энергобезопасность и энергосбережения», выпуск № 6, 2009, с. 17-22.
- [5] Шевченко М.В. Ветроэнергетический потенциал России. Вестник КамчатГТУ, № 6, 2006. КамчатГТУ. с. 55-59.
- [6] Мельникова А.А. Морские плавучие ветровые электростанции для энергообеспечения прибрежных территорий. Магистерская диссертация. СПбГПУ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 119 с.
- [7] Кузнецов И.М. ВЭУ морского базирования и их опорные конструкции / И. М. Кузнецов // Энергия: экономика, техника, экология. 2012. № 4. с. 36-39 .
- [8] Окунев А.А., Якимчук А.В., Ляповка С.М., Морские ветроэнергетические установки и их перспективы в условиях дальнего востока, ДВГТУ, Владивосток, 2004. с. 44-45.
- [9] Радченко П.М. Морской плавучий ветропарк // Журнал «Наука и транспорт», № 1 (5), 2013, с. 82-86.
- [10] Gaudiosi G. Offshore wind energy in the world context. Renewable energy, Elsevier Science Publishing Company, Inc., 1996, pp. 899-904.
- [11] Альхименко А.И., Беляев Н.Д., Фомин Ю.Н. Безопасность морских гидротехнических сооружений. СПб: Изд-во «Лань», 2003. 288 с.
- [12] Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А. и др. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. Л.: Судостроение, 1989. 328 с.

- [13] Беляев Н.Д. Защита оснований ледостойких платформ от размыва. Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. тр. Выпуск №8. М., 2009. с. 228-236.
- [14] Информация с сайта <http://twell.ru/marine-technologies/>
- [15] Кузина А.Д., Смоленкова А.В. Черный А.В. и др. 2014. Защита оснований морских гравитационных платформ от размыва с помощью «юбок». Неделя науки СПбПУ: материалы НПК с международным участием, Изд-во Политехн. ун-та. с. 115-117.
- [16] Нестеров А.А. Новые предложения по защите оснований морских ГТС с использованием различных покрытий. Сборник докладов молодежной НПК в рамках Недели науки СПбПУ / НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. с. 103-105.
- [17] Чугунова В.В., Беляев Н.Д. Анализ методов защиты от размывов у морских ГТС. Неделя науки СПбГПУ: материалы НПК с международным участием. НОЦ «ВИЭ» СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. с. 80-83.
- [18] Экспериментальные исследования местных размывов грунта морского дна вокруг понтонов плавучей полупогружной буровой установки при ее стоянке на грунте. Техническая информация № 5 по договору № 102702. Ленинград, ЛПИ, 1988. 87 с.
- [19] Явление местного размыва грунта основания у опор буровых установок и мероприятия по его предотвращению. Техническая информация № 2 по договору № 102702. Ленинград, ЛПИ, 1988. 97 с.
- [20] Beliaev N.D. Review of protection methods against propeller erosion. Proceedings of the IV Int. Seminar on Renovation and Improvements to Existing Quay Structures. Technical University of Gdansk. Poland. 1997. V. 1. Pp. 5-12.
- [21] Gaydarov, N.A., Zakharov, Y.N., Ivanov, K.S., et al. 2014. Numerical and Experimental Studies of Soil Scour Caused by Currents near Foundations of Gravity-Type Platforms. International Conference on Civil Engineering, Energy and Environment (CEEE2014) Hong Kong.
- [22] Decommissioning of offshore concrete gravity based structures (CGBS) in the OSPAR maritime area/other global regions. International Association of Oil & Gas Producers. Report No. 484. November 2012. 50 p.
- [23] Rhiannon Wind Farm. Stage 2. Preliminary Environmental Information. Volume 1. Main Technical Report. APPENDIX 7.5, 5 p.
- [24] Rytkonen J. Local scour and scouring protection of drilling platforms in the Arctic sea environment. Technical Research Centre of Finland (VTT). ESPOO. 1983. Research Notes 267, 88 p.
- [25] Shchemelinin L.G., Utin A.V., Belyaev N.D., et al. Experimental studies regarding the efficiency of sea bed soil protection from scour near offshore structures. Proceedings of the ISOPE. 2014. Busan, Korea, ISBN 978-1 880653 91-3, vol. 2, paper 14TPC-0320, pp. 625-631.
- [26] Vølund P. Concrete is the future for offshore foundations // Wind Engineering/ Volume 29, Number 6 / December 2005, pp. 531-539.
- [27] Babchik D., Belyaev N., Lebedev V., et al. 2014. Experimental investigations of local scour caused by currents and regular waves near drilling barge foundations with cutout in stern. Proceedings of 5th International Conference "Coastlab14". Varna, Bulgaria, pp. 114-124.
- [28] Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С. и др. Экспериментальные исследования воздействия волн типа цунами на грунт у оснований морских гравитационных платформ // Инженерно-строительный журнал, №6(50), 2014. С. 4-12

The foundations of offshore wind energy converters and scour protection

A.A. Nesterov¹, N.D. Belyaev², A.V. Karelov³, V.V. Efimova⁴, P.P. Vlasov⁵

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 19.04.2015

Keywords

offshore wind energy converters;
foundations;
scour;
engineering measures;
experimental studies;

ABSTRACT

The satisfying of North and Far-Eastern Russian offshore territories requirements in electric power is possible through the creation of the Offshore Wind Energy Converters (OWEC). The foundation for the offshore settings can consist of concrete, steel piles and multi-supporting structures. In this article engineering measures for protection of seabed from scour near OWEC with the use of different coverings are considered. Recommendations are based on analysis of experimental studies.

1 Corresponding author:
+7 (952) 203 6624, artyom_nesterov@mail.ru (Artem Andreevich Nesterov,)
2 +7 (921) 982 7244, dnd@mail.ru (Nikolay Dmitrievich Belyaev)
3 +7 (981) 717 4402, karelov.aleksandr@inbox.ru (Aleksandr Vladimirovich Karelov)
4 +7 (981) 112 4606, efimova-v93@inbox.ru (Valeriya Valerievna Efimova,)
5 +7 (931) 382 7372, vlasov.ppavel@gmail.com (Pavel Pavlovich Vlasov,)

References

- [1] Bezrukikh P.P. Vetroenergetika. Spravochnoye i metodicheskoye posobiye. M.: ID «Energiya», 2010. 315 s.
- [2] Gorlov A., Vozobnovlyayemye istochniki energii dlya povysheniya effektivnosti issledovaniy mirovogo okeana, Institut okeanologii im.P.P.Shirshova Rossiyskoy Akademii Nauk (RAN). №18 2014. s. 14-32.
- [3] Nikolayev V.G., Ganaga S.V. Vetroelektricheskiye stantsii kak alternativnyy sposob znachitelnogo uvelicheniya elektrogeneratsii v Rossii, NITs «Atmograf», 2008. s. 72-82.
- [4] Chepenko V.L. Promyshlennyye vetroenergeticheskiye stantsii: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ispolzovaniya // Zhurnal «Energobezопасnost i energosberezheniya», vypusk № 6, 2009, s. 17-22.
- [5] Shevchenko M.V. Vetroenergeticheskiy potentsial Rossii. Vestnik KamchatGTU, № 6, 2006. KamchatGTU. s. 55-59.
- [6] Melnikova A.A. Morskiye plavuchiye vetrovyye elektrostantsii dlya energoobespecheniya pribrezhnykh territoriy. Magisterskaya dissertatsiya. SPbGPU. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2013. 119 c.
- [7] Kuznetsov I.M. VEU morskogo bazirovaniya i ikh opornyye konstruksii / I. M. Kuznetsov // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2012. № 4. s. 36-39 .
- [8] Okunev A.A., Yakimchuk A.V., Lyapovka S.M., Morskiye vetroenergeticheskiye ustanovki i ikh perspektivy v usloviyakh dalnego vostoka, DVG TU, Vladivostok, 2004. s. 44-45.
- [9] Radchenko P.M. Morskiy plavuchiy vetropark // Zhurnal «Nauka i transport», № 1 (5), 2013, s. 82-86.
- [10] Gaudiosi G. Offshore wind energy in the world context. Renewable energy, Elsevier Science Publishing Company, Inc., 1996, pp. 899-904.
- [11] Alkhimenko A.I., Belyayev N.D., Fomin Yu.N. Bezопасnost morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. SPb: Izd-vo «Lan», 2003. 288 c.
- [12] Simakov G.V., Shkhinek K.N., Smelov V.A. i dr. Morskiye gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya na kontinentalnom shelfe. L.: Sudostroyeniye, 1989. 328 s.
- [13] Belyayev N.D. Zashchita osnovaniy ledostoykikh platform ot razmyva. Predotvrashcheniye avariyy zdaniy i sooruzheniy: Sb. nauch. tr. Vypusk №8. M., 2009. s. 228-236.
- [14] Informatsiya s sayta <http://twell.ru/marine-technologies/>
- [15] Kuzina A.D., Smolenkova A.V. Chernyy A.V. i dr. 2014. Zashchita osnovaniy morskikh gravitatsionnykh platform ot razmyva s pomoshchyu «yubok». Nedelya nauki SPbPU: materialy NPK s mezhdunarodnym uchastiyem, Izd-vo Politekhn. un-ta. s. 115-117.
- [16] Nesterov A.A. Novyye predlozheniya po zashchite osnovaniy morskikh GTS s ispolzovaniyem razlichnykh pokrytiy. Sbornik dokladov molodezhnoy NPK v ramkakh Nedeli nauki SPbPU / NOTs «Vozobnovlyayemye vidy energii i ustanovki na ikh osnove». SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. s. 103-105.
- [17] Chugunova V.V., Belyayev N.D. Analiz metodov zashchity ot razmyvov u morskikh GTS. Nedelya nauki SPbGPU: materialy NPK s mezhdunarodnym uchastiyem. NOTs «VIE» SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. s. 80-83.
- [18] Eksperimentalnyye issledovaniya mestnykh razmyvov grunta morskogo dna vokrug pontonov plavuchey polupogruzhnoy burovoy ustanovki pri yeye stoyanke na grunte. Tekhnicheskaya informatsiya № 5 po dogovoru № 102702. Leningrad, LPI, 1988. 87 c.
- [19] Yavleniye mestnogo razmyva grunta osnovaniya u opor burovnykh ustanovok i meropriyatiya po yego predotvrashcheniyu. Tekhnicheskaya informatsiya № 2 po dogovoru № 102702. Leningrad, LPI, 1988. 97 c.
- [20] Beliaev N.D. Review of protection methods against propeller erosion. Proceedings of the IV Int. Seminar on Renovation and Improvements to Existing Quay Structures. Technical University of Gdansk. Poland. 1997. V. 1. Pp. 5-12.
- [21] Gaydarov, N.A., Zakharov, Y.N., Ivanov, K.S., et al. 2014. Numerical and Experimental Studies of Soil Scour Caused by Currents near Foundations of Gravity-Type Platforms. International Conference on Civil Engineering, Energy and Environment (CEEE2014) Hong Kong.
- [22] Decommissioning of offshore concrete gravity based structures (CGBS) in the OSPAR maritime area/other global regions. International Association of Oil & Gas Producers. Report No. 484. November 2012. 50 p.
- [23] Rhiannon Wind Farm. Stage 2. Preliminary Environmental Information. Volume 1. Main Technical Report. APPENDIX 7.5, 5 p.
- [24] Rytkonen J. Local scour and scouring protection of drilling platforms in the Arctic sea environment. Technical Research Centre of Finland (VTT). ESPOO. 1983. Research Notes 267, 88 p.

- [25] Shchemelinin L.G., Utin A.V., Belyaev N.D., et al. Experimental studies regarding the efficiency of sea bed soil protection from scour near offshore structures. Proceedings of the ISOPE. 2014. Busan, Korea, ISBN 978-1 880653 91-3, vol. 2, paper 14TPC-0320, pp. 625-631.
- [26] Vølund P. Concrete is the future for offshore foundations // Wind Engineering/ Volume 29, Number 6 / December 2005, pp. 531-539.
- [27] Babchik D., Belyaev N., Lebedev V., et al. 2014. Experimental investigations of local scour caused by currents and regular waves near drilling barge foundations with cutout in stern. Proceedings of 5th International Conference "Coastlab14". Varna, Bulgaria, pp. 114-124.
- [28] Belyayev N.D., Lebedev V.V., Nudner I.S. i dr. Eksperimentalnyye issledovaniya vozdeystviya voln tipa tsunami na grunt u osnovaniy morskikh gravitatsionnykh platform // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, №6(50), 2014. S. 4-12

Нестеров А.А., Беляев Н.Д., Карелов А.В., Ефимова В.В., Власов П.П., Основания ветроэнергетических установок на шельфе и их защита от размыва // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №7(34). С. 41-50.

Nesterov A.A., Belyaev N.D., Karelov A.V., Efimova V.V., Vlasov P.P. The foundations of offshore wind energy converters and scour protection. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 7(34), Pp. 41-50. (rus)