

УДК 620:627

**П.К. Калашников, А.О. Головачев,  
Р.И. Надыров, И.В. Дуничкин\*,  
Е.А. Суверина\*\***

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина,  
\*НИУ МГСУ, \*\*АМ «АРВЕСТ»

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА МОРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Проанализирована общая проблема инфраструктуры морских нефтегазовых месторождений после окончания эксплуатации. Выдвинута гипотеза о применении морских платформ для производства других видов энергии, чтобы в перспективе сократить издержки при консервации месторождения и оптимизировать состояние окружающей среды путем репрофилирования морских платформ. Рассмотрены конструкции и функциональность морских нефтегазодобывающих платформ после исчерпания запасов углеводородов. В качестве альтернативы демонтажу представлены способы переоборудования перспективных сооружений в Арктическом регионе для производства энергии. Выбраны методы разработки проектных решений, которые позволяют рассматривать морскую платформу после окончания эксплуатации как элемент развития моринистической культуры и инструмент экореабилитации акватории. Рассмотрена возможность транспортировки некоторых морских платформ после окончания запасов нефти и газа месторождения, что позволяет выстроить целую сеть в 50 км от береговой линии. Проведены проектные эксперименты, регламентируемые не только правилами Российского морского регистра судоходства, но и СНиП 2.07.01—89<sup>1</sup> в актуализированной редакции СП 42.13330.2011<sup>2</sup>, с использованием в качестве объектов анализа в основном стационарных морских платформ. Разработаны основные требования к отбору первоочередных объектов для анализа, которыми являются характеристики акватории, пригодной для использования возобновляемых источников энергии и размещения морских платформ не более чем в 50 км от берега с небольшой средней глубиной дна от 50 до 110 м. Представлена концепция реконструкции морских платформ, которую можно считать прибрежным проектом.

*Ключевые слова:* морские платформы, возобновляемые источники энергии, гидротурбины, реконструкция, реновация, проектирование, блок верхних строений, АЭС

**P.K. Kalashnikov, A.O. Golovachev,  
R.I. Nadyrov, I.V. Dunichkin\*,  
E.A. Suverina\*\***

Gubkin University, \*MGSU,  
\*\*AS «Arvest»

## DESIGN OF ENERGY COMPLEXES ON OFFSHORE STRUCTURES

This research studies offshore oil and gas platforms after the exhaustion of hydrocarbon reserves. As an alternative to dismantling ways of reequipment of the promising facilities in the Arctic region for power generation are presented. Also a common problem of the infrastructure of offshore oil and gas fields after the end of their operation life is considered. One of the difficult issues that is faced by oil-producing organizations is how to utilize the offshore platform? The hypothesis of infrastructure functionality of offshore platform was put forward for the other types of energy production. In the future, reequipment of offshore platforms will provide an opportunity to reduce costs in the field of conservation and optimize the environment.

The methods for the development of design solutions selected by the authors allow us to consider an offshore platform after its operation as an element of culture development and a tool of ecological rehabilitation of the offshore area. This makes it possible to consider the prospects for the marine infrastructure growth and to improve the economy of coastal areas. The reconstruction of offshore platforms with the change of their function will allow forming a developed maritime infrastructure in coastal waters.

The ability to transport some of the offshore platforms after the oil and gas end will allow building a network 50 km away from the coastline. The authors carried out design experiments based mostly on fixed offshore platforms, regulated by the rules of the Russian Maritime Register of Shipping and by SNIP 2.07.01—89<sup>1</sup>.

The authors developed the basic requirements for the selection of priority projects for the analysis, which are the characteristics of the waters suitable for the use of renewable energy sources and location of offshore platforms less than 50 km away from the coast with a small average water depth of 50 to 110 meters. Thus, the presented the concept of reconstruction can be considered a coastal project.

*Key words:* offshore structures, renewable energy sources, hydro turbines, reconstruction, renovation, design, topsides unit, NPP

<sup>1</sup> СНиП 2.07.01—89\*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

Construction Rules SNiP 2.07.01—89\* "Urban Development. Planning and Construction of City and Rural Settlements".

<sup>2</sup> СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

Requirements SP 42.13330.2011 "Urban Development. Planning and Construction of City and Rural Settlements".

Большая часть шельфовых запасов углеводородов Российской Федерации находится в акваториях северных морей, средний период навигации (промежуток времени в году, при котором возможна относительно безопасная эксплуатация плавучих буровых установок (ПБУ)) в местах предполагаемого залегания углеводородов составляет примерно 60...100 дней. Производство электроэнергии на морской платформе ежедневно требует расхода около 10...15 тыс. м<sup>3</sup> топлива. При этом выброс вредных газов в атмосферу эквивалентен выбросу выхлопных газов 2000 автомобилей. В уникальной экосистеме Арктического региона авария даже на одной морской платформе, повлекшая за собой разлив углеводородов, может привести к необратимым последствиям. Кроме того, следует учитывать, что для освоения шельфового месторождения необходимо пробурить несколько десятков скважин различных видов.

При освоении шельфа возникает проблема загрязнения атмосферы во время проведения поисково-разведочного и эксплуатационного бурения скважин ПБУ. Основными источниками загрязнения служат дизельные и газовые генераторы электрического тока, обеспечивающие автономную работу морских нефтегазовых сооружений.

После окончания нефтегазодобычи перед нефтедобывающими организациями встает сложный вопрос: как утилизировать морскую платформу? В случае ее консервации предвидятся расходы на мониторинг и мероприятия по охране окружающей среды. Гипотеза о применении морских платформ для производства других видов энергии дает возможность рассматривать перспективы роста объектов морской инфраструктуры и улучшать экономику прибрежных зон территории и акватории.

В первом варианте стратегии реновации стационарной морской платформы для частичной или полной замены углеводородного топлива как источника энергии авторами предлагается использование генераторов, работающих на возобновляемых источниках энергии. На данный момент в мире существует большое количество различных типов генераторов, использующих энергию морской волны и подводных течений, но, как правило, они не применяются в нефтегазовой сфере.

The majority of offshore hydrocarbon reserves of the Russian Federation are situated in water areas of northern seas, average navigation season (a period in a year, when relatively safe operation of floating drill rigs is possible) in the areas of supposed hydrocarbon beds is approximately 60...100 days. The energy production on a offshore platform daily requires about 10...15 000 m<sup>3</sup> of fuel. Harmful gas emissions are then equal to exhaust emission of 2000 cars. In the unique ecological system of the Arctic region an accident even on a small platform may lead to irreversible effects. Moreover, we should remember, that for the development of an offshore field it is necessary to bore several dozens of various holes.

The problem of air pollution arises during offshore field development, during exploratory and production drilling by floating drill rigs. The main pollution sources are diesel and gas generators of electric current, which provide autonomous operation of the offshore oil and gas structures.

After the end of oil and gas production oil-producing organizations face a difficult question: how to utilize the offshore platform? In case of its preservation there will arise great costs for monitoring and measures to protect the environment. The hypothesis of marine platform use for the other types of energy production allow considering the prospects of infrastructure objects' growth and allows improving the economy of the coastal areas.

In the first variant of renovation strategy of a fixed offshore platform for partial or full substitution of hydrocarbon fuel as energy source the authors suggest using generators operating on the renewable energy sources. Today there exists a great number of generators of different types in the world, which use sea wave and underflows energy, but they are commonly not used in oil and gas sphere.

Installation of such energy sources inevitably leads to the change in the configuration of topsides unit of the offshore

Установка подобных источников электроэнергии неминуемо ведет к изменению компоновки блока верхних строений морской платформы. При этом основными элементами, дополняющими энергетический блок платформы, становятся аккумуляторные устройства и система синхронизации различных энергетических генераторных установок, располагающихся вблизи морской платформы (аналог системы Smart Greed). Как следствие, возникает необходимость изменения архитектурных решений блока верхних строений морской платформы за счет изменения нагрузок на перекрытия, габаритных размеров помещений энергетического блока и т.д.

При анализе существующих генераторов, работающих на возобновляемых источниках энергии, были выделены следующие, наиболее высокопроизводительные и проработанные с технической точки зрения установки.

*Проект Deep Green.* Гидротурбина представляет собой подводный планер, удерживаемый подъемной силой, которую обеспечивает постоянный поток воды. К морскому дну турбина прикрепляется с помощью троса. На этом же тросе укреплен кабель, по которому передается выработанная электроэнергия. Управление движением турбины осуществляется при помощи вертикальных и горизонтальных рулей, принцип которых аналогичен авиационным. Восемь специальных промежуточных гидродинамических камер обеспечивают равномерную и стабильную работу генератора, регулируя проходящий через турбину поток воды [1].

Принцип производства электроэнергии планером-гидротурбиной приведен на рис. 1. Ток воды создает гидродинамическую подъемную силу на крыле, которая толкает планер вперед 1. С помощью руля он движется по траектории в виде восьмерки 2, достигая скорости, в 10 раз превышающей скорость воды. Во время движения планера вода проходит через турбины, приводя в действие безредукторный генератор 3, который и вырабатывает электроэнергию. Электричество передается по кабелю, прикрепленному к тросу 4, который, в свою очередь, закреплен на дне. По системе подводных кабелей 5, проложенных на морском дне, электроэнергия поступает к приемному устройству. Основные характеристики установки Deep Green приведены в табл. 1.

platform. In this case the main elements supplementing the energy block of the platform are accumulating devices and the synchronizing system of different energy generating units situated near the offshore platform (analogue of the system Smart Greed). As a result there is a need to change architectural solutions of topsides unit of the offshore platform by changing the floor loadings, total dimensions of energy unit premises, etc.

While analyzing the existing generators operating on renewable energy sources the following most high-performance and technologically developed units were detached.

*Project Deep Green.* Hydroturbine is an underwater soaring machine held by a lifting capacity provided by the constant water flow. The turbine is fixed to the sea bottom with the help of a tether. A cable transmitting energy is also fixed to this tether. The turbine motion is controlled using vertical and horizontal handle rudders the principle of which is similar to aviation. Eight special intermediate hydrodynamic cameras provide uniform steady operation of the generator, controlling the water flow going through the turbine [1].

The principle of energy production by the soaring machine-hydroturbine is shown in fig. 1. The water flow creates hydrodynamic lifting capacity on a wing, this capacity pushes the soaring machine ahead 1. With the help of the rudder it moves along its trajectory in the shape of eight 2, achieving the velocity 10 times more than the water velocity. During the soaring machine motion the water flows through the turbines activating direct-drive generator 3, which is producing the energy. The electricity is transmitted via the cable fixed to the tether 4, which is fixed to the sea bottom. Via the system of underwater tethers 5 laid on the sea bottom the energy goes to the intake unit. You can find the main features of Deep Green facility in tab. 1.

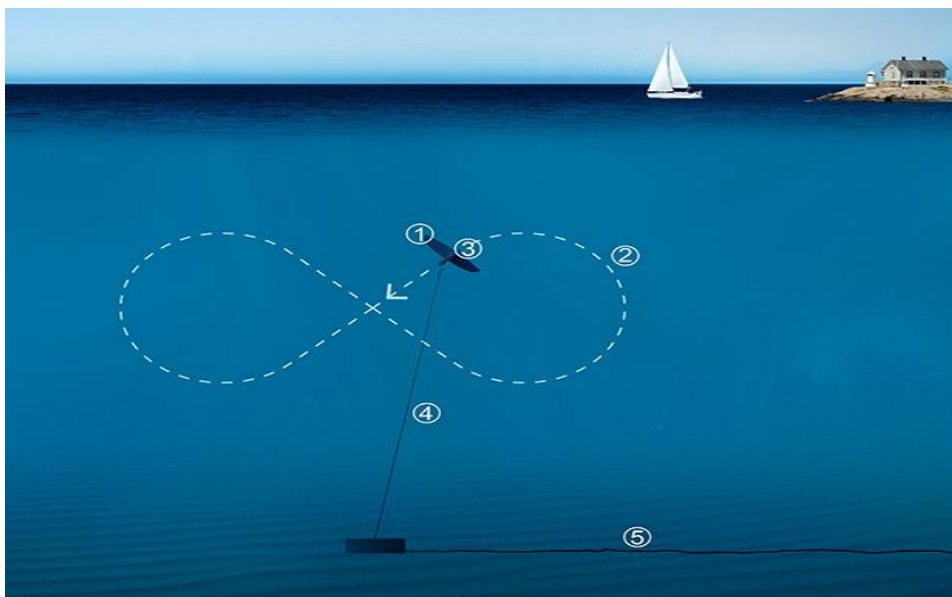


Рис. 1. Принцип действия гидротурбины Deep Green: 1 — планер-гидротурбина; 2 — траектория движения планера-гидротурбины; 3 — безредукторный генератор; 4 — трос; 5 — подводные кабели

Fig. 1. Operating principle of the hydro-turbine Deep Green: 1 — soaring machine-hydro-turbine; 2 — motion trajectory of the soaring machine-hydro-turbine; 3 — direct-drive generator; 4 — tether; 5 — underwater cables

Конструкция установки Deep Green (рис. 2) состоит из крыла 1, которое несет турбину 2, непосредственно соединенную с генератором 3. Руль 4 и система управления позволяют направлять установку по заданной траектории в виде восьмерки. Распорки 5 соединены с тросом 6, который прикрепляет планер к фундаменту на морском дне. Трос также удерживает силовые и коммуникационные кабели.

The construction of Deep Green (fig. 2) consists of a wing 1, which carries the turbine 2, connected to the generator 3. The rudder 4 and the control system allow directing the facility along the desired path in the shape of eight. The struts 5 are connected to the tether 6, which fixes the soaring machine to the base on the sea bottom. The tether also holds power and communication cable.

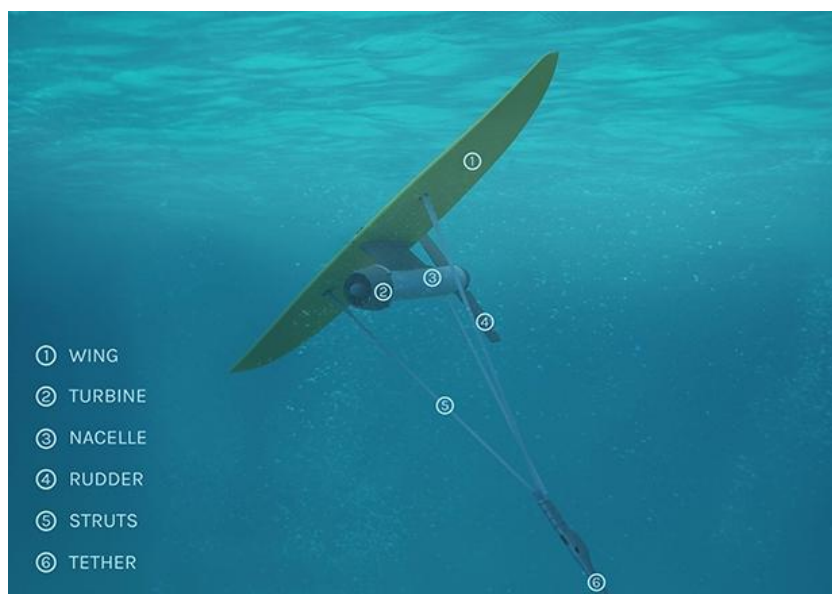


Рис. 2. Элементы установки DeepGreen: 1 — крыло; 2 — турбина; 3 — генератор; 4 — руль; 5 — распорки; 6 — трос

Fig. 2. Elements of DeepGreen: 1 — wing; 2 — turbine; 3 — generator; 4 — rudder; 5 — struts; 6 — tether

Табл. 1. Основные характеристики установки Deep Green

Характеристика	Значение
Срок службы	20 лет
Рабочая скорость морского течения	От 1,2 м/с
Рабочие глубины	60...120 м
Мощность генератора одной установки	1 МВт
Масса	14 т

*Проект «Bluewave».* Устройство Blue-wave (рис. 3) представляет собой кластер из шести колебательных столбов и трех турбин, предназначенных для производства энергии [2].



Рис. 3. Гидротурбина Bluewave

Оборудование гидротурбины включает платформы, которые трансформируют энергию волн, проходящих через конструкцию Blue-wave, в электроэнергию. Генератор представляет собой полый резервуар с открытым дном и небольшими люками наверху. Во время шторма платформа покачивается на поверхности воды, над которой находится около 1/3 всей конструкции. Когда волна проходит сквозь полую камеру, последняя заполняется водой, и выталкиваемый с силой воздух выходит через расположенную сверху турбину. Турбина вращается и вырабатывает электричество. Выходящая из резервуара вода создает пониженное давление, которое затягивает воздух в камеру и снова вращает турбину (рис. 4). Поскольку турбины вращаются под действием выталкиваемого водой воздуха, в конструкции отсутствуют погруженные в воду движущиеся части. Основные характеристики гидротурбины Bluewave приведены в табл. 2.

Tab. 1. General properties of Deep Green

Feature	Value
Operating life	20 yers
Operating speed of sea floew	From 1,2 m/sec
Operating depth	60...120 m
Generator capacity of one facility	1 MW
Mass	14 t

*Project «Bluewave».* A facility Blue-wave (fig. 3) is a cluster consisting of six oscillation columns and three turbines aimed at energy production [2].

Fig. 3. Hydroturbine Bluewave

The hydroturbine equipment includes platforms which transform the wave energy going through the construction Bluewave into electric energy. The nacelle is a hollow reservoir with an open bottom and small hatches above. When sea is calm the platform is swaying on the water surface, above which 1/3 of the construction is situated. When a wave is going through the hollow tank, the tank is filled with water and the air is pushed out through the turbine situated above. The turbine is rotating and producing electricity. The water coming out of the reservoir creates underpressure, which sucks the air into the tank and rotates the turbine again (fig. 4). As the turbines are rotating under the influence of the air pushed out by water, there are no submerged moving parts of the construction. The main characteristics of hydroturbine Bluewave are presented in tab. 2.





Рис. 4. Принцип действия гидротурбины Bluewave

В основе функционирования данной системы получения энергии лежит использование энергии волн с большим периодом и длиной, движение которых легко прогнозируемо. Платформы работают благодаря возмущению на поверхности океана. Если для ветряков погодные условия можно определить за 4...5 ч, то в случае гидротурбин Bluewave приход волн прогнозируется за 5...7 дней.

Табл. 2. Основные характеристики гидротурбины Bluewave

Характеристика	Значение
Высота над водой	15...20 м
Стоимость одной установки	8 млн долл.
Масса	3000 т
Начальная высота волны	500 мм
Нормальная высота волны	2800 мм
Вырабатываемая мощность	3 МВт
Условия эксплуатации	Водная среда
Срок службы	Более 25 лет
Техническое обслуживание	1 раз в год

*Проект Pelamis Wave Power.* Установка Pelamis состоит из 5—6 секций шарнирно соединенных труб (рис. 5), что позволяет им изгибаться в двух направлениях. Прохождение волн по всей длине установки заставляет колебаться секции труб [3]. При движении секций гидротурбины по волнам, начинают работать гидравлические барабаны, в которых расположены насосы высокого давления. С их помощью энергия такого движения труб преобразуется в электрическую. Каждая секция труб полностью автономна, что позволяет повысить общую надежность установки. Питание всех соединений подается вниз к единому кабелю, проложенному по морскому дну.

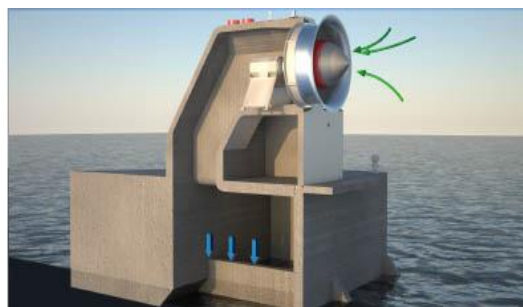


Fig. 4. Operating principle of the hydro turbine Bluewave

The use of wave energy with big period and length, the motion which can be forecasted, lies in the basis of the system functioning. The platforms are working because of the disturbances on ocean surface. For example, for wind turbines it is possible to forecast the weather conditions 4...5 hours before, in case of hydro turbines Bluewave the wave coming is forecasted 5...7 days before.

Tab. 2. General properties of hydro turbine Bluewave

Feature	Value
Height over the water	15...20 m
Cost of one facility	8 million \$
Mass	3000 t
Initial wave height	500 mm
Regular wave height	2800 mm
Generated power	3 MW
Operating conditions	Water environment
Operating life	More than 25 years
Maintenance	Once a year

*Project Pelamis Wave Power.* The facility Pelamis consists of 5—6 sections of pin-connected pipes (fig. 5), which allows them to bend in 2 directions [3]. When the hydro turbine sections move along the waves, hydraulic barkers begin to work. High pressure pumps are situated inside these barkers. They allow transforming the energy of the pipes' motion into electrical. Each section of pipes is fully autonomous, which allows increasing the general reliability of the facility. The power to all the junctions is supplied down to the unified cable laid on the sea bottom.



Рис. 5. Гидротурбина Pelamis

Fig. 5. Hydroturbine Pelamis

Табл. 3. Основные характеристики гидротурбины Pelamis

Характеристика	Значение
Длина	180
Диаметр	4 м
Масса	1350
Мощность	1 МВт
Число секций труб	6
Стоимость одной установки	3 млн долл.
Срок службы установки	25...35 лет
Время установки	Не более 1 сут

Tab. 3. General properties of hydroturbine Pelamis

Feature	Value
Length	180
Diameter	4 m
Mass	1350
Power	1 MW
Number of sections of pipes	6
Cost of one facility	3 million \$
Operating life	25...35 years
Time for installation	Not more than 1 day

Во втором варианте стратегии реновации авторами предлагается рассмотреть прототип электрогенератора, работающего на энергии подводных течений, для частичного энергообеспечения *полупогружной буровой платформы*. Концепция данной гидроустановки предполагает применение лопастного механизма определенной конфигурации, улавливающего энергию подводного течения с последующим преобразованием энергии из механической в электрическую.

По произведенным в ходе исследований расчетам была построена зависимость энергии потока воды от скорости течения (рис. 6). В результате был сделан вывод, что даже при 50%-ом КПД гидрогенератора будет вырабатываться достаточное количество электроэнергии для работы одного из модулей морской буровой платформы.

На рис. 7 приведены данные о процентном распределении потребления электроэнергии на морской буровой платформе (на примере одной из полупогружных платформ, работающих на российском шельфе). Учитывая необходимость бесперебойного обеспечения электроэнергией всех технологических модулей морской платформы, в качестве пилотного проекта его авторами предлагается идея энергообеспечения жилого модуля полупогружной буровой установки. Проведенные расчеты показали, что на энергообеспечение данного мо-

In the second variant of renovation strategy the authors offer considering a prototype of electric generator working on underwater stream energy for partial energy supply of a semisubmersible drilling rig. The concept of this hydraulic unit supposes the use of vane device of a special configuration, which captures the energy of underwater flow and transforms mechanical energy into electrical.

According to calculations the dependence of water flow energy on the floe velocity was shown (fig. 6). As a result the conclusion was made that even in case of the performance coefficient of hydrogenerator equal to 50 % the produced energy will be enough for operation of one of the modules of the drilling system.

Fig. 7 shows the data on the percentage distribution of electric energy consumption on a sea drilling platform (on the example of one of semisubmersible platforms operating on the Russian Shelf). Taking into account the necessity of uninterrupted energy supply to all the technological modules of the offshore platform, the authors offer an idea of energy supply of the accommodation module of semisubmersible drilling rig as a pilot project. The calculations showed that energy supply of this module requires about 20 % of all the produced en-

дуля расходуется около 20 % всей вырабатываемой электроэнергии, что соответствует мощности существующих гидрогенераторов, предлагаемых к использованию в проекте.

ergy, which is equal to the power of the existing hydrogenerators offered in the project.

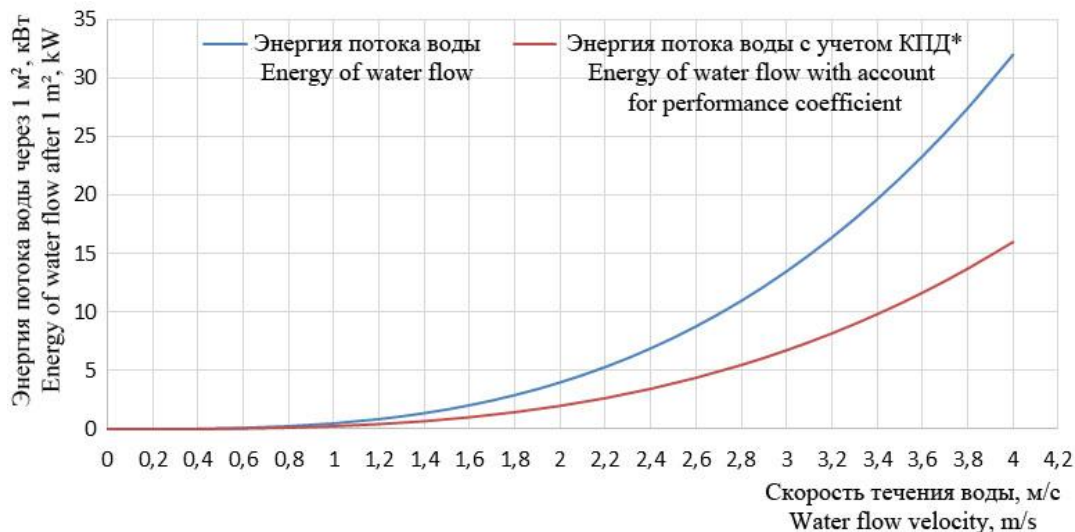


Рис. 6. Зависимости энергии потока воды от скорости подводного течения

Fig. 6. The dependences of water flow energy from underwater flow velocity

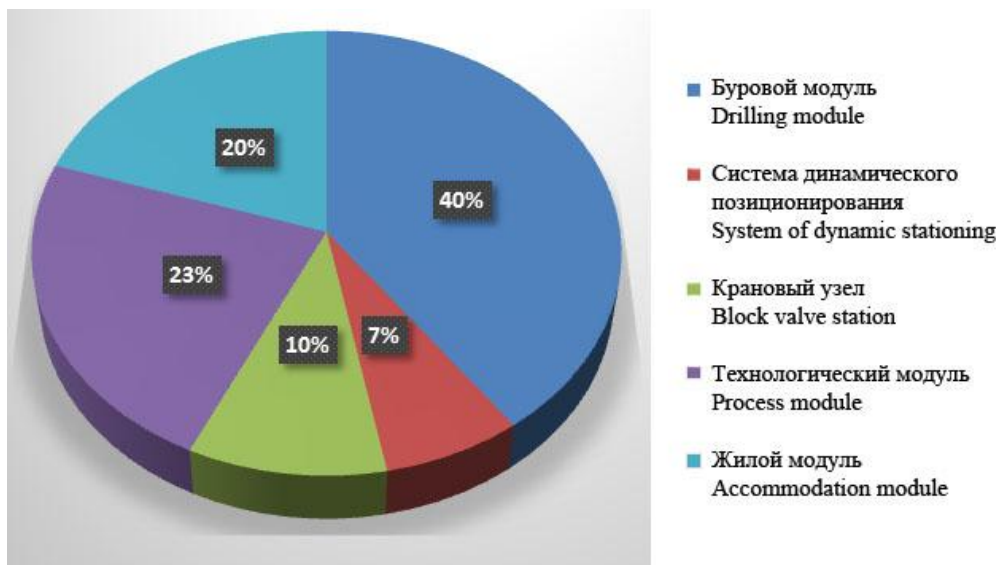


Рис. 7. Распределение электроэнергии на морской буровой платформе

Fig. 7. Electric energy distribution on an offshore drilling platform

Процесс ввода в эксплуатацию гидрогенератора происходит в следующем порядке. Генератор находится на борту морской буровой платформы. При прибытии морской платформы на точку бурения и закреплении на морском дне параллельно происходит спуск и установка генератора. После проведения необходимых пуско-наладочных работ генератор готов к работе. Для эффективной работы гидрогенератора существует минимальный порог скорости подвод-

The a hydrogenerator is put into operation in the following order. The generator is situated on the board of an offshore drilling platform. When an offshore platform comes to the drilling site and is fixed to the sea bottom, the generator is simultaneously launched and installed. After the required check out and start up the generator is ready for operation.



ного течения и высоты волны. Оценка гидродинамических параметров акватории потребует проведения специализированных исследований на разрабатываемом месторождении.

Реализация проекта создания данной гидротурбины возможна только при тесном сотрудничестве с нефтегазовыми компаниями для тестирования и дальнейшего экспериментального исследования установки.

Основным преимуществом проекта является значительное снижение выбросов вредных веществ в атмосферу. Авторы проекта предполагают большую заинтересованность нефтегазовых компаний в его реализации вследствие уменьшения объема используемого углеводородного топлива для поддержания автономной работы буровой платформы, уменьшения затрат на выплаты экологических штрафов и возможности дальнейшего переоборудования морских стационарных платформ, вышедших из эксплуатации (на данный момент нет технического решения для дальнейшего применения таких платформ) в центры выработки электроэнергии с использованием генераторов, работающих на возобновляемых источниках энергии. Основным риском реализации проекта является наличие в нефтегазовых акваториях подводных течений с необходимыми параметрами.

Третий вариант стратегии реновации *стационарной морской платформы* основан на размещении на ней установок для производства энергии в качестве основополагающей цели эксплуатации после окончания нефтегазодобычи. Так как основной целью платформы станет производство энергии, то, помимо использования высоко экологичных технологий возобновляемых источников энергии, для платформы разработан атомный реактор малой мощности. Для защиты окружающей среды реактор будет установлен на третьем уровне конструкции (максимально удален от воды), также предусмотрена биозащита в виде бетонных стен увеличенной толщины (до 2 м) со всех сторон реактора и прилегающих помещений, имеющих хотя бы минимальный радиационный фон. Следует также учесть, что благодаря конструкции реактор (СВБР-75/100) имеет повышенный уровень самобезопасности, что обеспечивает малый масштаб последствий при разгерметизации первого контура, отсутствие радиационной опасности для второго контура, исключение возможности взрыва внутри реактора (рис. 8).

For the efficient operation of hydro-generator there exists minimal velocity threshold of underwater flow and wave height. Estimation of the hydrodynamic parameters of the water area will require conducting special investigations on the developed deposit.

Project implementation of the given hydroturbine creation is possible only in case of close cooperation with oil and gas companies for testing and further experimental investigation of the facility.

The main advantage of the project is essential reduction of harmful emissions to the air. The authors suppose great interest of oil and gas companies in its implementation resulting from the reduction of the used hydrocarbon fuel for autonomous operation of the drilling platform, reduction of the costs of environmental fines and the possibility of further reequipment of offshore fixed platforms, which are taken out of service (at the moment there are no technical solutions for further use of such platforms), to energy production centers with the use of generators operating on renewable energy sources. The main risk of this project implementation is the presence of underwater flows with the required parameters in oil and gas water areas.

The third variant on renovation strategy of a fixed offshore platform is based on installation of the facilities on it for energy production as a basic operation after stopping oil and gas output. As far as energy production will become the main aim of the platform also a low-power atomic reactor is developed for the platform apart from the use of clean technologies of renewable energy sources. The reactor will be installed on the third floor of the construction (maximally far from the water), also biological protection by the concrete thick walls (up to 2 m) from all the sides of the reactor and the adjacent premises having even minimal radiation background is presupposed. It is also important to remember, that thanks to its structure the reactor (SVBR-75/100) has an increased safety level, which provides little consequences in case of depressurizing of primary circuit, no radiation danger of secondary circuit, no possibility of explosion inside the reactor (fig. 8).

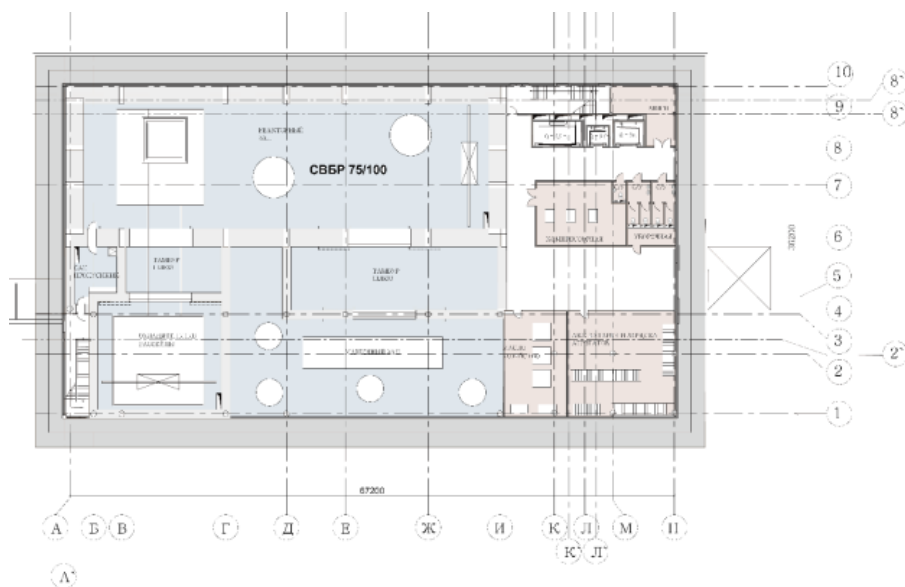


Рис. 8. План третьего уровня морской платформы с размещением реакторного зала

Fig. 8. The plan of the 3rd floor of an offshore platform with reactor hall

На случай нештатных ситуаций в соответствии с нормативными документами предусмотрены три системы защиты, а также возможность открывания крыши для экстренного обезвреживания реактора (рис. 9). На нижних уровнях платформы расположены запасные бассейны и танкеры для зараженной воды, чтобы предотвратить ее выброс в море в случае нештатных ситуаций.

In case of emergency situations in correspondence with normative documents three protection systems are presupposed, and the possibility to open the roof for prompt deactivation of the reactor (fig. 9). Reserve basins and tankers for contaminated waters are situated on the lower levels of the platform in order to prevent its emission to the sea in case of emergency situations.

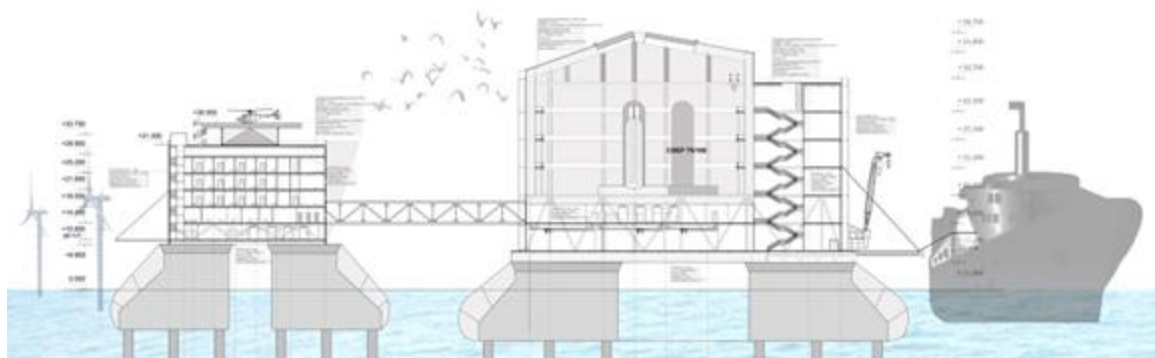


Рис. 9. Разрез морских платформ с жилым и энергопроизводственным блоками АЭС

Fig. 9. Sectional view of offshore platforms with accommodation and energy production nuclear power units

АЭС на морской платформе спроектирована в соответствии с нормами СП, МАГАТЭ и Морского регистра и является безопасным объектом, тем более что подобные опыты уже проводились с плавучими АЭС (рис. 10). Риски, являющиеся наиболее значимыми для АЭС, связаны с сейсмическими воздействиями и цунами, они учтены в конструкции и выборе места локации. Возможность взрыва внутри реак-

Atomic power station on a sea platform is designed according to the requirements SP, MAGATE and Register of Shipping and is a safe object, especially that such experiments have already been carried out with a floating nuclear plant (fig. 10). The most significant risks for NPP are related to seismic impacts and tsunamis, they are taken into consideration in the structure and choice of the location.

тора исключена его конструкцией, а защита от падения самолета обеспечена толщиной слоя биозащиты (2 м), дополнительно укрепленного внутренним металлическим листом.

The possibility of explosion inside the reactor is excluded by its structure and the thickness of biological protection layer (2 m) additionally strengthened by inner metal sheet provides the protection from aircraft crash.

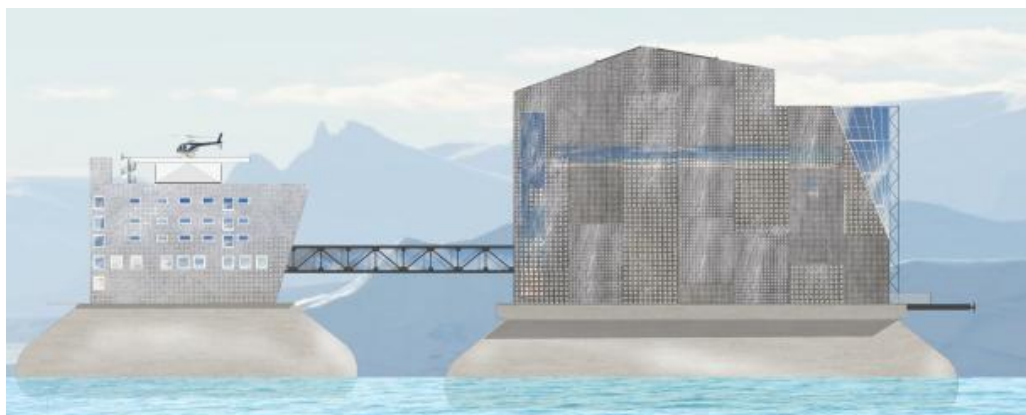


Рис. 10. Научно-исследовательский экспериментальный центр энергетических технологий с размещением АЭС и блоков возобновляемых источников энергии в акватории

Fig. 10. Scientific research experimental center of energy technologies with NPP and RES blocks in the water area

Так как платформа используется в производственных целях, на ней работают люди, поэтому для полноценного функционирования платформы все помещения необходимо обеспечить пресной водой, электричеством и отоплением. Для этого предлагается сконструировать на платформе системы опреснения и очистки воды, а также биореакторы для переработки отходов в биогаз.

As the platform is used with production purposes, people are working on it, that's why all the premises should be provided with fresh water, electricity and heating for unimpaired operation of the platform. For this aim the authors suggest constructing a system of water desalination and purification and bioreactors for waste recycling into biogas on the platform.

Важный вопрос безопасности и организации приемлемых условий труда на морской платформе основывается на климате [4], а точнее ветровом режиме и оценке аэродинамических показателей морской платформы [5, 6]. Аэродинамическое исследование коммуникационной связи между блоками и верхними строениями морской платформы можно рассматривать по аналогии с мостами и элементами высотных зданий. Ветровые эффекты аэроупругости следует рассматривать в целях обеспечения безопасности персонала платформы [7, 8]. Важно учитывать частотные характеристики воздушного потока и частот структуры, а также влияние формы надводной.

The important issue of security and organization of acceptable working conditions at offshore structures is based on the climate [4], to be exact on the wind regime and evaluation of aerodynamic performance of the offshore structure [5, 6]. The aerodynamic research of communication relations between the blocks and the upper structures of the offshore structure may be considered by analogy with bridges for and elements of high-rise buildings [7, 8]. It is important to take into account the frequency characteristics of the air flow and frequencies of the structure, as well as the effect of the form of the topside.

Атомная энергетика может быть безопасной и контролируемой. Кроме того, в нашей стране также возможна разработка проектов, связанных с возобновляемой энергетикой, которые в будущем смогут составить конкуренцию традиционным методам добычи энергии. Таким образом, устойчивое развитие — модель

The nuclear energetics may be safe and controlled. Moreover, in our country it is also possible to develop the projects related to renewable energy, which will be able to compete with the traditional energy production methods. So, the sustainable development is a model of moving forward, in case

движения вперед, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без лишения будущих поколений такой возможности и загрязнения среды выбросами в атмосферу от сжигания топлива.

Представленный исследовательский проект призван доказать, что энергетика может быть экологичной и строиться на принципах устойчивого развития. Проектные решения, конечно же, требуют дальнейшего развития, но на данный момент они представляют уникальный синтез различных энергетических технологий. Благодаря экспериментальному характеру научно-исследовательского центра есть возможность сравнить и выбрать наиболее приемлемый способ производства энергии. При комплексном рассмотрении темы становится очевидным, что экологическая безопасность может быть обеспечена практически на любом этапе работы и в ходе последующей реновации морской платформы, а значит, принципы устойчивого развития будут соблюдены и баланс между человеком и природой сохранен.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание по теме: Фундаментальные исследования ветровых воздействий (в том числе экстремальных) на уникальные здания и сооружения, а также мостовые конструкции)*

of which satisfaction of living requirements of the current generation is achieved without depriving the future generations of this possibility and without environmental pollution with fuel combustion emissions.

The presented research project is aimed to prove that energy can be ecological and can be constructed according to the principles of sustainable development. The design solutions surely need further development, but at the moment they are a unique synthesis of different energy technologies. Thanks to experimental nature of the scientific-research center there is a possibility to compare and choose the most reasonable method of energy production. In case of complex consideration of the topic it becomes obvious that ecological safety may be provided almost at any stage of the work and in the course of further renovation of an offshore platform, which means, the principles of sustainable development will be maintained and the balance of human and nature will be kept.

*The research is carried out under the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (state task on the topic: Fundamental research of wind impacts (including emergency impacts) on the unique buildings and structures, as well as bridge structures)*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Soltanpour M., Shibayama T., Masuya Y., Sabzevari I. Wave Attenuation and Mud Mass Transport under Irregular Waves // Proc. 29th Coastal Eng. Conf., ASCE. 2004. Pp. 1851—1860.
2. Zhang Q.H., Zhao Z.D. Wave-mud interaction: wave attenuation and mud mass transport, coastal sediments «99» // The Proceedings of the Coastal Sediments. 2011. 1999. Pp. 1867—1880.
3. Foda M.A., Hunt J.R., Chou H.T. A nonlinear model for the fluidization of marine mud by waves // Journal of Geophysical Research. 1993. Vol. 98. Issue C4. Pp. 7039—7047.
4. Dunichkin I.V., Kalashnikov P.K. Accounting for climate and typology of reuse of offshore structures with a change of function // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 713—715. Pp. 205—208.
5. Поддаева О.И. Физические исследования архитектурно-строительной аэродинамики для устойчивого проектирования в строительной отрасли / Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 35—38.

#### REFERENCES

1. Soltanpour M., Shibayama T., Masuya Y., Sabzevari I. Wave Attenuation and Mud Mass Transport under Irregular Waves. Proc. 29th Coastal Eng. Conf., ASCE. 2004, pp. 1851—1860. DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/9789812701916-0148>.
2. Zhang Q.H., Zhao Z.D. Wave-Mud Interaction: Wave Attenuation and Mud Mass Transport, Coastal Sediments “99”. The Proceedings of the Coastal Sediments. 2011. 1999, pp. 1867—1880.
3. Foda M.A., Hunt J.R., Chou H.T. A Nonlinear Model for the Fluidization of Marine Mud by Waves. Journal of Geophysical Research. 1993, vol. 98, issue C4, pp. 7039—7047. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/92JC02797>.
4. Dunichkin I.V., Kalashnikov P. K. Accounting for Climate and Typology of Reuse of Offshore Structures with A Change of Function . Applied Mechanics and Materials. 2015, vol. 713—715, pp. 205—208. DOI: <http://10.4028/www.scientific.net/AMM.713-715.205>
5. Poddaeva O.I. Fizicheskie issledovaniya arkhitekturno-stroitel'noy aerodinamiki dlya ustoychivogo proektirovaniya v stroitel'noy otrasli [Physical Study of Architectural and Construction Aerodynamics for Sustainable Design in the Construction Industry]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2013, no. 9, pp. 35—38. (In Russian)
6. Churin P.S., Poddaeva O.I., Egorychev O.O. Proektirovanie maketov unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy v eksperi-

6. *Чурин П.С., Поддаева О.И., Егорычев О.О.* Проектирование макетов уникальных зданий и сооружений в экспериментальной аэродинамике // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 332—335.

7. *Churin P., Poddaeva O.I.* Aerodynamic testing of bridge structures // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 477—478. Pp. 817—821.

8. *Egorychev O.O., Churin P.S., Poddaeva O.I.* Experimental study of aerodynamic loads on high-rise buildings // Advanced Materials Research. 2015. Vol. 1082. Pp. 250—253.

*Поступила в редакцию в марте 2016 г.*

Об авторе: **Калашников Павел Кириллович**, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности, исполнительная дирекция программ ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина», **Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)**, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, 8 (499) 135-70-76, kalashnikov\_pk@bk.ru;

**Головачев Андрей Олегович**, студент магистратуры кафедры автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности, **Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)**, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, 8 (499) 135-70-76, andreigolovachev@mail.ru;

**Надыров Равиль Ильдарович**, студент магистратуры кафедры автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности, **Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)**, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, 8 (499) 135-70-76, nadyrov.ravil@gmail.com;

**Дуничкин Илья Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и градостроительства, заместитель руководителя Учебно-научно-производственной лаборатории аэродинамических и аэроакустических испытаний строительных конструкций, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 781-80-07, ecse@bk.ru;

**Суверина Евгения Андреевна**, архитектор, отдел визуализации, **Архитектурная мастерская «АРВЕСТ» (АМ «АРВЕСТ»)**, 117105, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 1, стр. 6, офис 319, 8 (495) 921-08-91, suverina\_arch@mail.ru.

Для цитирования:

*Калашников П.К., Головачев А.О., Надыров Р.И., Дуничкин И.В., Суверина Е.А.* Проектирование энергетических комплексов на морской платформе // Строительство: наука и образование. 2016. № 1. Ст. 1. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>.

For citation:

Kalashnikov P.K., Golovachev A.O., Nadyrov R.I., Dunichkin I.V., Suverina E.A. Proektirovanie energeticheskikh kompleksov na morskoy platforme [Design of Energy Complexes on Offshore Structures]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2016, no. 1. Paper 1. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.

mental'noy aerodinamike [Designing Layouts of Unique Buildings and Structures in Experimental Aerodynamics]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Volga region Bulletin]. 2014, no. 5, pp. 332—335. (In Russian)

7. *Churin P., Poddaeva O.I.* Aerodynamic Testing of Bridge Structures. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 477—478, pp. 817—821.

8. *Egorychev O.O., Churin P.S., Poddaeva O.I.* Experimental Study of Aerodynamic Loads on High-Rise Buildings. *Advanced Materials Research*. 2015, vol. 1082, pp. 250—253. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1082.250>.

*Received in march 2016.*

About the authors: **Kalashnikov Pavel Kirilovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design Automation of Oil and Gas Industry Structures, executive administration of the programs of Gubkin University, **Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Gubkin University)**, 65 Leninskiy prospect, Moscow, 119991, Russian Federation, kalashnikov\_pk@bk.ru; +7(499) 135-70-76;

**Golovachev Andrey Olegovich**, Master student, Department of Design Automation of Oil and Gas Industry Structures, **Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Gubkin University)**, 65 Leninskiy prospect, Moscow, 119991, Russian Federation; andreigolovachev@mail.ru; +7(499) 135-70-76;

**Nadyrov Ravil' Il'darovich**, Master student, Department of Design Automation of Oil and Gas Industry Structures, **Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Gubkin University)**, 65 Leninskiy prospect, Moscow, 119991, Russian Federation; nadyrov.ravil@gmail.com; +7(499) 135-70-76;

**Dunichkin Il'ya Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Design and Urban Development, deputy director, Academic Production Laboratory of Aerodynamic and Aeroacoustic Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ecse@bk.ru; +7(495) 781-80-07;

**Suverina Evgeniya Andreevna**, architect, Department of Rendering, **architectural studio "ARVEST" (AS "ARVEST")**, office 319, 1-6 Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russian Federation; suverina\_arch@mail.ru; +7 (495) 921-08-91.