

Научная статья

УДК 621.315.1

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-30-37>

EDN EVOSTT

Разработка проекта плавучей бесфундаментной опоры линии электропередач

C. V. Головко, Г. А. Кушнер[✉], Д. Д. Уразгалиев, Е. А. Ненастьев, В. П. Булгаков

Астраханский государственный технический университет,

Астрахань, Россия, guriy.kushner@mail.ru[✉]

Аннотация. Представлены результаты разработки проекта плавучей опоры линии электропередач, пред назначенной для перемещения и временной установки в областях разливов рек в случаях обрушения основных опор. Рассмотрена классификация опор линий электропередач по материалам изготовления, приведены различные варианты плавучих платформ в зависимости от способа регулирования положения платформы и способа закрепления платформы. На основании систематизированных данных о существующих конструкциях был выбран материал изготовления опоры линии электропередачи, подобрана модель опоры и обоснован способ закрепления платформы над водой. Опора изготавливается из композитных материалов, платформа монтируется на винтовые сваи на высоте одного метра от уровня воды. Настил платформы выполнен из стальных решетчатых листов с антикоррозионным покрытием. Расчет грузоподъемности выполнен с учетом собственной массы платформы, масс опор и оперативного персонала. Выполнен выбор элементов плавучей платформы, таких как металлическая основа с поплавками, настил плавучей платформы и бензиновая лебедка. Представлена модель разработанной платформы с установленной на ней опорой, приведена последовательность прочностного расчета, основанного на определении и сравнении величин момента сопротивления и момента инерции от сосредоточенной и распределенной нагрузки. Приведена методика определения нагрузки на сваи, на основании которой осуществляется подбор размера свай. Разработаны расчетная схема распределения нагрузок на сваи, методика подбора лебедки по тяговой нагрузке.

Ключевые слова: плавучая опора линии электропередач, методика проектирования, выбор материалов опоры, стальной настил, плавучая платформа

Для цитирования: Головко С. В., Кушнер Г. А., Уразгалиев Д. Д., Ненастьев Е. А., Булгаков В. П. Разработка проекта плавучей бесфундаментной опоры линии электропередач // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 3. С. 30–37. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-30-37>. EDN EVOSTT.

Original article

Development of a floating foundation-free power line support project

S. V. Golovko, G. A. Kushner[✉], D. D. Urazgaliiev, E. A. Nenastev, V. P. Bulgakov

Astrakhan State Technical University,

Astrakhan, Russia, guriy.kushner@mail.ru[✉]

Abstract. The results of the development of a project for a floating power transmission line support designed for relocation and temporary installation in areas of river flooding in cases of collapse of the main pillars are presented. The classification of power transmission poles by materials of manufacture is considered, various variants of floating platforms are presented, depending on the method of regulating the position of the platform and the method of securing the platform. Based on the systematized data on existing structures, the material of the power line support was selected, the support model was selected and the method of fixing the platform above the water was justified. The support is made of composite materials, the platform is mounted on screw piles at a height of one meter from the water level. The platform deck is made of steel lattice sheets with an anti-corrosion coating. The load-lifting capacity is calculated taking into account the own weight of the platform, the masses of the supports and the operational personnel. The choice of elements of the floating platform, such as a metal base with floats, a floating board deck and a gasoline winch, has been made. A model of the developed platform with a support mounted on it is presented, and a sequence

of strength calculations based on determining and comparing the values of the moment of resistance and the moment of inertia from a concentrated and distributed load is presented. A method for determining the load on piles is given, on the basis of which the pile size is selected. A design scheme for the distribution of loads on piles and a method for selecting a winch for traction load have been developed.

Keywords: floating power line support, design methodology, choice of support materials, steel flooring, floating platform

For citation: Golovko S. V., Kushner G. A., Urazgaliev D. D., Nenastev E. A., Bulgakov V. P. Development of a floating foundation-free power line support project. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;3:30-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-30-37>. EDN EVOSTT.

Введение

Существенная часть населенных пунктов страны расположена в отдалении от крупных энергетических узлов и труднодоступна в транспортном отношении. Для таких населенных пунктов единственным способом доставки энергии до потребителя является постройка протяженных воздушных линий электропередач (ВЛЭП), проходящих по наиболее оптимальному с точки зрения потерь пути. Нередки случаи размещения опор в зонах временного затопления при весеннем половодье, вызываемом разливом рек. Основное влияние затопление опор оказывает на скорость коррозии, которая напрямую зависит от концентрации углекислоты в среде [1].

Затопление опор приводит к их поломкам и нарушению электроснабжения населенных пунктов, при этом доступ к ним усложняется. Актуальность разработки заключается в необходимости проектирования и постройки плавучего сооружения, представляющего собой быстровозводимую опору ВЛЭП, способную перемещаться по воде в зонах затопления и устанавливаться в качестве временной опоры для поддержания работоспособности линии.

Применение данного сооружения позволит существенно сократить время перерыва электроснабжения потребителей. В обычных условиях время на ликвидацию аварий, связанных с разрушением опор в труднодоступных местах, а именно в зонах разлива рек, составляет от трех до четырех дней. Использование разрабатываемого сооружения позволит сократить это время до одного дня.

Анализ конструкций и классификация опор ВЛЭП

Цель разработки проекта достигается за счет решения задач выбора конструкции и материалов опоры ВЛЭП. Согласно [2–4], основные материалы, из которых изготавливаются опоры, – древесина хвойных пород, железобетон, металл, композиты. Исходя из характеристик и свойств материалов, было принято решение изготавливать опору на плавучей платформе из композитных материалов ввиду наилучшего соотношения веса и прочности.

Исследование отечественного рынка быстро-

вводимых опор привело к следующему выводу: на российском рынке представлен только один тип бесфундаментной опоры – это опора Х-образного исполнения АО НПП «Алтику» [5]. Опора представляет собой комплект частей, собранных в пространственную Х-образную конструкцию, предназначенную для установки на местности временной промежуточной опоры воздушной линии электропередач класса напряжения до 10 кВ включительно при аварийно-восстановительных или плановых работах по ремонту воздушных линий электропередач, а также для сооружения временных линий (рис. 1).

Важным плюсом данного типа опор для проектируемой нами конструкции является возможность установки креплений (или выполнения отверстий) в основаниях опоры для последующего устойчивого закрепления на плавучей платформе. Кроме того, композитные опоры имеют больший запас прочности и более устойчивы к воздействию изгибающих моментов, чем наиболее распространенные железобетонные опоры [6].

В работе [7] приведена классификация плавучих платформ, разделяющая их по видам. Платформы бывают двух типов: самоподъемные и закрепленные. Для закрепления платформы используются стабилизирующие колонны, якоря и натяжные связи.

Самоподъемной платформой считают сооружение, которое структурно содержит подвижную часть (палубу), способную изменять свое положение относительно уровня воды.

Верхнее строение обладает необходимой плавучестью, достаточной для того, чтобы выдержать нагрузку всех элементов, находящихся на ней, во время буксировки на место установки. Буксировка платформы выполняется только при поднятых в крайнее верхнее положение опорах.

Платформы данного типа обязательно должны иметь как минимум три опоры. Только так обеспечивается необходимая устойчивость платформы. Чаще всего выполняются конструкции с тремя и четырьмя опорами, но есть и примеры платформ с пятью и шестью опорами. Глубина водоема, где используются платформы данного вида, может достигать 200 м.

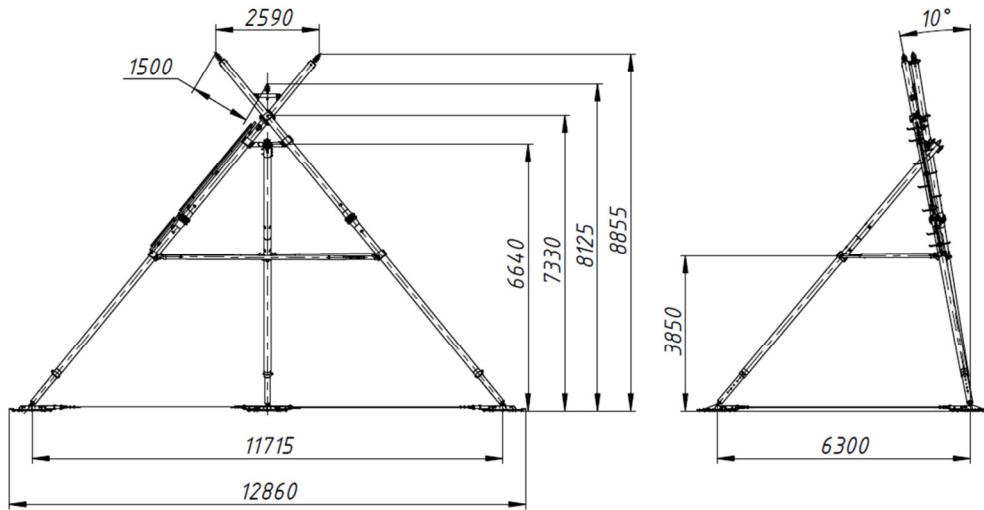


Рис. 1. Быстроустанавливаемые опоры АО НПП «Алтик»

Fig. 1. Prefabricated supports manufactured by Altik JS SIE

Регулировка положения платформы заключается как в изменении плавучести всех частей, так и каждой отдельной части, что позволяет изменять глубину погружения платформы и осуществлять необходимый крен (отклонение от вертикали). Одной из таких платформ является платформа со стабилизирующими колоннами. Так называют платформу, состоящую из трех основных частей: верхнего строения, или pontona; стабилизирующих колонн; подводных водонепроницаемых корпусов, или pontonov-stop. Стабилизирующие колонны и корпуса предназначаются для регулировки плавучести платформы и ее остойчивости. Стабилизирующие колонны делаются пустотными, имеют различные отсеки (помещения), которые могут заполняться водой (балласт) и тем самым регулируют величину плавучести вплоть до положения, при котором верхнее строение поднимется над поверхностью воды. Стопы также делаются пустотными (с отсеками) и могут регулировать величину плавучести. Не менее важной функцией колонн и стоп является стабилизация положения платформы, подвергающейся воздействию ветра, волн и течений. Масса колонн и стоп удерживает платформу от быстрых отклонений от вертикали и от резкого подъема вверх и вниз. Волны, набегая на колонны, разбиваются, и вода обтекает колонны. Платформа, закрепляемая в рабочем положении с помощью якорей, представляет собой верхнее строение со стабилизирующими колоннами и корпусами на концах колонн, удерживаемое в рабочем состоянии на плаву с помощью якорной системы [8].

Плавучая платформа на натяжных связях, закрепленных на дне с помощью якорных устройств,

представляет морское сооружение, состоящее из трех основных частей: ponton, обладающий возможностью регулировать величину плавучести за счет изменения водоизмещения, якорные устройства, система гибких связей, соединяющая платформу и якорные устройства.

Конструкция по физической сущности представляет ponton, постоянно размещенный на воде, имеющий возможность изменять глубину погружения. Для того чтобы натянуть связи, ponton притапливают на некоторую глубину, выбирают слабину связей с помощью натяжного устройства типа лебедок, а затем увеличивают плавучесть pontona, откачивая балластную воду из отсеков pontona. В результате связи оказываются натянутыми до расчетного значения идерживают платформу в необходимом положении. Соответственно значению наибольшего усилия натяжения связей рассчитывается идерживающая сила якорей.

Схему обычно применяют на малых глубинах и, что очень важно, на водоемах, где высота волны не достигает верхней части pontona, на которой размещается технологическое оборудование.

Наиболее подходящим типом платформы, используемой для установки на ней опоры, в условиях размещения в зонах разливов рек является платформа, закрепленная с помощью винтовых свай. Итоговая конструкция будет представлять собой три сваи, на которых будет закреплена металлическая платформа. На платформе закрепляется временная опора. Для обеспечения безопасности платформа будет закреплена на высоте метра над уровнем воды.

Для экономии материалов, используемых для

возведения платформы, принято решение выполнить платформу треугольной формы. Исходя из размеров опоры, с целью обеспечения комфортных условий для работников при выполнении монтажа опоры был разработан проект платформы (рис. 2). Платформа будет установлена на трех сваях – по числу опорных

плит бесфундаментной опоры АО НПП «Алтик». Для обеспечения большей надежности несущие балки будут образовывать основание в форме равнобедренного треугольника (углами основания будут являться сваи). Из вершины на противоположную сторону будет также закреплена балка.

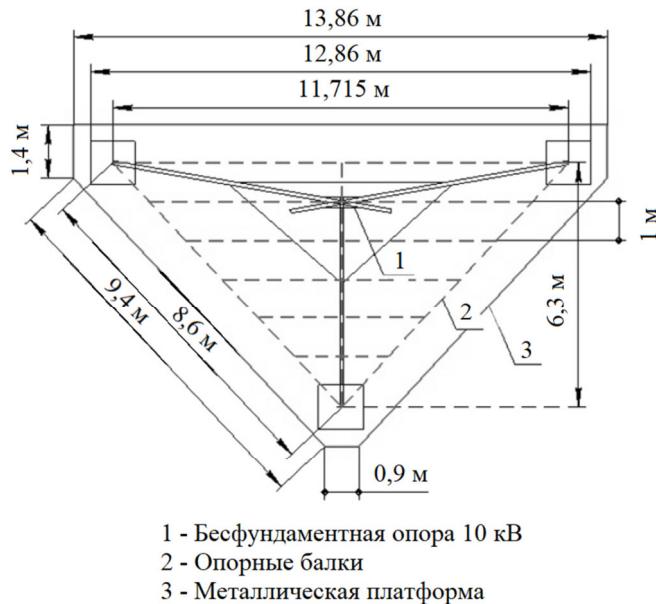


Рис. 2. Проект платформы для бесфундаментной опоры АО НПП «Алтик» (вид сверху)

Fig. 2. The design of the platform for the unobtrusive support Altik JS SIE (top view)

Для обеспечения доступа персонала к опорам в состав конструкции входит настил. Расчетная площадь поверхности, которая будет покрыта металлическими настилами, равна 71 м^2 .

Методика выбора настила для платформы

Для покрытия будут использоваться прессованные стальные настилы (рис. 3), которые применяют при строительстве различных сооружений. По-

верхность настилов имеет цинковое покрытие, которое обеспечивает защиту изделия от коррозии, что очень важно при их установке в непосредственной близости от воды. Настилы представляют собой соединенные поперечно полосы, формирующие ребра жесткости, образующие при этом решетчатую структуру. Благодаря решетчатой структуре не создаются условия для скопления влаги и грязи.

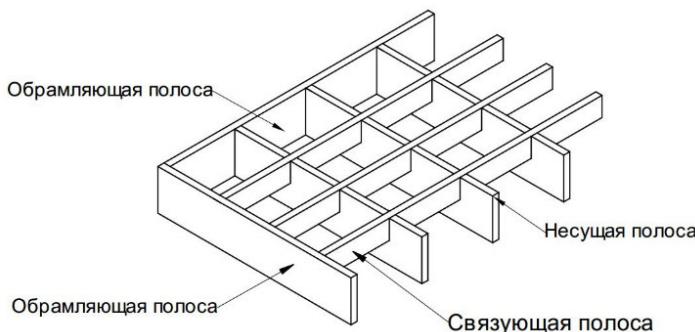


Рис. 3. Конструкция стального настила

Fig. 3. Steel flooring construction

Размеры несущих полос в данном настиле: высота – 30 мм, толщина – 2 мм. Размеры выбраны согласно рекомендациям заводов-изготовителей. Расстояние между опорами принимаем равным 1 м.

В соответствии с данными, указанными заводом-изготовителем, для настила с несущими полосами размером 30 × 2 мм рекомендуется выбрать ячейки в настиле размером 33 × 11 или 33 × 33 мм. Для построения платформы будет использоваться настил с ячейками размером 33 × 33 мм, т. к. данный размер ячеек в настиле допустим для передвижения по нему оперативного персонала; этот настил легче в 1,46 раз, масса 1 м² равна 22,1 кг. Исходя из данных, указанных выше, общая масса настила равна 1 569,1 кг.

Методика расчета балок для платформы

Выполним расчет нагрузок и определим размер балок, выбрав сечение двутавр. При расчете нагрузок будем учитывать, что для установки опоры необходимо 5 человек. Массу 5-и человек с учетом спецодежды и инструментов примем равной 500 кг. Марка стали, из которой выполняется балка, – С235 с расчетным сопротивлением $R = 2\ 100 \text{ кг/см}^2$, $E = 2\ 100\ 000 \text{ кг/см}^2$, $\gamma_c = 1$.

Рассчитаем распределенную нагрузку для балки:

$$q_{pl} = \frac{(m_{настил} + m_{персон} + m_{опоры})g}{L},$$

где $m_{настил}$ – масса настила, закрепленного на платформе, кг; $m_{персон}$ – масса оперативного персонала (рассматривается самый тяжелый случай, когда весь оперативный персонал встанет на одну балку); $m_{опоры}$ – масса опоры в собранном виде; L – длина балки, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Выполним расчет максимального момента M_{max} и максимальную поперечную силу Q_{max} :

$$M_{max} = \frac{q_p \cdot 0,001L^2}{8};$$

$$Q_{max} = \frac{q_p L}{2}.$$

Следующим этапом расчета балки является расчет момента сопротивления:

$$W_{tp} = \frac{M_{max}}{1,12R}.$$

Затем выполним расчет момента инерции:

$$I_{tp} = \frac{M_{max} \cdot 10^2 \cdot L \cdot 10^2}{10Ef_{ult}},$$

где f_{ult} – предельный прогиб, принимается по таб-

лице 19 из СНиП 2.01.07-85 по размеру пролета.

В соответствии с W_{tp} и I_{tp} из таблицы 1 ГОСТ 8239-89 подбираем номер двутавра для металлической балки.

Сосредоточенную нагрузку для балки представим как сумму массы одного человека и 1 м² настила, а также дополнительный запас в 25 % от суммы. Полученная масса равна 152 кг.

На основании имеющихся данных рассчитаем максимальный момент и максимальную поперечную силу:

$$M_{max\ c} = \frac{F_c \cdot 0,001L}{4};$$

$$Q_{max\ c} = \frac{F_c}{2},$$

где F_c – сосредоточенная нагрузка на балку, кг.

Следующим этапом расчета балки является расчет момента сопротивления:

$$W_{tpc} = \frac{M_{max\ c}}{1,12R}.$$

Выполним расчет момента инерции:

$$I_{tpc} = \frac{F_c L^2 \cdot 100^2}{48Ef_{ult}}.$$

В соответствии с W_{tpc} и I_{tpc} из таблицы 1 ГОСТ 8239-89 подбираем номер двутавра для металлической балки. Затем сравниваем размеры балок, полученных для распределенной и для сосредоточенной нагрузки, и выбираем больший размер. Затем подобные расчеты выполняем для каждой балки, используемой при построении платформы.

Методика расчета нагрузки на винтовые сваи

Для определения типа свай, используемых для установки платформы, рассчитаем величину нагрузки, которая распределена между тремя опорами. Суммарная масса всех элементов платформы, расположенных на трех сваях, без учета массы опоры:

$$N_{сумм} = N_{персон} + N_{балок}.$$

где $N_{персон}$ – нагрузка от рабочего персонала, кг; $N_{балок}$ – суммарная нагрузка от балок, кг.

Нагрузка от опоры на каждую сваю:

$$N_{опор} = \frac{m_{опор}}{3} \sin_n \varphi,$$

где $m_{опор}$ – масса опоры, кг; $\sin_n \varphi$ – синус угла между стойкой опоры и горизонтом.

Определим усилия в каждой свае:

$$N_n = \frac{N_{\text{сумм}}}{3} + N_{\text{опн}}.$$

Схема распределения нагрузки на каждой свае представлена на рис. 4.

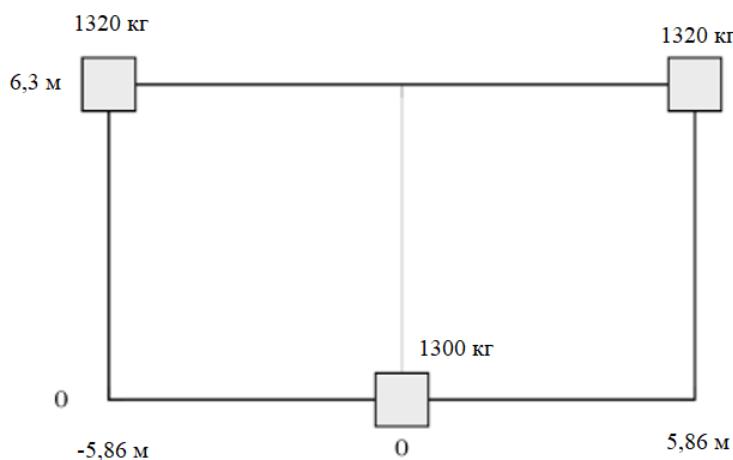


Рис. 4. Схема распределения нагрузки на сваях

Fig. 4. Load distribution scheme on piles

Разработка плавучей платформы для перемещения элементов

Для возведения платформы с опорой на месте установки необходимо транспортировать все элементы конструкции (металлический настил, балки, сваи, опору в сложенном виде, лебедки для перемещения платформы) и персонал, который будет выполнять монтаж (5 человек), до места назначения.

Для перемещения используем плавучую платформу, выполненную из металлического каркаса и поплавков. Необходимые размеры плавучей платформы составляют 12 м в длину и 4 м в ширину. Длина платформы определяется длиной самой длинной металлической балки (11,715 м). Ширина в 4 м выбрана исходя из необходимости удобного размещения персонала, элементов платформы и лебедки.

На данный момент в российском сегменте производства плавучих платформ (металлическая рама и поплавки) представлено несколько компаний: YPonton, ООО «ПК «Ротомо», группа компаний «Матлайн» и др.

В результате проведенного анализа рынка была выбрана металлическая основа с поплавками фирмы «Ротомо». В каталоге указаны готовые металлические основы с поплавками, из которых можно собрать единую конструкцию (рис. 5).

Для плавучей платформы основы будут собраны в 3 ряда по 4 штуки. Тогда суммарная площадь составит 48 м² (ширина – 4 м, длина – 12 м). При данных габаритах останется свободное пространство, необходимое для размещения оперативного персонала, элементов платформы, а также для установки лебедки.

Golovko S. V., Kushner G. A., Urazgaliev D. D., Nenastyev E. A., Bulgakov V. P. Development of a floating foundation-free power line support project



Рис. 5. Металлическая основа с поплавками фирмы «Ротомо»

Fig. 5. Metal base with Rotomo floats

Выбор лебедки для перемещения плавучей платформы

Для перемещения плавучей платформы по разливам рек используется лебедка. Через барабан лебедки пропущен стальной трос, который будет натянут с двух сторон, образуя прямую линию, вдоль которой плавучая платформа будет иметь возможность перемещаться. Для перемещения полностью нагруженной плавучей платформы была выбрана бензиновая лебедка отечественного производства Malien.

Выбор лебедки по тяговому усилию осуществлялся исходя из соотношения

$$F_{\text{тяг}} \geq N k_{\text{тг}},$$

где N – суммарная масса объекта, который пере-

мешается лебедкой; k_{tt} – коэффициент, учитывающий момент трогания и коэффициент трения (при перемещении по воде = 1,2).

Под данные требования для перемещения плавучей платформы со всеми элементами подойдет лебедка с тяговым усилием, превышающим 8 100 кг.

Расчет повышения надежности

В соответствии с методикой расчета [9], применение предлагаемого сооружения увеличит надежность энергосистемы за счет сокращения времени восстановления. Снижение времени восстановления приводит к снижению коэффициента вынужденного простоя энергосистемы – одного из критериев надежности:

$$K_{nc} = wt,$$

где w – поток отказа; t – время восстановления.

Предварительно благодаря применению пред-

лагаемого сооружения время восстановления сократится с 3–4-х дней до 1-го дня. Следовательно, коэффициент вынужденного простоя энергосистемы уменьшится в 3–4 раза.

Заключение

В работе представлены этапы и методики разработки конструкций для проекта плавучей опоры линии электропередач, предназначенной для перемещения и временной установки в областях разливов рек в случаях обрушения основных опор.

Использование данных платформ позволит повысить надежность системы энергообеспечения для удаленных районов, сократить время ремонта и улучшить качество жизни потребителей в случае поломки опор ВЛЭП, а также минимизировать материальные потери компаний, осуществляющей передачу электроэнергии.

Список источников

1. Анисимова Л. А. Гидрологические ограничения природопользования на участках речных долин // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 6. С. 40–45.
2. Кожагелди Б. Ж. Сравнительный анализ железобетонных опор с композитными опорами ЛЭП // Вестн. Казах. акад. трансп. и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 1. С. 28–34.
3. Зайцев К. А., Ратушняк В. Р. Анализ применяемых материалов для возведения опор ЛЭП // Сб. докл. VI Междунар. студен. строит. форума (Белгород, 26 ноября 2021 г.). Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2021. С. 156–161.
4. Бадалян Н. П., Колесник Г. П., Андрианов Д. П., Чебрякова Ю. С. Кабельные и воздушные линии электропередачи: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019. 260 с.
5. Опора аварийного резерва 10 кВ. URL: <https://altik.su/produktsiya/elektroenergetika/opory-10-kv> (дата обращения: 28.03.2025).
6. Байкасов Д. К., Сулеев М. А., Митрофанов С. В. Сравнение технических характеристик различных типов опор линий электропередач // Вестн. молодеж. науки. 2017. № 1 (12). С. 15.
7. Виды плавучих платформ. Самоподъемная плавучая платформа. URL: <https://proofoil.ru/Seaoilproduction/sweemplatform2.html/> (дата обращения: 01.04.2025).
8. Виды плавучих платформ. Платформа со стабилизирующими колоннами. URL: <https://proofoil.ru/Seaoilproduction/sweemplatform6.html/> (дата обращения: 02.04.2025).
9. Савина Н. В. Надежность систем электроэнергетики: учеб. пособие. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2011. 268 с.

References

1. Anisimova L. A. Gidrologicheskie ograniceniia prirodopol'zovaniia na uchastkakh rechnykh dolin [Hydrological restrictions on environmental management in river valley areas]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seria 5. Geografia*, 2009, no. 6, pp. 40–45.
2. Kozhageldi B. Zh. Sravnitel'nyi analiz zhelezobetonnykh opor s kompozitnymi oporami LEP [Comparative analysis of reinforced concrete supports with composite power transmission towers]. *Vestnik Kazakhskoi akademii transporta i kommunikatsii imeni M. Tynyshpaeva*, 2017, no. 1, pp. 28–34.
3. Zaitsev K. A., Ratushniak V. R. Analiz primeniamykh materialov dlja vozvedenija opor LEP [Analysis of the materials used for the construction of power transmission towers]. *Sbornik dokladov VI Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma (Belgorod, 26 noiabria 2021 g.)*. Belgorod, Izd-vo BGU imeni V. G. Shukhova, 2021. Pp. 156–161.
4. Badalian N. P., Kolesnik G. P., Andrianov D. P., Chebriakova Iu. S. *Kabel'nye i vozdushnye linii elektroperedachi: uchebnoe posobie* [Cable and overhead power transmission lines: a study guide]. Vladimir, Izd-vo VlGU, 2019. 260 p.
5. Opora avariinogo rezerva 10 kV [10 kV emergency reserve support]. Available at: <https://altik.su/produktsiya/elektroenergetika/opory-10-kv> (accessed: 28.03.2025).
6. Baikasenov D. K., Suleev M. A., Mitrofanov S. V. Sravnenie tekhnicheskikh kharakteristik razlichnykh tipov opor linii elektroperedach [Comparison of technical characteristics of different types of poles of electric transmission lines]. *Vestnik molodezhnoi nauki*, 2017, no. 1 (12), p. 15.
7. Vidy plavuchikh platform. Samopod'emmnaia plavuchaya platforma [Types of floating platforms. Self-lifting floating platform]. Available at: <https://proofoil.ru/Seaoilproduction/sweemplatform2.html/> (accessed: 01.04.2025).
8. Vidy plavuchikh platform. Platforma so stabiliziruyushchimi kolonnami [Types of floating platforms. Platform with stabilizing columns]. Available at: <https://proofoil.ru/Seaoilproduction/sweemplatform6.html/> (accessed: 02.04.2025).

proofoil.ru/Seaoilproduction/sweemplatform6.html/ (accessed: 02.04.2025).

9. Savina N. V. *Nadezhnost' sistem elektroenergetiki:*

uchebnoe posobie [Reliability of electric power industry systems: a textbook]. Blagoveshchensk, Izd-vo AmGU, 2011. 268 p.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; одобрена после рецензирования 03.07.2025; принята к публикации 14.08.2025
The article was submitted 28.04.2025; approved after reviewing 03.07.2025; accepted for publication 14.08.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Владимирович Головко – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; g_s_v_2007@mail.ru

Гурий Алексеевич Кушнер – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; guriy.kushner@mail.ru

Дияр Датович Уразгалиев – магистр; Астраханский государственный технический университет; sah4rdu@gmail.com

Егор Александрович Ненастьев – магистр; Астраханский государственный технический университет; nenastev99@mail.ru

Владимир Павлович Булгаков – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; secmt@astu.org

Sergey V. Golovko – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Ship Electrical Equipment and Ship Automation; Astrakhan State Technical University; g_s_v_2007@mail.ru

Guriy A. Kushner – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Ship Electrical Equipment and Ship Automation; Astrakhan State Technical University; guriy.kushner@mail.ru

Diyar D. Urazgaliev – Master; Astrakhan State Technical University; sah4rdu@gmail.com

Egor A. Nenastev – Master; Astrakhan State Technical University; nenastev99@mail.ru

Vladimir P. Bulgakov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; Astrakhan State Technical University; secmt@astu.org

