

9. Kulnev, V., and S. Michailov. "Analiz napravlenij i sostojanija razrabotok funkcionalnyh dopolnenij k sputnikovym radionavigacionnym sistemam." *Wireless Technologies* 4 (2006): 61–69
10. Russian Federation. Government resolution № 587. 20 August 2001. O Federalnoj celevoj programme po ispolzovaniju globalnoj navigacionnoj sputnikovoj sistemy GLONASS v interesah grazhdanskih polzovatelej. M.: Mintrans, 2001.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каретников Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Пащенко Иван Владимирович — кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
ivanpashchenko@rambler.ru
Соколов Андрей Игоревич — аспирант.
Научный руководитель:
Каретников Владимир Владимирович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
sokolov.ai@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Karetnikov Vladimir Vladimirovich — Dr. of Technical Science, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Pashchenko Ivan Vladimirovich — PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
ivanpashchenko@rambler.ru
Sokolov Andrei Igorevich — postgraduate.
Supervisor:
Karetnikov Vladimir Vladimirovich.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
sokolov.ai@bk.ru

УДК 621.12.001

**В. В. Романовский,
М. А. Сюбаев,
И. М. Болвашенков**

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В статье рассматриваются вопросы определения параметров электрических машин используемых в настоящее время в гребных электрических установках судов ледового плавания и ледоколов. Как известно, основными аргументами в пользу применения повышенного напряжения (до 11 кВ) являются повышение единичной мощности электрических машин, уменьшение сечения проводов, повышение КПД всей установки и др. Однако использование классических методов анализа заданных конструкторскими решениями параметров электрических машин для мощностного ряда гребных электрических установок ледоколов позволило разработать конкретные рекомендации для выбора электрических машин переменного тока. Показана взаимосвязь электрических параметров главных электрических машин для наиболее эффективной работы в эксплуатационных режимах. Приведены конкретные рекомендации для судовладельцев, такие как необходимость представления обоснованных расчетов главных электрических машин, соответствующих различным напряжениям, экспериментальные материалы по определению их КПД, выбор частоты питающего напряжения и преобразователей гребной электроустановки.

Ключевые слова: гребные электрические установки, электрические машины, ледоколы

РЕШЕНИЕ задач строительства и модернизации гребных электрических установок (ГЭУ) уже начато, при этом проявляется явная тенденция применения электрических машин (ЭМ) с повышенными (более 1 кВ) паспортными значениями напряжения якорей (U). На судах ледового плавания и ледоколах применяются различного рода гребные электрические

установки [1] – [6]. При этом используются винторулевые колонки как электрического типа, так и механические [7], [8].

Основным аргументом в пользу применения повышенного U (до 11 кВ) напряжения являются: повышение единичной мощности ЭМ, уменьшение сечения проводов, повышение КПД всей установки и др. Для главных электрических машин ГЭУ среднее напряжение (от 1 кВ) приводит к уменьшению электрических потерь ЭМ (p_3), что не требует особого доказательства [9]. Однако необходимо отметить, что Правилами морского Регистра судоходства (Правила РМРС) совершенно обоснованно предусмотрены дополнительные требования к судовому электрооборудованию (в том числе ЭМ ГЭУ) на напряжение выше 1000 В, которые явно повышают как первоначальную стоимость ГЭУ, так и соответствующие эксплуатационные затраты. Последние будут проявляться в течение длительного (не менее 25 лет) срока службы ГЭУ.

При выборе напряжения главных генераторов (ГГ) и гребных электродвигателей (ГЭД) наряду с p_3 нужно учитывать влияние выбора уровня напряжения U на массогабаритные показатели ЭМ и их КПД. Якорные обмотки синхронных и асинхронных ЭМ по принципу построения и теории одинаковы. Поэтому рассмотрение этого вопроса далее проводится на примере синхронных ЭМ ГЭУ, поскольку основные выводы могут использоваться как к синхронным, так и к асинхронным ЭМ. Массогабаритные показатели синхронных машин (СМ) во многом определяются объемом активного ядра магнитопровода, т. е. диаметром расточки активной стали D и ее расчетной длиной l_σ . Классическими методами проектирования СМ величина D определяется по графикам, построенным на основе опыта строительства ЭМ, в зависимости от расчетной мощности СМ и числа полюсов. Число полюсов $2p$ определяется синхронной частотой вращения СМ (n).

При выбранных значениях n и D величина l_σ определяется выражением

$$l_\sigma = \frac{6,1 \cdot S_{\text{н}}}{\alpha_\sigma k_D k_1 A B_\delta D^2 n}, \quad (1)$$

где $S_{\text{н}}$ — расчетная номинальная электромагнитная мощность СМ; α_σ — расчетный коэффициент полюсного перекрытия; k_Φ — коэффициент формы поля; k_1 — обмоточный коэффициент; A — линейная нагрузка якоря; B_δ — значение магнитной индукции в воздушном зазоре при номинальной нагрузке СМ.

Проведенные для СМ различной мощности расчеты показали, что влияние повышения величины напряжения U на массу СМ незначительно, причем при повышенном значении U масса ЭМ может быть даже несколько больше. При уменьшении тока фазы якоря СМ (при повышенном значении напряжения) сечение проводников секций якоря можно снижать, за счет чего и достигается уменьшение массы проводников (т. е. меди или алюминия). Кроме того, при этом в случае сохранения постоянства коэффициента заполнения паза (что часто практикуется) уменьшается и объем магнитопровода пазовой зоны. Однако на массогабаритные показатели ЭМ в целом это не оказывает значимого влияния. Так, например, по расчетам, проведенным для СГЭД мощностью 2 МВт и $n = 150$ об/м при напряжениях 650 В и 3 кВ, массы соответственно были равны 9,54 и 9,8 т. Эти результаты подтверждаются и каталожными данными. Так, например, масса СМ типа СБГД мощностью 6,3 МВт при $U = 6,3$ кВ равна 27,7 т, а при $U = 10,5$ кВ — 28 т. Таким образом, повышение напряжения ЭМ практически не дает выигрыша по массогабаритным показателям.

По влиянию выбора U на КПД СМ можно отметить следующее. КПД СМ, как известно, определяется соотношением полезной и полной мощностей, которая рассчитывается с учетом всех потерь. В СМ суммарные потери P_Σ определяются соотношением

$$P_\Sigma = P_3 + P_c + P_{\text{мех}} + P_{\text{в}} + P_{\text{д}}, \quad (2)$$

где P_3 — электрические потери в меди или алюминии обмотки якоря, пропорциональные квадрату тока якоря, т. е. $P_3 \sim I^2$; P_c — потери в стали СМ, которые определяются соотношением

$$P_c = k p_{\text{уд}} \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} B^2 G, \quad (3)$$

где k — опытный коэффициент, зависящий от обработки стали; $P_{уд}$ — удельные потери в стали; f — частота перемагничивания стали; G — масса активного ядра магнитопровода; B — магнитная индукция якоря; $P_{мех}$ — механические потери; $P_{в}$ — потери на возбуждение СМ; $P_{д}$ — добавочные потери (электрические, в стали, механические).

Потери в стали, при постоянстве расчетного значения частоты f , которая принимается равной номинальной частоте по паспорту СМ, пропорциональны квадрату индукции, т. е. $p_c \sim B^2$, т. е. влияние магнитной индукции на КПД велико. Механические потери в СМ определяются потерями на трение (в подшипниках, трение вращающихся элементов конструкции СМ о воздух, трение в щеточных контактах). Все составляющие основных механических потерь определяются расчетным путем (каждый своим методом), причем все эти методы являются сравнительно приближенными. Поэтому при расчетах значение $P_{мех}$ принимается эмпирическим путем. Практического влияния напряжение U СМ на механические потери при одних и тех же основных паспортных данных СМ (т. е. мощности и частоты вращения) нет, поэтому необходимости дополнительное рассмотрение роли $P_{мех}$ в данном случае нет. Потери на возбуждение определяются так же, как и потери $P_{с}$. Дополнительные потери (которые не могут быть учтены при расчете основных потерь) обусловлены колебаниями элементов линии вала СМ, пульсациями поля, неравномерностью распределения плотности тока по сечению токопроводящих элементов и т. д. Расчет $P_{доп}$ сравнительно сложен, весьма приближенный и поэтому принимается эмпирическим путем в пределах 1 % от паспортной мощности. Поэтому влияние $P_{доп}$ в рассматриваемом случае мало.

В данном случае решающими являются потери электрические $P_{с}$ и потери в стали якоря $P_{с}$, поэтому их влияние на КПД СМ и в экономическом плане целесообразно рассмотреть. При повышении напряжения ток якоря уменьшается, соответственно (по квадратичной зависимости от тока) уменьшается величина $P_{с}$. Следовательно, это приводит к повышению КПД. Это ясно и очевидно. Что касается потерь в стали $P_{с}$, этот вопрос обстоит несколько сложнее. ЭДС фазы якоря СМ определяется выражением

$$E_1 = 4,44 \cdot k_1 \cdot w_1 \cdot f_1 \Phi, \quad (4)$$

где k_1 — обмоточный коэффициент; w_1 — число последовательно соединенных витков фазы якоря; Φ — магнитный поток, пропорциональный магнитной индукции B .

Практически ЭДС фазы $E_1 = (0,95 \div 0,97) \cdot U_{\phi}$, т. е. значение ЭДС E_1 близко к значению напряжения U_{ϕ} . Повышению значения напряжения СМ U , и напряжения U_{ϕ} соответствует повышение E_1 . Указанное может быть достигнуто соответствующим изменением числа витков w_1 и Φ (магнитной индукции B в случае сохранения постоянства размеров активного ядра магнитопровода машины). Напомним при этом, что при повышении напряжения СМ ток фазы понижается. Таким образом, при повышении напряжения СМ требуется повышение величины w_1 . При сохранении размеров активного ядра СМ можно дополнительно увеличить величину магнитной индукции (B). Последнее приводит к повышению потерь в стали (пропорциональных квадрату B). Обычно в связи с этим величина B не превышает по этой причине 1,9 Тл.

Повышение значения магнитной индукции приводит также к повышению потерь на возбуждение. При этом весьма существенно проявляется (неблагоприятно) нелинейность характеристики намагничивания СМ. Принципиально можно получить необходимую ЭДС E_1 без повышения значения B , но это возможно при заметном увеличении числа витков w_1 , соответственно повышению индуктивности фазы (зависимость квадратичная) и, что важно, повышению расхода меди обмотки. Отметим при этом, что расход меди является фактором, определяющим, в основном, себестоимость машины.

Проведенные для синхронного ГЭД мощностью 3 МВт расчеты показали, что при номинальном напряжении 6,6 кВ по сравнению с 600 В КПД ГЭД получается примерно на 2 % выше. Если величину индукции не повышать вообще, можно получить повышение КПД даже до 3 – 4 % (увеличенном w_1). Но если уровень магнитной индукции не повышать, расход меди увеличивается. Проведенные расчеты для синхронных ГЭД мощностью 1, 2 и 3 МВт при частоте вращения

$n = 150$ об/м показали, что даже при сохранении значения B и повышении напряжения от 650 В до 3 кВ (увеличивая лишь w_1) расход меди может быть уменьшен почти в три раза. Таким образом, применение повышенного напряжения электромашин ГЭУ может существенно уменьшить их себестоимость за счет уменьшения расхода меди. Расход меди уменьшается, если при этом уровень магнитной индукции будет повышен, но это повлечет снижение КПД ЭМ.

Исходя из сказанного, можно сделать выводы.

Применение повышенного напряжения главных электромашин ГЭУ может привести к существенному снижению их себестоимости за счет экономии меди якорных обмоток ЭМ. Производителю ЭМ это явно выгодно. Что касается интересов судовладельца, то выгода от использования повышенного напряжения не настолько очевидна. Применение повышенного напряжения ЭМ ГЭУ дает в лучшем случае повышение КПД ЭМ на 2 – 3 %. Если же учесть, что КПД СМ составляет более 90 % и значительную приближенность методов расчета потерь ЭМ, т. е. основания полагать, что эффект будет даже менее значимый. Если при этом иметь в виду дизель-генератор ГЭУ переменного тока, то у него КПД вообще составляет 25 – 30 %. В этом случае эффект указанного повышения КПД вообще сглаживается и это при необходимости четкого выполнения указанных дополнительных требований РМРС.

При использовании частотно-регулируемой гребной электрической установки гребные синхронные двигатели наиболее эффективны [10], что показал опыт эксплуатации атомных ледоколов типа «Таймыр» [11]. Классическими методами проектирования синхронных машин предусматривается определение диаметра расточки D в зависимости от расчетной мощности, определяемой номинальной мощностью в данном случае ГЭД и числа полюсов $2p$. При этом число полюсов $2p$ определяется известным выражением $p = 60f/n$, т. е. в зависимости от частоты f питающего ГЭД напряжения U . Таким образом, при заданном значении частоты вращения ГЭД, т. е. величины n , количество полюсов ГЭД определяется выбранным значением частоты f . При этом необходимо отметить одно обстоятельство, вытекающее по ряду обстоятельств из опыта проектирования машин переменного тока и заключающееся в том, что диаметр расточки ядра D существенно снижается по мере уменьшения числа p , а следовательно, и f . Так, например, для синхронного ГЭД мощностью 2 кВ·А соотношение диаметров при шести- и восьмиполюсном исполнении может быть равно $D_6/D_8 = 0,83$.

Таким образом, при уменьшении выбранного значения f соответственно изменяются величина диаметра расточки D и число полюсов $2p$. Величина внешнего диаметра магнитопровода статора D_c , в свою очередь, определяется выражением $D_c = k_q \cdot D$, где коэффициент k_q является функцией числа полюсов. Коэффициент k_q выбирается по таблицам, составленным по опыту проектирования машин переменного тока. При выбранных значениях n и D расчетная длина активной стали l_δ определяется выражением

$$l_\delta = \frac{6,1 \cdot S_n}{\alpha_\delta k_\phi k_1 AB_\delta D^2 n}, \quad (5)$$

где S_n — расчетная электромагнитная мощность ГЭД; α_δ — расчетный коэффициент полюсного перекрытия; k_ϕ — коэффициент формы поля; k_1 — обмоточный коэффициент якоря ГЭД; A — линейная нагрузка якоря; B_δ — значение магнитной индукции в зазоре ГЭД при номинальной нагрузке.

Для численной оценки влияния выбора f на основные массогабаритные показатели синхронного ГЭД мощностью 2 МВт, частотой вращения 130 об/мин, напряжением 800 В проведены соответствующие расчеты, результаты которых приведены в таблице.

Параметры синхронного ГЭД при заданных частотах питающего напряжения

f , Гц	15	20	25	30	35	40
D , м	2,04	2,4	2,5	2,66	3	3,5
Полная длина статора, м	3,7	3,2	3,1	3	2,9	2,8
Полная масса ГЭД, т	65,6	62,6	62,5	61,6	62,2	64

Как видно из приведенной таблицы, выбор значения частоты (в пределах рабочих характеристик) не имеет решающего значения для уровня основных массогабаритных показателей синхронного ГЭД. Зависимости полной массы синхронного ГЭД и соответственно его габаритных размеров от частоты напряжения питания ГЭД существенно нелинейны, и их минимальные, наилучшие значения для каждой машины могут быть своими.

По выбору значения частоты напряжения якоря ГЭД могут быть сформулированы следующие основания. Известно, что при частотном регулировании ГЭД переменного тока возможно применение двух видов преобразователей частоты (ПЧ), питающих якорную обмотку: непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) и преобразователей частоты со звеном постоянного тока. Основными достоинствами по сравнению с ПЧ со звеном постоянного тока НПЧ являются:

- однократное преобразование энергии;
- более простое схемное решение и меньший состав основной элементной базы.

В результате этого НПЧ могут быть надежнее, дешевле и проще в эксплуатации.

Необходимо особо отметить, что у НПЧ есть один, наиболее существенный недостаток, заключающийся в том, что максимальное значение частоты на выходе НПЧ равно около 23 Гц при стандартной входной частоте 50 Гц. В ПЧ со звеном постоянного тока применяется двукратное преобразование энергии, вследствие чего, хоть и в незначительной мере (около 0,5 %) снижается КПД ПЧ. Но в ПЧ со звеном постоянного тока при частоте входного питающего напряжения $f_{\text{пит}}$, равной 50 Гц, можно получить частоту выходного напряжения $f_{\text{вых}} = 50$ Гц. Вследствие этого в этом случае можно применять ГЭД с паспортной общепромышленной частотой 50 Гц. С учетом указанного, необходимо сопоставление двух вариантов ГЭД: с паспортными значениями частоты 50 Гц и около 20 Гц и при одинаковых значениях напряжения U .

ЭДС якоря определяется соотношением

$$E = k \cdot w \cdot f \cdot \Phi, \quad (6)$$

где k — постоянный коэффициент; w — число последовательно соединенных витков фазной обмотки; Φ — магнитный поток при соответствующем значении магнитной индукции (B).

С точностью, допустимой для инженерных расчетов, величина ЭДС может быть принята равной питающему напряжению, т. е. $E \approx U$. Следовательно, если величину частоты f принять равной 20 Гц (при применении НПЧ), т. е. уменьшенной, сохранение значения E может быть выполнено соответствующим увеличением числа витков w или магнитного потока Φ (магнитной индукции B), или их совместным увеличением. Увеличение числа витков w приведет к повышению расхода меди, необходимой для обмотки якоря. Отметим при этом, что именно стоимость меди, в основном, определяет первоначальную стоимость машины в целом. Совершенно очевидно, что производитель электромашин не заинтересован решить этот вопрос таким путем.

Применение повышенного значения Φ , соответственно магнитной индукции B , приводит к возрастанию потерь на возбуждение и потерь в стали магнитопровода p_c . С учетом нелинейности характеристики намагничивания, а также условия, что $p_c \sim B^2$, потери в стали, как показывают расчеты, могут возрасти весьма существенно, заметно снижая КПД машины в целом. Последние факторы будут затрагивать в большей мере интересы судовладельца, использующего ГЭД в течение длительного времени. Окончательное заключение по этому вопросу может быть сделано на основе результатов расчетов. Проведенные с целью численной оценки влияния этого фактора расчеты синхронных ГЭД с номинальными мощностями 3 МВт, 1,55 МВт, 1,17 МВт, соответствующими ГЭД современных ледоколов на номинальные частоты 20 Гц и 50 Гц, показали, что при номинальной частоте $f_{\text{пит}} = 50$ Гц и определенном выборе размеров активного ядра магнитопровода синхронного ГЭД можно получить повышение КПД ГЭД в среднем на 1,5 %. Таким образом, при применении ПЧ со звеном постоянного тока и соответственно принимая значение номинальной частоты питающего напряжения равной 50 Гц, можно получить общее КПД ГЭУ даже несколько выше, чем при применении НПЧ. Как уже указывалось, некоторый выигрыш может быть получен и по массогабаритным показателям. Наряду с этим нужно отметить, что частотно-регулируемые судовые электроприводы с НПЧ применяются сравнительно широко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа параметров главных электрических машин переменного тока гребных электрических установок показывают:

- заказчику (судовладельцу) гребной электрической установки должны быть представлены расчеты главных электрических машин, соответствующих различным напряжениям, причем при одинаковых паспортных данных ЭМ потери, определяемые эмпирически, должны быть приняты равными;
- при возможности должны быть рассмотрены и сопоставлены экспериментальные материалы по определению КПД ЭМ;
- применение электромашин ГЭУ с напряжением якорей выше 1 кВ должно обосновываться с учетом эксплуатационных показателей, а не стоимостных;
- при выборе преобразователей частоты целесообразно исходить из общей структуры гребной электроустановки и требований к качеству электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Possible ways to improve the efficiency and competitiveness of modern ships with electric propulsion systems / I. Bolvashenkov, H. G. Herzog, A. Rubinraut, V. Romanovskiy // Vehicle Power and Propulsion conference (VPPC), 2014 IEEE. — IEEE, 2014. — Pp. 1–9.
2. Promising ships propulsion systems with electric motion and steering gondolas / I. Bolvashenkov, H. G. Herzog, A. Rubinraut, V. Romanovskiy // Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2014 Ninth International Conference on. — IEEE, 2014. — Pp. 1–4.
3. Суда спасатели: новые подходы к концепции создания / Д. Гармаш, Т. Наумова, М. Темкин, П. Маргулев // Морской флот. — 2014. — № 5. — С. 36–45.
4. Использование гибридных установок для судов с широким диапазоном условий работы // Ship and Offshore. Выпуск для России. — 2015. — С. 12–13.
5. Романовский В. В. Электрооборудование морских буровых установок / В. В. Романовский, В. Н. Куракин, А. В. Григорьев. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 165 с.
6. Лазаревский Н. А. Построение гребных электрических установок переменного тока без использования трансформаторов / А. Н. Лазаревский, В. А. Хомяк, И. В. Гагаринов // Судостроение. — 2012. — № 1. — С. 33–37.
7. Adnanes A. K. Maritime electrical installations and diesel electric propulsion / A. K. Adnanes. — ABB, 2003. — 110 p.
8. Романовский В. В. Маневренные характеристики системы электродвижения с винторулевыми колонками / В. В. Романовский, Д. А. Ткаченко // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 3. — С. 54–59.
9. Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. — СПб.: Питер, 2010. — 350 с.
10. Бакшанов А. А. К выбору гребных электродвигателей для ледоколов / А. А. Бакшанов, В. В. Романовский // Материалы науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со Дня рождения академика А. Н. Крылова. — СПб., 2013. — С. 116–122.
11. Быков А. С. Гребные электрические установки атомных ледоколов: учеб. пособие / А. С. Быков, В. В. Башаев, В. А. Малышев, В. В. Романовский. — СПб.: Элмор, 2004. — 320 с.

SELECTION BASIC DATA OF ELECTRICAL MACHINES FOR ELECTRICAL PROPULSION SYSTEMS

In article are considered data of electrical machines for electrical propulsion systems using now on ice ships and icebreakers.

It is known, that a basic arguments for using high-voltage (to 11 kV) namely is: high ordinary power of mains electrical machines for electrical propulsion systems, diminution gauge of wires, increasing of power factor and efficiency.

However, using of classic theory of electrical machines permit to analyse determine constructive decisions of electrical data for determine power numbers machines for ice ships and icebreakers. Now shows interconnected between different kinds characteristic of electrical parameters electrical machines for better used in exploitation.

Presented a concreteness reports for shipowners about rated power and voltage of mains electrical machines. And also materials about efficiency, frequency and convertors for electrical propulsion systems of ice ships and icebreakers.

Keywords: electrical propulsion system, electrical machines, icebreakers.

REFERENCES

1. Bolvashenkov Igor, H.G. Herzog, A. Rubinraut, and V. Romanovskiy. "Possible ways to improve the efficiency and competitiveness of modern ships with electric propulsion systems." *Vehicle Power and Propulsion conference (VPPC), 2014 IEEE*. IEEE, 2014: 1–9.
2. Bolvashenkov Igor, H.G. Herzog, A. Rubinraut, and V. Romanovskiy. "Promising ships propulsion systems with electric motion and steering gondolas." *Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2014 Ninth International Conference on*. IEEE, 2014: 1–4.
3. Garmash, D., T. Naumova, M. Temkin, and P. Martulev. "Suda spasateli: novye podhody k koncepcii sozdaniya." *Morskoy flot* 05 (2014): 36–45.
4. "Employment hybrid installations for universal ships." *Ship and Offshore. Publication for Russia* (2015): 12–13.
5. Romanovskiy, V. V., Kurakin V. N., and Grigoriev A. V. *Elektrooborudovanie morskikh burovykh ustanovok*. SPb.: Izdatelstvo GUMRF im. adm. S.O.Makarova, 2015.
6. Lazarevsky, N. A., V. A. Khomyak, and I. V. Gagarinov. "Creation of alternating-current electrical propulsion plants without transformers." *Sudostroenie* 1 (2012): 33–37.
7. Adnanes, Alf Kare. *Maritime electrical installations and diesel electric propulsion*. ABB, 2003.
8. Romanovskiy, V. V., and D. A. Tkachenko. "Maneuverable characteristics of system of electromovement with vintohelmsmen columns." *Jekspluatatsiya morskogo transporta* 3 (2011): 54–59.
9. Voldek, A. I., and V. V. Popov. *Jelektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka: uchebnik dlja VUZov*. SPb.: "Piter", 2010.
10. Bakshanov, A. A., and V. V. Romanovskiy. "K vyboru grebnykh jelektrodvigatelej dlja ledokolov / A. A. Bakshanov." *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 150-letiju so dnja rozhdenija akademika A.N.Krylova*. SPb., 2013: 116–122.
11. Bykov, A. S., V. V. Bashaev, V. A. Malyshev, and V. V. Romanovskiy. *Grebnye jelektricheskie ustanovki atomnykh ledokolov: uchebnoe posobie*. SPb.: «Jelmor», 2004.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Романовский Виктор Викторович — доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова» vromanovsky@mail.ru
Сюбаев Мирза Алимович — кандидат технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова» SubaevMA@gumrf.ru
Болвашенков Игорь Маркович — кандидат технических наук, доцент. Технический университет, г. Мюнхен (ФРГ) Abbat58@mail.ru

IFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Romanovskiy Viktor Viktorovich - Dr. of Technical science, professor. Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping vromanovsky@mail.ru
Sjubaev Mirza Alimovich - PhD, professor. Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping SubaevMA@gumrf.ru
Bolvashenkov Igor Markovich - PhD, associate professor. Technische Universitaet Muenchen Abbat58@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30 октября 2015 г.