УДК 621.311.62

В.М. Рулевский

Техническая реализация и алгоритмическое обеспечение системы электропитания удалённого потребителя электроэнергии

Представлены техническая реализация и алгоритмы управления системы электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты, обеспечивающие стабилизацию напряжения на нагрузке с требуемой точностью.

Ключевые слова: глубоководный аппарат, система электропитания, автономный инвертор напряжения, векторная широтно-импульсная модуляция.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-128-134

В настоящее время для выполнения научных, поисковых, спасательных и других видов работ при исследовании Мирового океана необходимы современные глубоководные аппараты, оснащенные различной научно-исследовательской аппаратурой. Для успешного функционирования такого оборудования на предельных глубинах, до 6000 м и более, требуется высоконадежная система электропитания (СЭП) мощностью несколько десятков киловатт, обеспечивающая стабилизацию выходного напряжения на нагрузке в заданных пределах при высоких удельных характеристиках. Выполнение достаточно жестких требований к стабилизации напряжения на нагрузке и техническому исполнению СЭП неразрывно связано с особенностями построения силового канала передачи энергии по кабель-тросу переменного трехфазного напряжения повышенной частоты [1–9].

Таким образом, основываясь на результатах работ автора, изложенных в публикациях [10–16], предложен пример технической реализации СЭП телеуправляемого необитаемого аппарата с передачей энергии на переменном токе частотой 1000 Гц и мощностью 47 кВт.

Основным функциональным узлом в СЭП глубоководного телеуправляемого необитаемого под-

водного аппарата (ТНПА) является полупроводниковый инвертор, алгоритмы работы которого в значительной степени определяют энергетические характеристики силовых элементов: трансформаторов, фильтров, кабель-троса. В СЭП ТНПА с передачей энергии по кабель-тросу на переменном трехфазном токе повышенной частоты целесообразно применять для управления транзисторными ключами автономного инвертора напряжения (АИН) векторную широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) с введением третьей гармоники [17–21].

Техническая реализация

Рассмотрим пример технической реализации СЭП глубоководного ТНПА с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты (рис. 1) [15, 16]. Система состоит из бортовой части (БЧ), подводной части (ПЧ) и кабель-троса, по которому энергия передается от БЧ в ПЧ СЭП.

В свою очередь, БЧ СЭП ТНПА состоит из шкафа питания (ШП), блока преобразователя (БП), блока коммутации (БК) и пульта дистанционного управления (ПДУ). Подводная часть СЭП ТНПА состоит из СЭП гаража-заглубителя (СЭП ГЗ) и системы, располагающейся непосредственно на борту ТНПА (СЭП ТНПА) [15, 16].

Рис. 1. Структурная схема СЭП ТНПА с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты:

ПДУ – пульт дистанционного управления; ШП – шкаф питания; БП – блок преобразователя; БК – блок коммутации;

СЭП ГЗ – система электропитания гаража заглубителя; СЭП ТНПА – система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата

Энергоснабжение СЭП ТНПА осуществляется от основной или резервной бортовой сети (корабельной сети) трехфазного напряжения 380 В частотой 50 Гц. БЧ СЭП обеспечивает на выходе трехфазное напряжение частотой 1000 Гц для подачи в кабель-трос с линейным напряжением, не превышающим 1500 В при максимальной нагрузке в ПЧ, равной 47 кВт; стабилизацию напряжения на входе ПЧ в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения напряже-

ния с учетом падения напряжения на кабель-тросе при максимальной нагрузке; регулировку системы компенсации потерь в кабель-тросе при изменении сопротивления токопроводящей жилы в пределах от 0 до $R_{ж.ном}$, Ом; управление и информационный обмен в режиме дистанционного управления (ДУ) от пульта дистанционного управления (ПДУ); контроль выходного напряжения и сопротивления изоляции с индикацией и протоколированием данных.

Шкаф питания предназначен для питания БП постоянным выпрямленным напряжением сети 500 В. Структурная схема ШП представлена на рис. 2. ШП состоит из устройства контроля изоляции (УКИ); устройства питания (УП); устройства защиты и сопряжения (УЗиС); устройства управления контакторами (УУК); устройства сопряжения (УС). В стойке ШП, кроме перечисленных блоков, расположены сетевые контакторы КМ1, КМ2; предохранители FU; фильтр радиопомех ФРП; датчики тока ДТ1–ДТ3; токоограничитель КМ3; сетевой выпрямитель В1 с LC-фильтром Ф1; разъемы дистанционного управления и силовой связи с БП; интерфейсные разъемы; силовые клеммы подключения основной и резервной сети; клеммы заземления и контроля заземления; сенсорный монитор, органы

сигнализации и аварийного отключения; автоматические выключатели основной и резервной сети QF1, QF2.

Принцип работы ШП заключается в следующем: напряжение трехпроводной основной питающей сети через автоматический выключатель QF1 и контактор КМ1 подается на вход фильтра радиопомех ФРП, а также через QF1 напряжение основной сети поступает на блок трансформаторов и УП для формирования питающих напряжений собственных нужд БЧ СЭП ТНПА.

С выхода ФРП через датчики тока ДТ1–ДТ3 и токоограничивающие резисторы R1–R3 напряжение питающей сети поступает на выпрямитель В1 с фильтром Ф1. С выхода фильтра Ф1 выпрямленное напряжение поступает на вход БП.

Рис. 2. Структурная схема шкафа питания бортовой части СЭП ТНПА с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты

Задачу формирования переменного напряжения 1500 В повышенной частоты 1000 Гц выполняет трехфазный АИН, который входит в состав БП СЭП. Структурная схема БП СЭП глубоководного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата представлена на рис. 3.

БП СЭП включает в себя входной фильтр Ф1; устройство контроля изоляции высокого напряжения (УКИ ВН); три модуля инвертора (МИ); блоки компенсации (БК); блок вентиляторов (БВ); устройство управления (УУ); устройство сопряжения (УС); устройство питания и защиты (УПиЗ); датчики тока ДТ1–ДТ6; датчик напряжения ДН; блок трансформаторов TV1–TV3.

Принцип работы БП СЭП заключается в следующем: постоянное напряжение 500 В поступает через входной фильтр Ф1 на три параллельно вклю-

ченные МИ. Каждый отдельно взятый модуль инвертора рассчитан на выходную мощность 10 кВт. Преобразованное трехфазное напряжение повышенной частоты (1000 Гц) через повышающие трансформаторы и блок компенсации поступает на выходные клеммы для подачи напряжения в кабель-трос и далее в СЭП подводной части.

Управление СЭП ТНПА осуществляется через интерфейс главного окна (рис. 4) посредством взаимодействия с сенсорным монитором. Контроллер (см. рис. 2) смонтирован на кросс-плате, в его состав входят процессорная плата MSM800SEV и адаптер дискретного ввода-вывода на 48 каналов ICOP-0101.

Контроллер конструктивно расположен в ШП бортовой части СЭП ТНПА. Передача данных осуществляется посредством пакетов (команды и теле-

метрия) с использованием измененного протокола WAKE.

Программное обеспечение контроллера СЭП ТНПА работает под управлением операционной си-

стемы Linux согласно алгоритму, представленному на рис. 5. Алгоритм работы контроллера СЭП ТНПА состоит из восьми последовательных алгоритмов функционирования системы.

Рис. 3. Структурная схема блока преобразователя СЭП ТНПА с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты: Ф1 – входной фильтр; МИ – модуль инвертора; УУ – устройство управления; УС – устройство сопряжения; ДТ1–ДТ6 – датчики тока; ДН – датчик напряжения; УКИ ВН – устройство контроля изоляции высокого напряжения; УПиЗ – устройство питания и защиты; БК 0,0235÷0,47 – блоки компенсации

Рис. 4. Интерфейс главного окна управления СЭП ТНПА

Алгоритм «КОНТРОЛЬ сети» реализует функцию контроля включения входных силовых автоматов СЭП ТНПА, а также проверку питающей основ-

ной или резервной трехфазной сети – обрыв фазы, уход частоты, превышение/уменьшение питающего напряжения относительно номинального значения.

Алгоритм «ШТАТНЫЕ настройки» обеспечивает настройку установочных величин из энергонезависимой памяти контроллера для начала работы системы. Алгоритм «Резервирование сети» обеспечивает в автоматическом режиме переход работы СЭП ТНПА с основной питающей сети 380 В 50 Гц на резервную сеть.

Рис. 5. Алгоритм работы контроллера СЭП ТНПА

На рис. 6 представлен алгоритм «ВКЛЮЧЕНИЕ» СЭП ТНПА. Работа алгоритма начинается с момента считывания информации сигналов с дискретных входов микроконтроллера.

По сигналам с пульта дистанционного управления (ПДУ) определяется режим работы СЭП ТНПА – автономный (АВТОНОМ.) или дистанционное управление (ДУ), при этом в «ГЛАВНОМ ОКНЕ» монитора подсвечивается соответствующий транспарант зеленым цветом. В режиме ДУ при нажатии кнопки включения основной сети «Вкл. осн.» в ПДУ происходит считывание сигнала «ДУ Вкл. осн.» и сигнал контактора КМ2, отвечающий за подключение резервной сети. Контакт КМ2 при работе от основной сети должен быть выключен, а вводной автомат QF1 включен, что обеспечит подачу команды на включение контакторов КМ1 и КМ3. При поступлении команды на включение в «ГЛАВНОМ ОКНЕ» (рис. 4) монитора подсвечивается зеленым цветом транспарант «Сеть осн. ВКЛ.». В случае несрабатывания контакторов КМ1, КМ2 и КМ3 в окне «Диагностика» загорается соответствующий транс-

спарант красным цветом, выдается команда «Авария СЭП» в ПДУ с записью информации в протокол работы.

В режиме «АВТОНОМ.» алгоритм включения СЭП идентичен режиму ДУ за исключением того, что включение сети осуществляется от нажатия кнопки «Вкл.» в главном окне монитора. По завершению алгоритма «ВКЛЮЧЕНИЕ» СЭП ТНПА осуществляется переход к алгоритму «РАБОТА» (рис. 7, 8).

Рис. 6. Алгоритм «ВКЛЮЧЕНИЕ» СЭП ТНПА

Алгоритм «РАБОТА» СЭП ТНПА реализует следующие функции:

- обеспечение заданных 600 и 300 В выходных напряжений на нагрузках гаража-заглубителя и 600 и 300 В подводного аппарата;
- измерение сопротивления изоляции по двум шинам питания гаража-заглубителя и подводного аппарата в диапазоне от 80 до 400 кОм;
- измерение температуры внутрибоксового пространства СЭП гаража-заглубителя и подводного аппарата в диапазоне от минус 10 до +85 °С;
- передачу информации по каналу связи RS-485 и её запись в протокол работы.

При уменьшении выходного напряжения ниже 10% относительно номинального значения, а также сопротивлении изоляции в диапазоне 80–400 кОм в «ГЛАВНОМ ОКНЕ» монитора соответствующий транспарант загорается желтым цветом, чтобы пре-

дупредить оператора о нештатном состоянии работы, при этом блокировка функционирования СЭП ТНПА и запись значения в протокол не осуществляются.

Рис. 7. Алгоритм «РАБОТА» СЭП ТНПА (часть 1)

Рис. 8. Алгоритм «РАБОТА» СЭП ТНПА (часть 2)

В случае превышения выходного напряжения более 10% относительно номинального значения, сопротивления изоляции ниже или равного 80 кОм и температуры внутриблочного пространства более 50 °С выполняются алгоритмы «ТЕРМОЗАЩИТА» и «АВАРИЯ».

Алгоритм «ТЕРМОЗАЩИТА» обеспечивает контроль температуры нагрева блоков СЭП ТНПА и включение вентиляторов охлаждения при превышении допустимой температуры более 50 °С.

В случае возникновения нештатной ситуации запускается алгоритм «АВАРИЯ», который осуществляет автоматическую самопроверку СЭП ТНПА перед каждым включением, а также постоянный контроль (по прерыванию) данных системы и переход в алгоритм «ОТКЛЮЧЕНИЕ».

При алгоритме «ОТКЛЮЧЕНИЕ» СЭП ТНПА реализуется последовательное отключение системы от полезной нагрузки подводного аппарата и гаража-заглубителя.

Выводы

Таким образом, предложенная структурная схема СЭП ТНПА, ее техническая реализация и алгоритмы управления позволили обеспечить:

- стабилизацию напряжения на нагрузке в требуемых пределах $\pm 10\%$ от номинального значения при длине кабель-троса до 6000 м;
- удельные характеристики системы электропитания подводной части не менее 2,5 Вт/кг, что сопоставимо с мировыми показателями;
- согласованное функционирование всех элементов системы как в автономном, так и дистанционном режимах работы;
- безопасную и надежную работу подводного аппарата.

Литература

1. Подводные аппараты для геологических исследований / под ред. А.М. Игнатова. – Геленджик: ПО «Южморгеология», 1990. – 92 с.
2. Виноградов Н.И. Привязные подводные системы: Прикладные задачи статики и динамики / Н.И. Виноградов, М.Л. Гутман, И.Г. Лев, М.З. Нисневич. – СПб.: СПбГУ, 2000. – 313 с.
3. Войтов Д.В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. – М.: МОСКНИГА, 2012. – 506 с.
4. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / А.В. Инзарцев и др. – Владивосток: ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН, 2018. – 368 с.
5. Зарубежные самоходные необитаемые морские аппараты / А.А. Тарасенко и др. – СПб.: АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит», 2016. – 300 с.
6. Ястребов В.С. Системы управления подводных аппаратов роботов / В.С. Ястребов, А.М. Филатов. – М.: Наука, 1984. – 85 с.
7. Ястребов В.С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.
8. Электроэнергетические установки подводных аппаратов / В.С. Ястребов и др. – Л.: Судостроение, 1987. – 123 с.
9. Егоров В.И. Подводные буксируемые системы. – Л.: Судостроение, 1981. – 304 с.
10. The power supply system model of the process submersible device with AC power transmission over the cable-rope (Article number 012098) / V.M. Rulevskiy, V.G. Bukreev, E.O. Kuleshova, E.B. Shandarova, S.M. Shandarov, Yu.Z. Vasilyeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MEACS): proceedings, Tomsk, October 27–29, 2017. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2017. – Vol. 177 (1).
11. Voltage stabilizer in power supply of underwater vehicle (Article number 022018) / V.M. Rulevskiy, V.A. Chekh, Y.A. Shurygin, A.A. Pravikova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MEACS): proceedings, Tomsk, December 4–6. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – Vol. 327 (2).
12. Bukreev V.G. Power supply system model of remote processing equipment / V.G. Bukreev, E.B. Shandarova, V.M. Rulevskiy // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2018. – Vol. 329 (4). – P. 119–131.
13. Рулевский В.М. Системы электропитания телеуправляемых подводных аппаратов / В.М. Рулевский, Ю.Н. Дементьев, О.В. Бубнов // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2004. – Т. 307, № 5. – С. 120–123.
14. Мишин В.Н. Системы электропитания телеуправляемых подводных аппаратов переменного тока мощностью свыше 10 кВт / В.Н. Мишин, В.М. Рулевский, А.Г. Юдинцев // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 107–110.
15. Мишин В.Н. Система электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса / В.Н. Мишин, В.М. Рулевский, А.А. Тарасенко // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 5. – С. 8–10.
16. Система электропитания глубоководного аппарата с высоковольтной передачей энергии постоянного тока по кабель-тросу / В.М. Рулевский, В.А. Чех, В.Г. Букреев, Р.В. Мещеряков // Изв. ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 1 (195). – С. 155–167.
17. Чаплыгин Е.Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией: учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 56 с.
18. Разработка и моделирование подводных технических средств с передачей энергии по кабель-тросу / В.Н. Мишин, В.М. Рулевский, А.В. Федоров и др. // Открытое образование. – 2011. – № 2-2. – С. 328–331.
19. Юдинцев А.Г. Система управления трёхфазным автономным инвертором с векторной широтно-импульсной модуляцией / А.Г. Юдинцев, В.М. Рулевский // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-1. – С. 168–173.
20. Рулевский В.М., Ляпунов Д.Ю. Математическое моделирование системы электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе в пакете MATLAB/Simulink // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20930>, свободный (дата обращения: 26.08.2019).
21. Математическая модель системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе / А.А. Правикова, В.М. Рулевский, Д.Ю. Ляпунов, В.Г. Букреев // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 131–135.

Рулевский Виктор Михайлович

Канд. техн. наук, проректор по научной работе и инновациям Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9229-8611>
Тел.: +7-906-950-04-01
Эл. почта: rulevsky@niiam.tomsk.ru

Rulevskiy V.M.

Technical implementation and algorithmic support of power supply system for remote power consumer

The article presents the technical implementation and control algorithms of the power supply system of a remote-controlled unmanned underwater vehicle with the transmission of energy through a cable-rope with increased AC frequency, which

provide voltage stabilization at the load with the required accuracy.

Keywords: deep-sea vehicle, power supply system, autonomous voltage inverter, vector pulse-width modulation.
doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-128-134

References

1. *Podvodnye apparaty dlya geologicheskikh issledovaniy* [Underwater vehicles for geological applications]. Edited by A.M. Ignanov, Gelendzhik, Publishing office «Yuzhmoregeologia», 1990, 92 p.
2. Vinogradov N.I., Gutman M.L., Lev I.G., Nisnevich M.Z. *Privyaznye podvodnye sistemy: Prikladnye zadachi statiki i dinamiki* [Tethered underwater systems: Applied tasks in statistics and dynamics]. Saint Petersburg: SPBGU, 2000, 313 p.
3. Voitov D.V. *Teleupravlyaemye neobitaemye podvodnye apparaty* [Remote-controlled unmanned underwater vehicles]. – M.: MORKNIGA, 2012, 506 p.
4. Inzartsev A.V. et al. *Podvodnie roboto-tekhnicheskie kompleksi: sistemy, tekhnologii, primeneniye* [Underwater robotic complexes: systems, technologies, applications]. Vladivostok, Marine Technologies Institute of Far-East Branch of Russian Academy of Sciences, 2018, 368 p.
5. Tarasenko A.A. et al. *Zarubezhnye samokhodnye neobitaemye morskoye apparaty* [International unmanned marine vehicles]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg marine construction bureau «Malakhit», 2016, 300 p.
6. Yastrebov V.S., Filatov A.M. *Sistemy upravleniya podvodnykh apparatov robotov* [Control systems for underwater robots]. M., Nauka, 1984, 85 p.
7. Yastrebov V.S. *Teleupravlyaemye podvodnye apparaty* [Remote-controlled underwater vehicles]. Leningrad, Sudostroenie, 1985, 232 p.
8. Yastrebov V.S. et al. *Elektroenergeticheskie ustanovki podvodnykh apparatov* [Energy systems for underwater vehicles]. Leningrad, Sudostroenie, 1987, 123 p.
9. Egorov V.I. *Podvodnie buksiruemye sistemy* [Underwater towed systems]. Leningrad, Sudostroenie, 1981, 304 p.
10. Rulevskiy V.M., Bukreev V.G., Kuleshova E.O., Shandarova E.B., Shandarov S.M., Vasilyeva Yu.Z. The power supply system model of the process submersible device with AC power transmission over the cable-rope (Article number 012098). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (MEACS): proceedings, Tomsk, October 27–29, 2017, Tomsk, Institute of Physics Publishing, 2017, vol. 177 (1).
11. Rulevskiy V.M., Chekh V.A., Shurygin Yu.A., Pravikova A.A. Voltage stabilizer in power supply of underwater vehicle (Article number 022018). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (MEACS): proceedings, Tomsk, December 4–6, Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018, vol. 327 (2).
12. Bukreev V.G., Shandarova E.B., Rulevskiy V.M.. Power supply system model of remote processing equipment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329 (4), pp. 119–131.
13. Rulevskiy V.M., Dementiev Yu.N., Bubnov O.V. *Sistemy elektropitaniya teleupravlyаемых podvodnykh apparatov* [Power supply systems for remote-controlled underwater vehicles]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, vol. 307, no. 5, pp. 120–123.
14. Mishin V.N., Rulevskiy V.M., Yudinsev A.G. *Sistemy elektropitaniya teleupravlyаемых apodvodnykh apparatov peremennogo toka moshnosti do 10 kW* [Power supply systems for AC remote-controlled underwater vehicles with a power exceeding 10 kW]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 4, pp. 107–110.
15. Mishin V.N., Rulevskiy V.M., Tarasenko A.A. *Sistema elektropitaniya universalnogo teleupravlyаемого neobitaемого buksiruemого kompleksa* [Power supply system for multi-purpose multi-channel remote-controlled unmanned towed complex]. *Electronics and electrical equipment of transport*, 2014, no. 5, pp. 8–10.
16. Rulevskiy V.M., Chekh V.A., Bukreev V.G., Meshcheryakov R.V. *Sistema elektropitaniya glubokovodnogo apparata s vysokovoltnoy peredachei energii postoyannogo toka po kabel-trossu* [Power supply systems for deep-diving submersible with high-voltage DC transmission via cable-rope]. *Bulletin of the YuFU. Engineering Sciences*, 2018, no. 1 (195), pp. 155–167.
17. Chaplygin E.E. *Spektralnoye modelirovaniye preobrazovatelei s shirotno-impulsnoy modulyatsiei: uchebnoye posobie* [Spectral modelling of converters with pulse-width modulation: Learning Guide]. Moscow, Publishing Office of Moscow Power Engineering Institute, 2009, 56 p.
18. Mishin V.N., Rulevskiy V.M., Fedorov A.V., Tselebrovskiy I.V., Shurygin Yu.A., Zaychenko T.N. *Razrabotka i modelirovaniye podvodnykh tekhnicheskikh sredstv s peredachei energii po kabel-trossu* [Development and modelling of underwater devices with energy transmission via cable-rope]. Scientific and practical journal «Open Education», 2011, no. 2-2, pp. 328–331.
19. Yuditsev A.G., Rulevskiy V.M.. *Sistema upravleniya trekhfaznym avtonomnym invertorom s vektornoy shirotno-impulsnoy modulyatsiei* [Control system for three-phase inverter with pulse-width modulation]. Scientific magazine «Fundamental research», 2015, no. 5-1, pp. 168–173.
20. Rulevskiy V.V., Lyapunov D.Yu. *Matematicheskoye modelirovaniye sistemy elektropitaniya teleupravlyаемого neobitaемого podvodnogo apparata s peredachei energii po kabel-trossu na peremennom toke v pakete Matlab/Simulink* [Mathematical modelling of power supply system for remote-controlled unmanned underwater vehicle using energy transmission via cable-rope with AC in Matlab/Simulink package]. Digital scientific magazine «Modern problems of science and education», 2015, no. 2. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20930> (accessed date: 08/26/2019).
21. Pravikova A.A., Rulevskiy V.M., Lyapunov D.Yu., Bukreev V.G.. *Matematicheskaya model sistemy elektropitaniya teleupravlyаемого podvodnogo apparata s peredachei energii po kabel-trossu na peremennom toke* [Mathematical model of power supply system for remote-controlled underwater vehicle using energy transmission via cable-rope with AC]. Proceedings of TUSUR University, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 131–135.

Victor M. Rulevskiy

Candidate of Engineering, Vice-Rector for Research and Innovation, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9229-8611>
 Phone: +7-906-950-04-01
 Email: rulevsky@niiat.tomsk.ru