

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МОРСКОГО АВТОНОМНОГО ПРОФИЛОГРАФА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЛАВУЧЕСТЬЮ

Л.А. Краснодарец<sup>1,2</sup>, Л.Н. Канов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

<sup>2</sup> Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: lakrasno@gmail.com, lkanov48@mail.ru

Предлагается и исследуется быстродействующий электропривод, предназначенный для работы в системе управления плавучестью автономного морского профилографа. Главной его особенностью является использование в контуре управления линейного электродвигателя, работающего совместно с ПИД регулятором. Применение такого подхода позволит увеличить быстродействие регулятора плавучести, повысить скорость профилирования и на этой основе значительно снизить время измерений термохалинных параметров океанской среды при допустимой точности.

**Ключевые слова:** профильные измерения, управляемый профилограф, океанская среда, регулятор плавучести, линейный электрический двигатель, электропривод, математическая модель

Поступила в редакцию: 13.04.2018.

**Введение.** Современное состояние профильных измерений вертикального распределения термохалинных параметров океанской среды характеризуется массовым характером проводимых на регулярной основе станций, предназначенных для крупномасштабных исследований верхнего слоя океана в рамках международной программы Argo [1]. При этом основным поставщиком данных являются профилографы – автономные подводные автоматические аппараты, построенные на основе ныряющих буев с регулируемой плавучестью. Вместе с тем в рамках оперативной океанографии могут ставиться задачи выполнения измерений вертикальных глубоководных профилей путем проведения локальных станций, осуществляемых с помощью исследовательских судов. Для решения такого рода задач профилографы класса Argo (например, PROVOR или AVOR) [2] мало подходят, так как они спроектированы для длительной автономной работы (до 4 лет). Стандартный режим их функционирования обеспечивает технологию измерений, которая предусматривает выполнение профильных измерений STD параметров окружающей водной среды без участия сопровождающего судна, с малыми затратами энергии и скоростными режимами движения, обеспечивающими ми-

нимальные динамические искажения измеряемых параметров, вызванных инерционными свойствами датчиков. Поэтому автономное профилирование выполняется с постоянной скоростью  $v_a = 0,095$  м/с в режиме подъема с глубины 2000 м, которая предварительно достигается в режиме погружения с постоянной скоростью  $v_d = 0,04$  м/с, что занимает в общей сложности примерно 20 часов для формирования массива данных измерений только для одного профиля. Очевидно, что увеличение массива данных до глубин порядка 6000 м потребует применения других режимов и технологий профильных измерений, обеспечивающих более быстрое получение данных. В этой связи следует отметить разработку фирмой Rockland Scientific профилографа турбулентности VMP-6000 [3], который представляет собой полную систему профилирования глубины океана для измерения микроструктуры турбулентности, STD и других океанографических параметров. Он работает автономно (без подключения к судну) и записывает данные в память бортового компьютера. На запрограммированной глубине VMP-6000 выпускает балласт и возвращается на поверхность, где может быть обнаружен с помощью радиомаяка, проблескового огня или передатчика системы позиционирования.

Корпусная часть системы профилирования VMP-6000 по линейным размерам значительно превосходит профилографы Argo и не имеет регулятора плавучести. О скоростных режимах и конкретной технологии профилирования при помощи VMP-6000 сведений нет. Однако, как показано в [4], для снижения динамических искажений, вызванных инерционными свойствами измерительных каналов, оснащенных современными сенсорами температуры, производимыми фирмой SBE, допустимая скорость вертикального подъема неуправляемого профилографа в области большого градиента температуры может достигать значений  $V_{дон} \leq (0,24...0,05)$  м/с.

Таким образом, для существенного снижения затрат времени на профилирование и, как следствие, повышения экономической эффективности оперативных океанографических исследований необходимо разрабатывать новые технологии измерений параметров океанской водной среды, основанной на применении морских подвижных управляемых платформ сбора данных и, в частности, управляемых профилографов с регулируемой плавучестью [5]. Важное место в решении этой задачи занимает разработка системы управления скоростными режимами автономного профилографа на основе мехатронной системы регулирования плавучести с автоматическим регулятором, которая образует вместе с информационными каналами замкнутый контур управления с обратной связью.

Целью статьи является разработка и исследование методом компьютерного моделирования быстродействующего электропривода, построенного на базе линейного двигателя [6] постоянного тока и предназначенного для управления золотниковым распределителем исполнительного гидропривода в мехатронной системе регулирования плавучести морского автономного профилографа [7].

**Мехатронная система регулирования плавучести** предназначена для изменения скорости вертикального движения профилографа в морской среде за счет изменения выталкивающей силы, действующей на его корпусную часть. В настоящее время используются два способа изменения плавучести при помощи

выталкивающей силы. Первый способ основан на принципе перекачки гидравлической жидкости из внутреннего резервуара во внешнюю расширительную камеру с целью изменения ее объема и, как следствие, изменения выталкивающей силы, действующей на всю корпусную часть [8]. Второй способ основан на применении электромеханического электропривода для выдвижения из корпусной части профилографа управляющего цилиндра, увеличивающего (уменьшающего) выталкивающую силу, которая соответственно изменяет плавучесть. Серьезным недостатком отмеченных способов, который приводит к динамическим ошибкам и проявлению нелинейных эффектов при измерениях в условиях относительного движения сенсоров и окружающей водной среды, является использование соответственно насоса для перекачки гидравлической жидкости или винтовой механической передачи с редуктором с целью перемещения регулирующего плавучесть цилиндра. Это не позволяет достичь высокого быстродействия при управлении скоростными режимами профилографа и, как следствие, ограничивает скорость профилирования. Применение силового двухкаскадного электрогидравлического привода [9] открывает возможность увеличения быстродействия регулятора плавучести. Решение этой задачи предлагается выполнить путем замены традиционного электрогидравлического усилителя, входящего в состав гидропривода, более быстродействующим электромеханическим звеном с линейным двигателем. Нагрузкой этого двигателя является золотниковый распределитель исполнительного каскада гидропривода, а обмотка управления подключена к силовому преобразователю с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), соединенного с ПИД регулятором. Для повышения быстродействия указанные элементы охвачены общей обратной отрицательной обратной связью.

**Математическое описание линейного двигателя постоянного тока** выполним на основе анализа схемы его механической конструкции [6] и схемы замещения магнитной цепи, которые изображены соответственно на рис. 1 и 2.

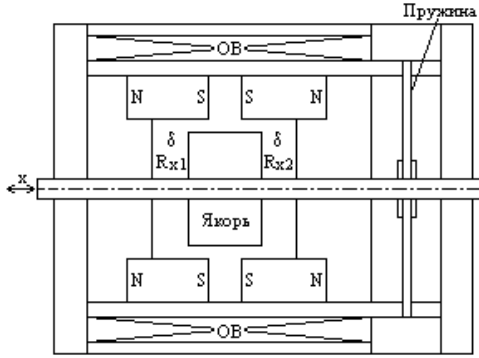


Рис. 1. Схема механической конструкции линейного двигателя

В соответствии с принципом действия линейного двигателя цилиндрический шток с напрессованным на него якорем перемещается вдоль оси на величину  $x$  в пределах, позволенных зазорами  $\delta$ . Внутри корпуса расположены кольцевые постоянные магниты, магнитные поля которых направлены встречно. Магниты охватывает обмотка управления. Когда ток в обмотке управления отсутствует, дисковая пружина удерживает шток в неподвижном центральном положении, и зазоры с правой и с левой стороны одинаковы. При появлении тока якорь и шток смещаются в ту или иную сторону в зависимости от направления тока.

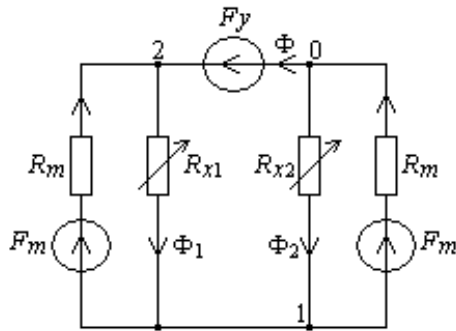


Рис. 2. Схема замещения магнитной цепи линейного двигателя

Схема замещения магнитной цепи линейного двигателя изображена на рис. 2, где обозначены:  $F_y = wi$  — магнитодвижущая сила (МДС) обмотки управления;  $i$  — ток в обмотке;  $w$  — количество витков;  $F_m$  — МДС постоянных магнитов;  $R_m$  — их магнитные сопротивления;  $R_{x1}, R_{x2}$  — магнитные сопротивления зазоров;  $\Phi_1, \Phi_2$  — магнитные потоки в зазорах;  $\Phi$  — магнитный поток через обмотку.

Анализ магнитной цепи двигателя выполним далее по схеме замещения с учетом следующих допущений: однородность магнитного поля; ненасыщенность магнитной цепи; малое влияние магнитных потоков рассеяния; сравнительно малые магнитные сопротивления якоря и корпуса двигателя.

Магнитные сопротивления зазоров, когда якорь находится в среднем положении, обозначим  $R_{x0} = \frac{\delta}{\mu_0 S}$ , где  $S$  — площадь поперечного сечения якоря;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ . При смещении якоря влево на расстояние  $x$  зазор и его магнитное сопротивление с левой стороны уменьшается

$$R_{x1} = R_{x0} - \frac{x}{\mu_0 S} = R_{x0} \cdot (1 - \bar{x}),$$

где  $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$ . При этом магнитное сопротивление увеличившегося зазора с правой стороны возрастет  $R_{x1} = R_{x0}(1 + \bar{x})$ . Электромагнитная сила, действующая на якорь, определяется разностью сил, возникающих от магнитных потоков в зазорах [10]

$$f_{эм} = \frac{1}{2\mu_0 S} (\Phi_1^2 - \Phi_2^2). \quad (1)$$

Для определения магнитных потоков  $\Phi_1, \Phi_2$  применим метод узловых потенциалов [11]. Полагая потенциал точки 0 равным нулю, а потенциал  $\Phi_2$  точки 2 равным  $F_y$ , для потенциала  $\Phi_1$  точки 1 получаем уравнение

$$\Phi_1 g_{11} + \Phi_2 g_{12} = I_{y31},$$

где  $g_{11} = \frac{2}{R_m} + \frac{1}{R_{x1}} + \frac{1}{R_{x2}}$ ;  $I_{y31} = \frac{-2F_m}{R_m}$ ;

$$g_{12} = -\left( \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_{x1}} \right).$$

После определения  $\Phi_1$  получаем магнитные потоки

$$\Phi_1 = \frac{2F_m \cdot (1 + \bar{x}) + F_y \cdot (1 + \bar{x} + \bar{R}_m)}{2R_{x0} \cdot (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)};$$

$$\Phi_2 = \frac{-\Phi_1}{R_{x2}} = \frac{2F_m \cdot (1 - \bar{x}) - F_y \cdot (1 - \bar{x} + \bar{R}_m)}{2R_{x0} \cdot (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)},$$

где  $\bar{R}_m = \frac{R_m}{R_{x0}}$ . Поток через обмотку управления

$$\Phi = \frac{-\varphi_1}{R_{x2}} = \frac{2F_m \cdot \bar{R}_m \cdot \bar{x} + F_y \cdot ((1 + \bar{R}_m)^2 - \bar{x}^2)}{2R_{x0} \cdot \bar{R}_m (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)}.$$

Теперь электромагнитная сила имеет вид

$$f_{эм} = \frac{2F_m F_y (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m) + (4F_m^2 + F_y^2 (1 + \bar{R}_m)) \bar{x}}{2R_{x0}^2 \mu_0 S \cdot (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)^2}. \quad (2)$$

Для обмотки управления линейного двигателя получаем уравнение по второму закону Кирхгофа

$$u = ri + w \frac{d\Phi}{dt},$$

где  $u$  – напряжение управления, приложенное к обмотке;  $r$  – сопротивление обмотки. С учетом зависимости магнитного потока от тока и перемещения  $x$  имеем

$$u = ri + w \frac{\partial \Phi}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt}. \quad (3)$$

Подсчет частных производных дает

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{F_m \cdot (1 + \bar{x}^2 + \bar{R}_m) + F_y \cdot (1 + \bar{R}_m) \bar{x}}{\delta R_{x0} \cdot (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)};$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial i} = \frac{w}{2R_m} \frac{(1 + \bar{R}_m)^2 - \bar{x}^2}{1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m}.$$

Механическая динамика линейного двигателя описывается уравнением

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k_{Tp} \frac{dx}{dt} + xC + f_H = f_{эм}, \quad (4)$$

где  $m$  – масса движущейся части;  $k_{Tp}$  – коэффициент трения;  $C$  – коэффициент жесткости пружины;  $f_H$  – внешняя сила нагрузки. Для получения окончательного уравнения, описывающего перемещение  $x$ , выполним дифференцирование выражения (4)

$$m \frac{d^3 x}{dt^3} + k_{Tp} \frac{d^2 x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + \frac{df_H}{dt} = \frac{df_{эм}}{dt}, \quad (5)$$

куда следует подставить

$$\frac{df_{эм}}{dt} = \frac{\partial f_{эм}}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f_{эм}}{\partial i} \frac{di}{dt},$$

где

$$\frac{\partial f_{эм}}{\partial i} = \frac{w(F_m \cdot (1 + \bar{x}^2 + \bar{R}_m) + F_y \cdot (1 + \bar{R}_m) \bar{x})}{R_{x0}^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot (1 - \bar{x}^2 + \bar{R}_m)^2};$$

$$\frac{\partial f_{эм}}{\partial x} = \frac{4}{\delta A} \left[ (F_m F_y \bar{x} + F_m^2 + \frac{F_y^2 (1 + \bar{R}_m)}{4}) + (iB + (4F_m^2 + F_y^2 (1 + \bar{R}_m)) \bar{x}) \frac{\bar{x}}{1 + \bar{R}_m - \bar{x}^2} \right].$$

В последней формуле обозначено

$$A = 2R_{x0}^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot (\bar{R}_m + 1 - \bar{x}^2)^2;$$

$$B = 2F_m w \cdot (\bar{R}_m + 1 + \bar{x}^2).$$

Выражение для  $\frac{di}{dt}$  получим из (3)

$$\frac{di}{dt} = \frac{u - ri - w \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt}}{w \frac{\partial \Phi}{\partial i}}. \quad (6)$$

С учетом  $F_y = wi$  из (2) получаем ток

$$i = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4\bar{x}w^2(1 + \bar{R}_m)(4F_m^2 \bar{x} - f_{эм} A)}}{2w^2 \bar{x} \cdot (1 + \bar{R}_m)}, \quad (7)$$

куда нужно подставить  $f_{эм}$  из (4). Окончательно выражение для тока (7) подставляем в  $\frac{\partial f_{эм}}{\partial i}$ ,  $\frac{\partial f_{эм}}{\partial x}$  и в (6). Таким образом, уравнение (5) описывает динамику линейного двигателя с управляющим напряжением с учетом (6) и (7).

Для линейного двигателя небольшой мощности принимаем следующие типичные числовые значения:

$$S = 10^{-3} \text{ м}^2; \quad \delta = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad R_m = 1,1 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1};$$

$$F_m = 2,9 \cdot 10^3 \text{ А}; \quad R_{x0} = 5,57 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1};$$

$$\bar{R}_m = 0,197; \quad w = 1500; \quad m = 0,5 \text{ кг};$$

$$k_{Tp} = 350; \quad C = 1,15 \cdot 10^5; \quad f_H(x) = 4 \text{ Н};$$

$$r = 150 \text{ Ом}.$$

Для упрощения модели предположим, что применены постоянные магниты с высокой МДС и  $F_{y \max} = (0,1 \dots 0,15) F_m$ . Тогда, не учитывая в (2) слагаемое, содержащее  $F_y^2$ , получаем формулу тока

$$i = \frac{A \cdot \left( m \frac{d^2 x}{dt^2} + k_{Tp} \frac{dx}{dt} + Cx - f_H(x) \right) - 4F_m^2 \bar{x}}{B}.$$

и производных  $\frac{\partial f_{эм}}{\partial i} = \frac{B}{A}$ ;

$$\frac{\partial f_{эм}}{\partial x} = \frac{F_m (F_y \bar{x} + F_m) + (B \cdot i + 4F_m^2 \bar{x}) \frac{2\bar{x}}{\bar{R}_m + 1 - \bar{x}^2}}{0,25A}.$$

Таким образом, уравнение (5) существенно упрощается при  $F_m = 10^4 \text{ А}$ ,  $R_m = 7 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}$ .

Дальнейшее упрощение можно получить, полагая магнитное сопротивление постоянных магнитов  $R_m$  существенно больше, чем  $R_{x0}$ , следовательно,  $\bar{R}_m = 7 \dots 10$ , и считая, что перемещение

$\bar{x}$  невелико:  $\bar{x} = 0,5 \dots 0,8$ . В этих условиях коэффициенты  $A$  и  $B$  теряют слагаемое  $\bar{x}^2$ :  $A = 2R_{x0}^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot (\bar{R}_m + 1)^2$ ;  $B = 2F_m \cdot w \cdot (\bar{R}_m + 1)$ , и электромагнитная сила становится линейной функцией от тока и перемещения  $f_{эм} = k_i i + C_m x$ , где

$$k_i = \frac{F_m w}{R_{x0}^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot (\bar{R}_m + 1)};$$

$$C_m = \frac{2F_m^2}{R_{x0}^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot (\bar{R}_m + 1)^2 \cdot \delta}.$$

Частные производные от потока  $\Phi$  становятся постоянными числами:

$$w \frac{\partial \Phi}{\partial i} = \frac{w^2 (\bar{R}_m + 1)}{2R_m} = L_0;$$

$$w \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{w F_m}{\delta R_{x0} (\bar{R}_m + 1)} = C_0,$$

а уравнение (5) становится линейным и принимает следующий вид:

$$m \frac{d^3 x}{dt^3} + \left( \frac{r \cdot m}{L_0} + k_{Tp} \right) \frac{d^2 x}{dt^2} + \left( \frac{r \cdot k_{Tp} + C_0 \cdot k_i}{L_0} + C - C_m + \frac{\partial f_H}{\partial x} \right) \frac{dx}{dt} - \frac{r \cdot (C - C_m)}{L_0} x = \frac{k_i \cdot u - r \cdot f_H(x)}{L_0} \quad (8)$$

или

$$\frac{d^3 x}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 = b_0 u(t) - b_1 f_H(x),$$

где коэффициенты  $a_i$  и  $b_j$  определяются с учетом (8) при следующих значениях параметров:

$$R_m = 10^7 \text{ Гн}^{-1}; \quad F_m = 1,4 \cdot 10^4 \text{ А};$$

$$k_i = C_0 = 206,4; \quad k_{Tp} = 350; \quad L_0 = 0,314;$$

$$C_m = 2,11 \cdot 10^5; \quad m = 0,1 \text{ кг}; \quad \delta = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$R_{x0} = 5,57 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}; \quad f_H(x) = 0 \text{ Н};$$

$$r = 150 \text{ Ом}. \quad C = 1,15 \cdot 10^5. \quad (9)$$

**Исследование динамических свойств линейного двигателя** выполнено при помощи линейного дифференциального уравнения (8). Применяя преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях и, полагая  $F_H(x) = 0$ , получим передаточную функцию линейного двигателя

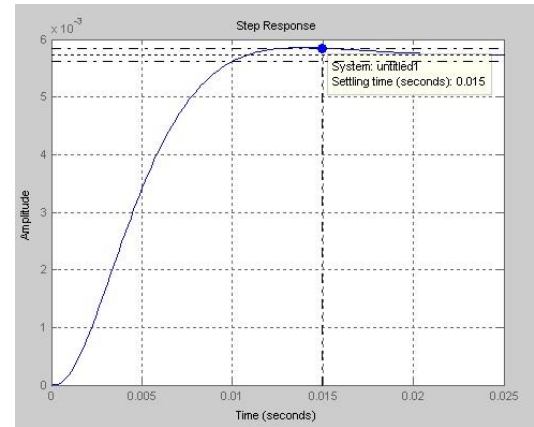
$$W_{ld3}(s) = \frac{k_u}{k_3 s^3 + k_2 s^2 + k_1 s + k_0}. \quad (10)$$

Анализ полюсов передаточной функции (10) при значениях параметров (9) позволил понизить ее порядок при сохранении статического усиления и представить ее в виде

$$W_{ld2}(s) = \frac{b_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (11)$$

где  $b_0$  – статический коэффициент усиления линейного двигателя.

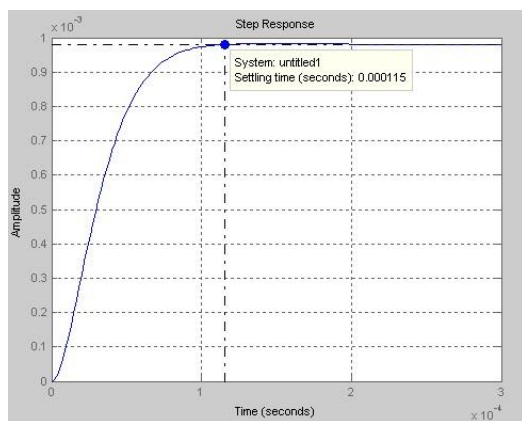
График переходной характеристики линейного двигателя постоянного тока, построенный с помощью передаточной функции (10) при напряжении на обмотке управления  $u = 400 \text{ В}$ , изображен на рис. 3. Как видно из графика, шток перемещается на 6 мм за 0,0115 с.



**Рис. 3.** Переходная характеристика линейного двигателя постоянного тока

**Задача повышения быстродействия** линейного двигателя решена путем построения замкнутого контура управления с ПИД регулятором, выполняющего функцию быстродействующего электропривода золотникового механизма исполнительного гидропривода регулятора плавучести. При этом для настройки регулятора использовалась передаточная функция пониженного порядка (11) с учетом постоянной времени  $T_D$  фильтра в дифференцирующей цепи, а также постоянной времени  $T_{cp}$  силового регулятора с ШИМ, питающего обмотку управления линейного двигателя.

Результаты моделирования быстродействующего электропривода приведены в виде графика переходной характеристики, изображенной на рис. 4.



**Рис. 4.** Переходная характеристика быстродействующего электропривода

**Заключение.** Анализ полученных результатов показал, что динамические характеристики линейного двигателя можно значительно улучшить за счет применения ПИД регулятора в составе электропривода с обратной связью. При этом предложенный электропривод может с успехом заменить электрогидросилитель, обеспечивая большее быстродействие регулятора плавучести при снижении нагрузки на гидравлический контур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chang Y.-S., Zhang S., Rosati A., Vecchi G.A., and Yang X. 2018: An OSSE Study for Deep Argo Array using the GFDL Ensemble Coupled Data Assimilation System // *Ocean Science Journal*. doi.org/10.1007/s12601-018-0007-1.
2. [http://www.argo.ucsd.edu/How Argo floats. html](http://www.argo.ucsd.edu/How%20Argo%20floats.html) (дата обращения: 04.02.2018).
3. <http://rocklandscientific.com> (дата обращения: 07.10.2017).
4. Краснодубец Л.А., Забурдаев В.И., Альчаков В.В. Управление морскими бу-

ями профилерами как метод повышения репрезентативности термохалинных измерений. Модели движения // *Морской гидрофизический журнал*. 2012. № 4. С. 69–79.

5. Краснодубец Л.А., Дьяченко Д.А., Кулик В.С. Морской автономный профилограф с управляемой плавучестью // *Системы контроля окружающей среды*. 2017. Вып. 7 (27). С. 31–34.

6. Улучшение характеристик линейного электродвигателя средствами адаптивного управления / Н.Д. Поляхов, А.В. Кузнецов, В.Е. Кузнецов [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки: материалы VI междунар. (XVII Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП – 2010* (г. Тула, 28 сентября – 01 октября 2010 г.). 2010. Тула: ТулГУ. Вып. 3. Ч. 4. С. 150–158.

7. Краснодубец Л.А. Автономный морской smart профилограф // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2017): материалы XV Всерос. науч.-техн. конф. (16–18 мая 2017 г.)*. М., 2017. Т. 2. С. 226–230.

8. Wang S., Wu A. Application of hydraulic technology in ARGO buoy // *Fluid Power Transmission and Control*, 2010. P. 37–40.

9. Костин С.В., Петров Б.И., Гамынин Н.С. Рулевые приводы. М.: Машиностроение, 1973. 208 с.

10. Буль Б.К., Буткевич Г.В., Годжелло А.Г. и др. Основы теории электрических аппаратов. М.: Высшая школа, 1970. 600 с.

11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Юрайт, 2012. 701 с.

#### HIGH-SPEED ELECTRIC DRIVE OF A MARINE AUTONOMOUS PROFILER WITH ADJUSTABLE BUOYANCY

L.A. Krasnodubets<sup>1,2</sup>, L.N. Kanov<sup>1</sup>

Sevastopol State University, Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33  
Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

A high-speed electric drive designed for operation in the buoyancy control system of an autonomous marine profiler is proposed and investigated. Its main feature is the use in the control loop of a linear electric direct current machine, working together with a PID controller. Application of this approach will increase the speed of the buoyancy engine, increase the rate of profiling and, on this basis, significantly reduce the time of measurements of the thermohaline parameters of the ocean environment with an allowable accuracy.

**Keywords:** profile measurements, controlled profiler, ocean environment, buoyancy engine, linear electric machine, electric drive, mathematical model