

ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ ВСТРАИВАНИЯ В ОБОЛОЧКИ ОГРАНИЧЕННОГО ДИАМЕТРА ОБЪЕКТОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Виконано аналіз об'єктів використання, а також конструктивно – технологічних особливостей однофазних і трифазних трансформаторів компактного виконання систем підводно-технічного та іншого спеціального електрообладнання, визначено задачі і можливості удосконалення подібних трансформаторів перетворенням твірних контурів елементів та структурною оптимізацією електромагнітних систем.

Выполнен анализ объектов использования, а также конструктивных – технологических особенностей однофазных и трехфазных трансформаторов компактного исполнения систем подводно-технического и другого специального электрооборудования, определены задачи и возможности усовершенствования подобных трансформаторов преобразованием образующих контуров элементов и структурной оптимизацией электромагнитных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние технического прогресса характеризуется интенсификацией работ по подводным исследованиям, разведке и освоению шельфа, а также расширением исследований внеземного пространства. Важнейшими стратегическими целями, связанными с возможностями дальнейшего развития и существования человечества, являются будущее освоение, в дополнение к шельфу, значительных глубин земного океана, солнечной системы и дальнего космоса. Интенсифицируется также потребление наземных и подземных природных ресурсов, в частности жидкостно-газовых топливно-энергетических и водных. В связи с этим в развитых странах мира уделяется серьезное внимание разработке возобновляемых источников энергии, в том числе энергии морских волн, приливов и отливов. Решение названных весьма сложных современных задач и обеспечение предпосылок достижения перспективных значительных целей требует непрерывного усовершенствования и развития соответствующих технических средств, включающих системы электрооборудования и автоматики со специальными электромеханическими, электронно-микропроцессорными и приборными комплексами. Указанные комплексы содержат габаритные и металлоемкие компоненты – встроенные и погружные трансформаторы. Важными показателями таких трансформаторов являются компактность, конструктивное соответствие блокам электрооборудования и удобство встраивания. В настоящее время в Украине эксплуатируются, а специализированными заводами производятся трансформаторы с "традиционными" техническими решениями электромагнитных систем (ЭМС) [1, 2]. При этом согласно [3], потери электроэнергии в распределительных сетях Украины составляют до 20 % мощности, отпущенной генерирующими станциями. Значительную долю этой части составляют потери в трансформаторах I-II габаритов классов напряжения 6-35 кВ. Указанное обстоятельство, требование минимальных массогабаритных показателей, компактности и надежности, предъявляемые к специальному электрооборудованию [4, 5], показывают важность и актуальность разработки специальных и усовершенствования распределительных трансформаторов различной мощности.

Целью работы является анализ специфики применения, существующих аналогов и технических решений усовершенствования, а также постановка зада-

чи разработки трансформаторов систем электрооборудования объектов специальной техники.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И СИСТЕМЫ С КОМПАКТНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Аппараты и комплексы подводного поискового, подводно-технического [4-10] и авиационно-космического [11, 12] назначений, а также судовые навесные погружные капсулы [13], по типам внешнего корпуса и оболочек размещения элементов технических систем подразделяются на обтекаемые (рис. 1,а,б) и рамные (рис. 1,в), а также на содержащие прочные сферические (рис. 1,а) и цилиндрические трубчатые (рис. 1,б,в) оболочки ограниченного диаметра.

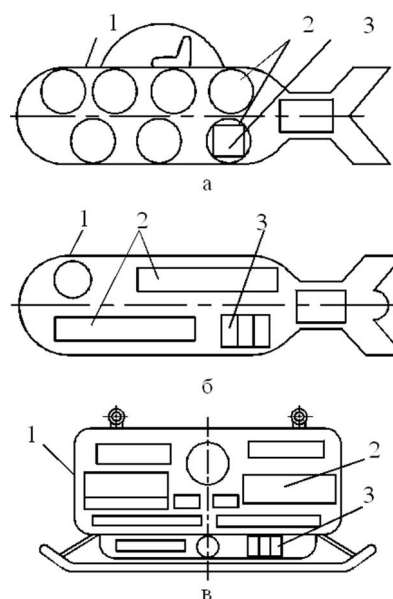


Рис. 1. Конструктивные схемы самоходного обитаемого (а) и необитаемого (б), а также спускаемого (в) подводных аппаратов: 1 – корпус; 2 – оболочка системных блоков и элементов; 3 – трансформатор

Разработанными в Николаевском кораблестроительном институте (Национальном университете кораблестроения) имени адмирала Макарова подводными техническими объектами [6] с электрооборудованием, заключенным в цилиндрические трубчатые оболочки, являются самоходные аппараты "Атлеш" и "The North Star", а также спускаемые рамные аппараты "Агент-1" (рис. 2) и "Софокл".



Рис. 2. Спускаемый подводный аппарат рамного исполнения "Агент-1"

Подводными техническими объектами [7] с внутрикорпусными и внешними сферическими оболочками комплектующего оборудования являются самоходные аппараты "Скарус" (рис. 3) и "МТК-200" (рис. 4).

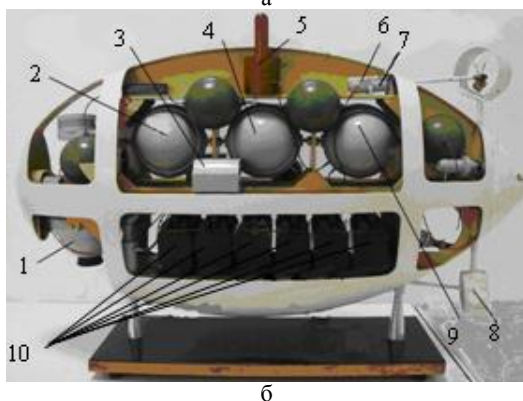
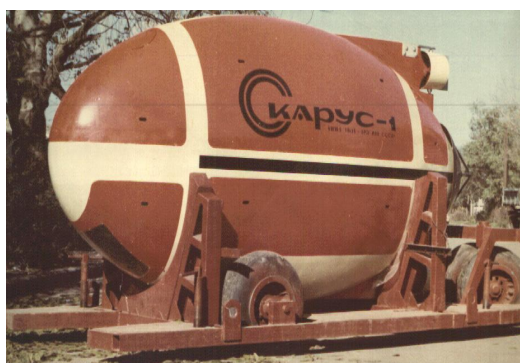


Рис. 3. Необитаемый автономный самоходный спускаемый аппарат "Скарус-1": 1 – полезный груз; 2 – навигационная и информационно-управляющая системы;

3 – крено-дифференциальная система; 4 – блок трансформатора; 5 – система связи; 6 – гребной электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – гребной винт; 9 – регулируемый преобразователь; 10 – аккумуляторная батарея

Примерами подводных технических объектов, содержащих "навесные" трансформаторы являются спускаемые водолазные камеры ("колокола") глубоководных комплексов "ГВК" [8]. Такие комплексы базируются на судах-носителях и обеспечивают погружение акванавтов на глубины до 500 м при морском подводном исполнении и на глубины до 1000 м при герметичном исполнении силового электрооборудования. Элек-

троснабжение системы электрооборудования (рис. 5,а) водолазного колокола линейным напряжением 27 В обеспечивается через кабель-шланг-трос с входным напряжением до 1000 В на судне-носителе. Погружной понижающий трехфазный трансформатор размещен в отдельном корпусе в верхней части колокола (рис. 5,б). Пониженное напряжение используется для питания электродвигателей агрегатов подогрева и очистки дыхательно-газовой смеси и цепей внутреннего электрического освещения.

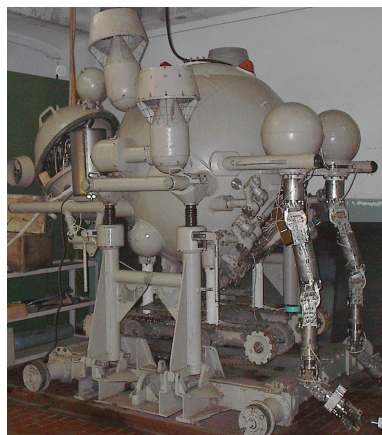


Рис. 4. Самоходный (в погружном и доном положениях) спускаемый подводный аппарат "МТК-200"

Известны также разработки волновых и приливных электростанций [10], которые могут комплектоваться "подвесными" и "обтекаемыми" погружными трансформаторами. Приливные электростанции содержат турбины в туннельных цилиндрических корпусах соединяющих наполнительные бассейны с морем. В процессе чередования приливов и отливов ротор генератора вращается противоположно. Массогабаритные и энергетические характеристики генерирующего агрегата могут быть улучшены, на основе внешнего естественного принудительного водяного охлаждения, при встраивании в цилиндрический корпус турбины генератора и погружного трансформатора. Разработка подобного трансформатора с соответствием конфигурации активно-конструктивной части направленному вдоль оси агрегата потоку охлаждения и погружное исполнение генератора обеспечат максимальные удельные показатели электромеханической системы генерирования энергии [13].

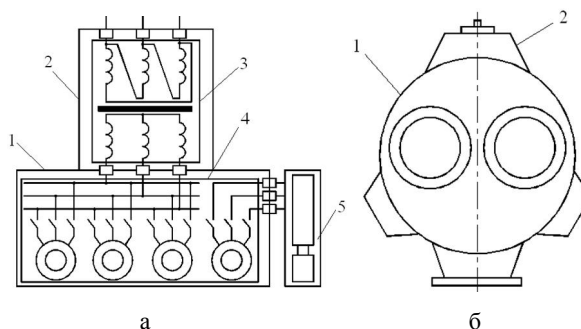


Рис. 5. Упрощенная электрическая схема с составом силового электрооборудования (а) водолазного колокола (б): 1 – корпус колокола; 2 – корпус трансформатора; 3 – трансформатор; 4 – система электрооборудования агрегатов подогрева и очистки дыхательно-газовой смеси, 5 – блок преобразователя и аккумуляторной батареи

Трехфазные группы с однофазными тороидальными трансформаторами встроенными, совместно с электродвигателями ограниченного диаметра, в конечных трубчатых элементах, являются важными составляющими систем электропривода скваженных насосов и бурового оборудования. Согласно [14], в насосах добычи нефти и в электрических бурах используются асинхронные двигатели с малыми диаметрами и повышенными длинами десяти типоразмеров ПЭД 20...ПЭД 125 мощностью 20-125 кВт с различными рабочими напряжениями от 700 до 2000 В. Все двигатели ПЭД получают энергию от питающих кабелей с рабочим напряжением 3300 В и внешних трансформаторов соответствующей мощности. Потери напряжения при передаче энергии к погруженному электромеханическому блоку, в зависимости от номинального напряжения и мощности ПЭД, составляет 16-55 В [14].

АНАЛОГИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ КОМПАКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

На массогабаритные и энергетические показатели, а также надежность входящего в объекты подводной, авиационно-космической и погружной насосно-буровой техники [4-14] блочного оборудования в прочных цилиндрических и сферических оболочках существенно влияют трансформаторы. Наиболее востребованные в "традиционном" производстве индукционных статических устройств планарные ЭМС однофазных и трехфазных трансформаторов [1, 2] не удовлетворяют условиям компактного встраивания в указанные оболочки и характеризуются массогабаритными показателями, не соответствующими требованиям объектов специальной техники. Конструктивно приспособленными для размещения в ограниченных сферических и цилиндрических объемах являются симметричные пространственные ЭМС [5, 8]. Трансформаторы с трехфазными ЭМС размещаются в сферических (рис. 1,а), навесных (рис. 5) или подвесных корпусах [5, 8, 13]. В трубчатые корпуса-оболочки ограниченного диаметра устанавливаются групповые трехфазные преобразователи с однофазными тороидальными трансформаторами (рис. 1,б,в) [6].

Тороидальные трансформаторы [1] содержат один из однофазных вариантов пространственных структур ЭМС с конфигурацией внешнего контура, которая соответствует окружности (рис. 6). Их особенностью является неплотная укладка витковых проводников над торцевыми поверхностями кольцевого магнитопровода. Наличие полых пространств между витками (рис. 6) обусловлено различием величин диаметров $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{в}}$ кольцевого магнитопровода и учитывается при расчетах трансформаторов увеличенными на 8-15 % значениями коэффициента укладки обмотки. Указанная неплотность а также смещения на угол α_m противоположных торцевых участков витка (рис. 6,а), повышают среднюю длину витка, потери и материалоемкость обмотки. Вызванное участками полного пространства ухудшение теплоотвода, а также малый радиус изгиба на 90° угловых зон внутренних витков, снижают надежность тороидальных трансформаторов (рис. 6).

Трехфазные пространственные симметричные аксиальные ЭМС (рис. 7) трансформаторов с улучшенными массогабаритными показателями и пониженными

потерями в стали выполняются на стыковых комбинированных (шихтованных стержнях, витые ярма) и витых (с двухконтурными фазными элементами) магнитопроводах. Наилучшими массогабаритными показателями (вторая половина прошлого века) отличалась ЭМС (рис. 7,а), а использование в ЭМС (рис. 7,б) текстурованной электротехнической стали (ЭТС) обеспечило минимальные потери в стали трансформатора [2].

В "традиционных" конструкторско-технологических решениях активной части трансформаторов малой, средней и большой мощности [1, 2] структуры планарных и пространственных ЭМС сформированы плоскими параллельными, а также цилиндрическими образующими поверхностями (ОП) стержней и обмоточных окон [15].

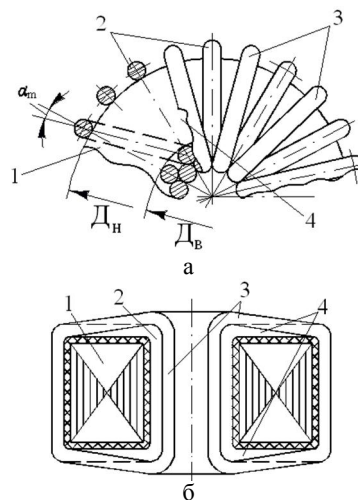


Рис. 6. Конструктивно-технологические особенности на фрагменте вида сверху (а) и поперечном разрезе (б) тороидальной электромагнитной системы:
1 – магнитопровод; 2 – витки первого (внутреннего) слоя;
3 – витки второго слоя; 4 – пустое пространство

Плоские ОП планарных ЭМС массового выпуска обеспечивают низкую трудоемкость производства шихтованных и витых магнитопроводов на основе фактора идентичности ширины слоев ЭТС в сечении стержней, но создают прямоугольную форму витков катушек обмоток. Прямоугольная форма (внутренние витки на рис. 6,б) повышает среднюю длину витка и снижает прочность изоляции при малом радиусе прямоугольного изгиба проводника [2]. Криволинейная форма витков катушек с цилиндрическими ОП (рис. 7) уменьшает среднюю длину витка, но значительно усложняет и удорожает технологию производства магнитопроводов.

Технология усложняется необходимостью набора сечений стержней (рис.7,а) и ярем (в планарных магнитопроводах) из секций ЭТС различной ширины, а также необходимостью навивки фазных элементов (рис. 7,б) из ленты (рулона) ЭТС изменяющейся ширины [2]. Другим недостатком планарных и пространственных ЭМС с цилиндрическими ОП является изменяющаяся (на рис. 7 – в радиальном направлении) площадь и неравномерное заполнение обмоточного окна проводящим и изоляционно-конструкционными материалами обмотки, что повышает материалоемкость и потери в стали магнитопровода [15].

При проектных исследованиях силовых трансформаторов [2] основными являются характеристики определяющие энергетические и стоимостные показатели технического уровня (ПТУ). При специальном

исполнении трансформаторов (измерительные, сварочные, преобразовательные, встраиваемые, ...) к их конструкциям и характеристикам предъявляются соответствующие специфические требования.

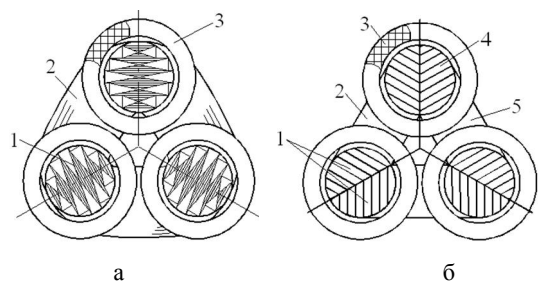


Рис. 7. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) трёхфазных пространственных электромагнитных систем с комбинированным (а) и витым (б) магнитопроводами и цилиндрическими образующими поверхностями стержней и обмоточных окон: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки; 4 – стержневой участок фазного элемента магнитопровода; 5 – ярменный участок фазного элемента магнитопровода

Массогабаритные и другие технические характеристики блоков и систем электрооборудования, а также рассмотренных выше объектов техники в целом, могут быть существенно улучшены преобразованием структур ЭМС и приданием трансформаторам форм соответствующих указанным блокам [4-15].

Оценка результативности структурных преобразований ЭМС может быть выполнена методом, заключающимся в представлении оптимизационной целевой функции $F_{цфi}$ в виде произведения двух сомножителей [16, 17]

$$F_{цфi} = \left(4\sqrt{\Pi_{ид}}\right)^3 F_{пi}. \quad (1)$$

Первый сомножитель (1) является функцией исходных данных и электромагнитных нагрузок в виде показателя исходных данных $\Pi_{ид}$, определяющегося номинальной мощностью, средним значением амплитуды индукции в стержне, частотой сети, плотностями токов обмоток, энергетическими коэффициентами нагрузки и трансформатора, изменением напряжения под нагрузкой, а также предварительно заданным коэффициентом полезного действия трансформации энергии. Второй сомножитель (1) является функцией одного из трех ($i = 3$) ПТУ, а именно относительных показателей массы $F_{пм}$, стоимости $F_{пс}$ и потерь активной мощности $F_{пн}$ ЭМС. Каждый из относительных показателей $F_{пi}$ является функцией коэффициента заполнения обмоточного окна проводящим материалом обмотки (класса напряжения) K_{30} и трех универсальных (идентичных и приемлемых для любой из существующих и возможных вариантов ЭМС [17] геометрических управляемых переменных: отношения a_m диаметров расчетных окружностей магнитопровода, отношения λ_0 высоты и ширины обмоточного окна и расчетного контурного угла стержня α_c [16]

$$F_{пi} = f(K_{30}, a_m, \lambda_0, \alpha_c). \quad (2)$$

Структурная оптимизация вариантов ЭМС трансформатора заключается в сравнительном анализе совокупности $F_{пi}$ при соблюдении принципа электромагнитной эквивалентности ЭМС. Этому принципу соответствуют идентичности мощности, напряжений обмоток, назначения и исполнения при одинаковых электромагнитных нагрузках сравниваемых ЭМС. Сравни-

тельный анализ выполняется на основе оптимизации вариантов ЭМС по целевой функции (2) и частным критериям, то есть определением и сопоставлением экстремальных значений $F_{пi\min}$, $F_{пс\min}$, $F_{пн\min}$. При этом, в зависимости от частного критерия, $F_{пi}$ является также функцией соотношения плотностей, стоимостей или удельных потерь активных материалов. Первый сомножитель (1) при структурной оптимизации ЭМС не используется и принимается, в соответствии с принципом электромагнитной эквивалентности, идентичным для сравниваемых ЭМС. Этот сомножитель может быть использован в поэтапной параметрической оптимизации трансформатора конкретного исполнения при заданных проектных ограничениях.

Геометрические соотношения ЭМС трансформаторов входящих в системы специального электрооборудования должны соответствовать особенностям соответствующих объектов техники [4-14]. Исходя из изложенной выше специфики, кроме главных массо-стоимостных и энергетических ПТУ, при сравнительном анализе возможных вариантов ЭМС указанных трансформаторов во внимание должен применяться показатель заполнения контурного сферического (цилиндрического) объема

$$\Pi_{oc(ц)} = V_{эмс} / V_{c(ц)}, \quad (3)$$

где $V_{эмс}$ – геометрический объем ЭМС трансформатора; $V_{c(ц)}$ – объем охватывающей максимальные габаритные размеры ЭМС сферы (цилиндра).

Нетрадиционным техническим решением повышения компактности трехфазного трансформатора является использование пространственной аксиальной ЭМС [5, 15] с секторными образующими контурами сечений стержней, обеспечивающими параллельность стенок обмоточных окон (рис. 8,а). Однако витой стыковый магнитопровод ЭМС (рис. 8,а), как и магнитопровод ЭМС (рис. 7, а) содержит ярма с плоскими параллельными стыковыми и внешними торцевыми поверхностями, что не вполне соответствует сферической форме.

Повышенным заполнением описанной окружности и сферического объема при встраивании отличается исходное техническое решение трехфазного трансформатора [18] с внешним кольцевым ярмом и симметричным радиальным расположением стержней шихтованного стыкового магнитопровода (рис. 8,б). Первый трехфазный трансформатор схемы (рис. 8,б) не нашел дальнейшего практического применения в связи со значительными отходами ЭТС при изготовлении магнитопровода и последующей разработкой трехфазного планарного магнитопровода шихтованного "впереплет" из прямоугольных листов ЭТС [18].

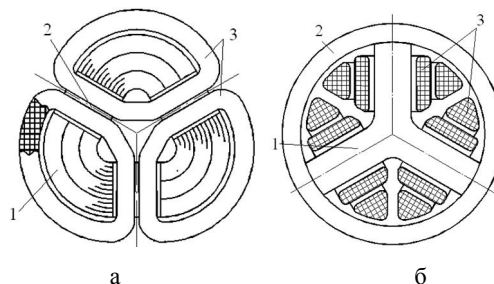


Рис. 8. Конструктивные схемы (в поперечном сечении) трёхфазных пространственных аксиальной (а) и радиальной (б) электромагнитных систем повышенной компактности: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

ВАРИАНТЫ СТРУКТУРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОМПАКТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Отмеченные выше недостатки и конструктивно-структурные особенности различных вариантов ЭМС указывают на необходимость усовершенствования трансформаторов рассмотренного назначения исходя из условия повышения показателя (3). В качестве аналогов разработки специальных компактных однофазных и трехфазных трансформаторов могут быть взяты варианты пространственных ЭМС (рис. 6-8), которые усовершенствуются структурным преобразованием магнитопроводов и обмоток. Исходя из концепции многоплоскостных ОП и $n \geq 3$ образующих контуров элементов активной части [15], конфигурации однофазной и трехфазных ЭМС преобразуются до видов (рис. 9-11).

На рис. 9 представлена однофазная ЭМС с трехстержневыми шихтованным "впереплет" (рис. 9,а) и витым разрезным (рис. 9,б) магнитопроводами, а также трехугольной первичной (вторичной) обмоткой.

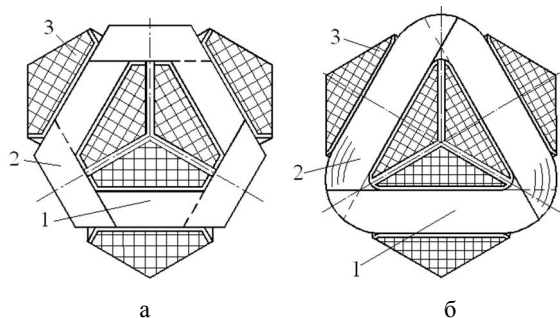


Рис. 9. Варианты конструктивных схем (в поперечном сечении) однофазной пространственной электромагнитной системы с трёхстержневым шихтованным "впереплет" (а) и витым стыковым секционированным (б) магнитопроводами: 1 – стержень; 2 – ярмо; 3 – катушка обмотки

Структура обмоток ЭМС (рис. 9) аналогична обмоткам планарных ЭМС [1, 2] и лишена известных отмеченных выше недостатков тороидальной намотки.

На рис. 10 изображены варианты трехфазной радиальной ЭМС с двухконтурными фазными элементами шихтованного "впереплет" (рис. 10,а) и витого разрезного (рис. 10,б) магнитопроводов. Рис. 11 характеризует конструктивно-технологические особенности трехфазной аксиальной ЭМС (рис. 11,а) с двухконтурными фазными элементами и шестигранным сечением стержней витого магнитопровода. Каждая секция (рис. 11,б) трехсекционного магнитопровода ЭМС (рис. 11,а) навивается, с целью обеспечения заданной формы сечения стержня, из ленты (рулона) ЭТС с осевым смещением витков [15].

Все варианты нетрадиционных конструкций компактных ЭМС (рис. 9-11) характеризуются "безотходной" технологией изготовления магнитопроводов известными способами из исходного рулона ЭТС постоянной ширины. При организации их серийного изготовления не требуется коренной перестройки существующего производства трансформаторов.

Для решения задач практического использования новых технических решений активной части трансформаторов компактного исполнения необходима разработка, на основе (1) – (3), соответствующих математических моделей структурной оптимизации и методик расчета геометрических соотношений вариантов ЭМС (рис. 9-11).

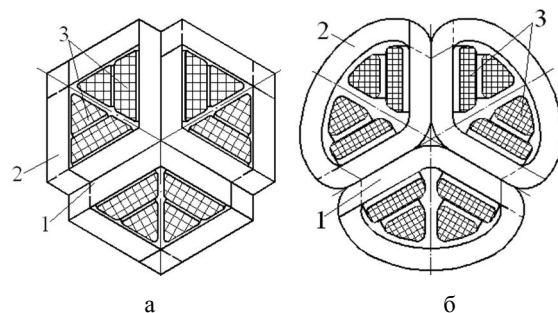


Рис. 10. Варианты конструктивных схем (в поперечном сечении) трёхфазной пространственной электромагнитной системы с двухконтурными фазными элементами шихтованного "впереплет" (а) и витого стыкового секционированного (б) магнитопроводов: 1 – стержневой участок фазного элемента; 2 – яремный участок фазного элемента; 3 – катушка обмотки

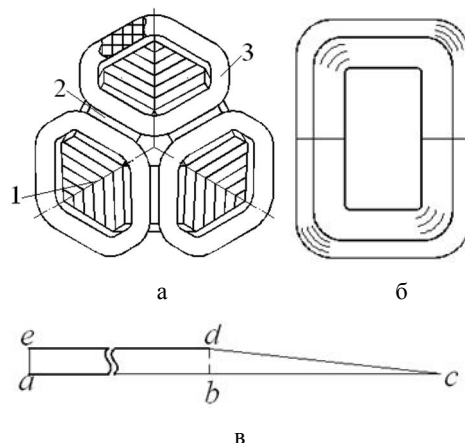


Рис. 11. Конструктивная схема (в поперечном сечении) трёхфазной пространственной аксиальной электромагнитной системы с трехсекционным магнитопроводом (а), секция магнитопровода (б) и заготовка ленты электротехнической стали (в) для навивки секции магнитопровода: 1 – стержневой участок фазного элемента; 2 – яремный участок фазного элемента; 3 – катушка обмотки

ВЫВОДЫ

1. Структура и геометрические соотношения ЭМС компактных трансформаторов, в частности электроэнергетических систем подводных аппаратов и комплексов, должны соответствовать сферам и цилиндрам минимальных диаметров и, совместно с другим оборудованием, максимально заполнять их внутренний объем.

2. Технические решения традиционных и состоящих в производстве ЭМС однофазных и трехфазных трансформаторов не удовлетворяют в достаточной степени требованиям компактности и надежности.

3. Усовершенствование и повышение показателей компактности трансформаторов при использовании традиционных способов и вариантов "безотходной" технологии производства магнитопроводов может быть достигнуто на основе структурной оптимизации ЭМС с нетрадиционной конфигурацией стержней, ярем и катушек обмоток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бальян Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектрики. – М.: Сов. Радио, 1971. – 720 с.
2. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учебное пособие для вузов. – 5-е изд. Перераб. и доп. – М. Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

3. Шидловський А.К., Федоренко Г.М. Макроекономічні та електротехнічні тренди в електроенергетиці України 1900-2000 р. // Техн. електродинаміка. – 2002. – № 5. – С. 3-12.
4. Блинцов В.С. Проблемы и пути развития электрооборудования и автоматики подводных аппаратов// Проблемы автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської наук.-техн. конф. з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 257-269.
5. Ставинский А.А. Особенности назначения и использования специальных электрических машин // Электротехника і електромеханіка. – 2008. – № 1. – С. 44-48.
6. Блинцов В.С. Привязные подводные системы. – Київ: Наукова думка, 1998. – 232 с.
7. Блинцов С.В. Автоматичне керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності. – Миколаїв: ТОВ "Фірма Іліон", 2008. – 204 с.
8. Ставинский А.А., Забора И.Г. Усовершенствование оборудования водолазных комплексов на основе специальных исполнений электромеханических устройств// Проблемы автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської наук.-техн. конф. з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2006. – С. 194-202.
9. Милн П. Подводные инженерные исследования.– Л.: Судостроение, 1984. – 340 с.
10. Коробков В.А. Преобразование энергии океана – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
11. Куландин А.А., Тимашов С.В., Иванов В.П. Энергетические системы космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972. – 427 с.
12. Основы электрооборудования летательных аппаратов. Ч.1,2 / Под ред Д.Э. Брускина. – М: Высш. школа, 1978. – 263 с.
13. Ставинский А.А., Шевченко В.В., Чекунов В.К. Возможности усовершенствования судовых электромеханических комплексов на основе нетрадиционных технических решений электрических машин // Электронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування" – Миколаїв: НУК, 2010. – № 2. – С. 98-105.
14. Месенжник Я.З., Осягин А.А. Силовые кабельные линии для погружных электросистем. – М.: Энергоатомиздат, – 1987. – 240 с.
15. Ставинский А.А., Ставинский Р.А. Классификации структур и элементов электромагнитных систем электромеханических и индукционных статических преобразователей// Электротехника і електромеханіка. – 2008. – № 2. – С. 53-58.
16. Ставинський Р.А. Масо-вартісна модель трифазного трансформатора малої потужності з просторовим магнітопроводом // Preseedings of the "4th Internatoinal modeling school of AMSE-UAPL" Crimea, Alushta, September 12-17. – Rzeszow, Poland. – 2000. P. 245-248.
17. Ставинский Р.А. Нетрадиционные технические решения, постановка задачи и метод структурной оптимизации индукционных статических устройств// Вісник КДУ.– Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4, Ч.2. – С. 91-94.
18. Веселовский О.Н., Копылов И.П. У истоков электромеханики. Столетие трансформатора // Электротехника. – 1984. – № 11. – С. 62-63.
19. Заявка на выдачу патенту України на винахід № а 201104987, МПК НО1F 27/24. Магнітопровід індукційного статичного пристрою// А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський, Е.А. Авдеева, А.С. Садовий, А.М. Циганов; Заявл. 20.04.2011.

Bibliography (transliterated): 1. Bal'yan R.H. Transformatory dlya radio`elektriki. - M.: Sov. Radio, 1971. - 720 s. 2. Tihomirov P.M. Raschet transformatorov: Uchebnoe posobie dlya vuzov. - 5-e izd. Pererab. i dop. - M. `Energoatomizdat, 1986. - 528 s. 3. Shidlovskij A.K., Fedorenko G.M. Makroekonomichni ta elektrotehnichni trenди v elektroenergetiki Ukraїni 1900-2000 r. // Tehn. elektrodinamika. - 2002. - № 5. - S. 3-12. 4. Blincov V.S. Problemy i puti razvitiya `elektrooborudovaniya i avtomatiki podvodnyh apparatov// Problemi avtomatiki ta

elektroobladnannya transportnih zasobiv: Materiali Vseukraїns'koi nauk.-tehn. konf. z mizhnarodnoyu uchastyu. - Mikolaїv: NUK, 2007. - S. 257-269. 5. Stavinskij A.A. Osobennosti naznacheniya i ispol'zovaniya special'nyh `elektricheskikh mashin // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2008. - № 1. - S. 44-48. 6. Blincov V.S. Privyaznye podvodnye sistemy. - Kiїv: Naukova dumka, 1998. - 232 s. 7. Blincov S.V. Avtomatichne keruvannya avtonomnimi pidvodnimi aparatami v umovah neviznachenosti. - Mikolaїv: TOV "Firma Ilion", 2008. - 204 s. 8. Stavinskij A.A., Zabora I.G. Usovershenstvovanie oborudovaniya vodolaznyh kompleksov na osnove special'nyh ispolnenij `elektromehani cheskikh ustrojstv// Problemi avtomatiki ta elektroobladnannya transportnih zasobiv: Materiali Vseukraїns'koi nauk.-tehn. konf. z mizhnarodnoyu uchastyu - Mikolaїv: NUK, 2006. - S. 194-202. 9. Miln P. Podvodnye inzhenernye issledovaniya.- L.: Sudostroenie, 1984. - 340 s. 10. Korobkov V.A. Preobrazovanie `energii okeana - L.: Sudostroenie, 1986. - 280 s. 11. Kulandin A.A., Timashov S.V., Ivanov V.P. `Energeticheskie sistemy kosmicheskikh apparatov. - M.: Mashinostroenie, 1972. - 427 s. 12. Osnovy `elektrooborudovaniya letatel'nyh apparatov. Ch.1,2 / Pod red D. E. Bruskina. - M: Vyssh. shkola, 1978. - 263 s. 13. Stavinskij A.A., Shevchenko V.V., Chekunov V.K. Vozmozhnosti usovershenstvovaniya sudovykh `elektromehani cheskikh kompleksov na osnove netradicijnykh tehni cheskikh reshenij `elektricheskikh mashin // Elektronne vidannya "Visnik Nacional'nogo universitetu korablebuduvannya" - Mikolaїv: NUK, 2010. - № 2. - S. 98-105. 14. Mesenzhnik Ya.Z., Osyagin A.A. Silovye kabel'nye linii dlya погружных `elektrosistem. - M.: `Energoatomizdat, - 1987. - 240 s. 15. Stavinskij A.A., Stavinskij R.A. Klassifikacii struktur i `elementov `elektromagnitnykh sistem `elektromehani cheskikh i indukcijnykh staticheskikh preobrazovatelej// Elektrotehnika i elektromehanika. - 2008. - № 2. - S. 53-58. 16. Stavinskij R.A. Maso-vartisna model' trifaznogo transformatora maloї potuzhnosti z prostоровim magnitoprovodom // Preseedings of the "4th Internatoinal modeling school of AMSE-UAPL" Crimea, Alushta, September 12-17. - Rzeszow, Poland. - 2000. P. 245-248. 17. Stavinskij R.A. Netradicijnyye tehni cheskie resheniya, postanovka zadachi i metod struktурной optimizacii indukcijnykh staticheskikh ustrojstv// Visnik KDU.- Kremen chuk: KDU, 2010. - Vip. 4, Ch.2. - S. 91-94. 18. Veselovskij O.N., Kopylov I.P. U istokov `elektromehani ki. Stoletie transformatora // `Elektrotehnika. - 1984. - № 11. - S. 62-63. 19. Zayavka na vidachu patentu Ukraїni na vinahid № a 201104987, MPK NO1F 27/24. Magnitoprovod indukciynogo statichnogo pristroyu// A.A. Stavinskij, R.A. Stavinskij, E.A. Avdeeva, A.S. Sadovij, A.M. Ciganov; Zayavl. 20.04.2011.

Поступила 04.11.2011

Блинцов Владимир Степанович, д.т.н., проф., Авдеева Елена Андреевна, м.н.с.

Национальный университет кораблестроения им адмирала Макарова
54025, Николаев. пр. Героев Сталинграда, 9
тел. (0512) 431174, e-mail: blintsov@mksat.net.

Ставинский Ростислав Андреевич, к.т.н. доц., Садовой Алексей Степанович

Николаевский государственный аграрный университет
кафедра энергетики аграрного производства
54010, Николаев, ул. Парижской коммуны, 9
тел. (0512) 399301, (063) 3641043,
e-mail: strostand@mail.ru, sadovuy@rambler.ru

Blintsov V.S., Stavinskij, Avdeeva E.A., Sadovoy A.S.
Transformers for specialized engineering objects embedding into limited-diameter shells and their improvement problem formulation.

Analysis of application objects and design features of compact single- and three-phase transformers of underwater and other specialized electrical equipment is performed. Problems and opportunities of the transformers improvement through transformation of the generatrix of element contours and structural optimization of electromagnetic systems are specified.

Key words – spherical and cylindrical shells, built-in transformer, compact electromagnetic system.