

УДК 621.313

Н. Н. ЗАБЛОДСКИЙ, В. Е. ПЛЮГИН

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШНЕКОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ РОТОРОМ

В статье рассмотрена конструкция и приведена подробная методика проектирования электродвигателя шнекового типа с массивным ротором, предназначенного для нагрева, перемешивания и транспортировки сыпучих материалов, с применением принципов объектно-ориентированного проектирования. Приведены результаты практических расчетов по рассматриваемой методике в разработанной авторами компьютерной программе.

Ключевые слова: электродвигатель, шнек, массивный ротор, проектирование, объектно-ориентированный, методика, программа.

Введение. Применение принципов объектно-ориентированного проектирования рассматривается для электродвигателя шнекового типа (ЭДШ), обладающего несколькими технологическими функциями, совмещенными в одном устройстве [1]. Благодаря концепции наследования можно создать классовую структуру ЭДШ, порожденную от нескольких базовых, каждая из которых выполняет определенную технологическую функцию. При этом функции реальных модулей воспроизводятся расчетными блоками соответствующих классов. Таким образом, созданный в результате наследования класс-потомок будет сочетать в себе свойства базовых родительских классов [2, 3–5].

Рассматривается классовое представление ЭДШ шнекового типа с внешним массивным ротором, совмещающего в себе функции сушки, перемешивания и транспортировки сыпучих материалов [6]. Партия из трех двухмодульных ЭДШ мощностью 90 кВт была изготовлена на ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса» и внедрена в производственный процесс смешивания и сушки угольного шлама на ОАО «ЦОФ Селидовская». Конструкция ЭДШ представлена на рис. 1.

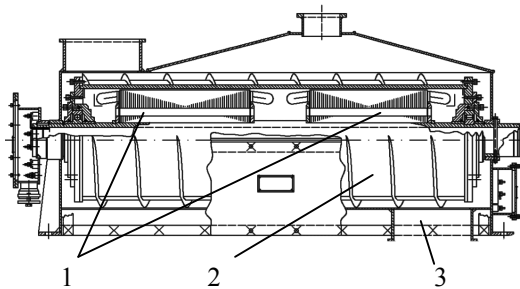


Рис. 1 – Конструктивная схема двухстаторного ЭДШ:
1 – статоры; 2 – массивный ротор шнека;
3 – нагревательная система днища

ЭДШ (см. рис. 1) состоит из двух модулей, работающих в режиме противовключения. Два статора, посаженные на общий полый вал, создают встречно направленные электромагнитные моменты, обеспечивая необходимую скорость вращения полового цилиндра общего ротора без применения механического редуктора [7]. Ротор с витками шнека транспортирует и нагревает рабочий материал.

Цель и задачи исследований. Целью работы

является повышение технико-экономических показателей электродвигателя шнекового типа с массивным ротором путем применения прогрессивных принципов и методики объектно-ориентированного проектирования.

Постановка задачи. Для получения классового представления ЭДШ, необходимо выделить ключевые слова, отражающие его конструктивные узлы [2, 8]:

- *статор; статор внутренний; ротор; ротор массивный; паз; обмотка; провод; асинхронный двигатель; электрическая машина.*

Данные ключевые слова следует рассматривать как названия классов, содержащих параметры электрической машины (ЭМ) и расчетные блоки, индивидуальные для каждого из классов. Параметры классов и расчетные блоки, характеризующие работу и свойства ЭДШ, можно выделить уже на раннем этапе проектирования (рис. 2), а именно:

- *параметры;*
- *энергетические показатели;*
- *коэффициенты и постоянные.*

Целесообразно выделенные расчетные блоки и переменные включить в соответствующие классы как функции и переменные самого класса, а не как отдельные классы (см. рис. 2).

На рис. 2 главная композиция *Асинхронный двигатель*, являющаяся прямым потомком абстрактного базового класса ЭМ, включает в себя две композиции *Статор* и *Ротор*, каждая из которых содержит вложенный абстрактный класс *Паз*, конкретная реализация которого (*Тrapeцеидальный паз* или *Овальный паз*) осуществляется динамически при инициализации классов машины. Фактической реализацией абстрактного класса *Ротор* является класс *Массивный ротор*. При этом, класс *Массивный ротор* может быть без пазов, т.к. наличие родительского класса с пазами не обязывает классы-потомки наследовать все характеристики. Наоборот, производный класс может отсекал ненужные признаки, или же вносить свои собственные.

Для выделенных классов выполняется распределение переменных по классовой принадлежности. К классам добавляется пользовательский интерфейс и расчетные блоки. Таким образом, получается полный объектно-ориентированный проект ЭДШ, выраженный аналитическими символами и формулами.

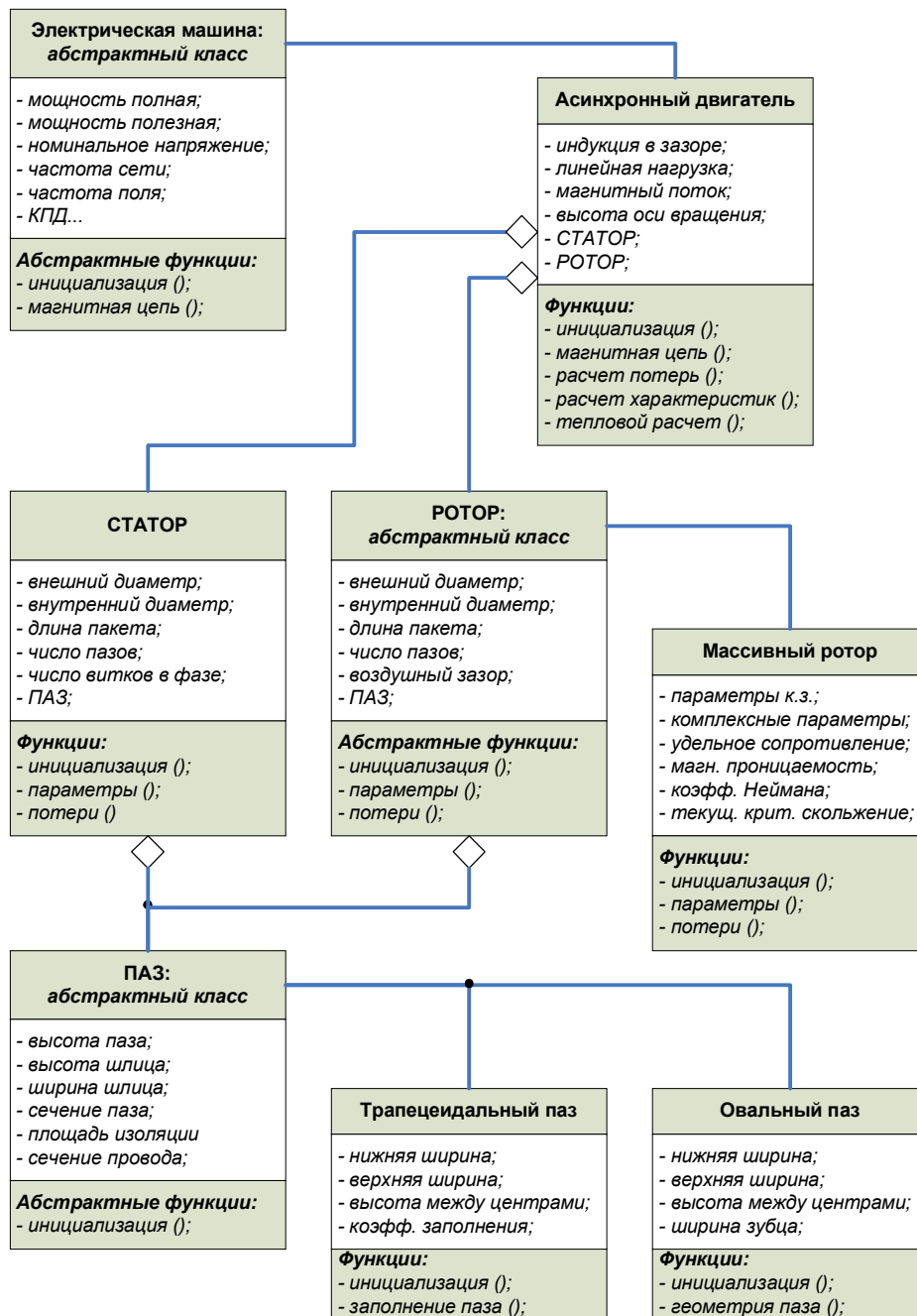


Рис. 2 – Иерархия наследования электромеханической структуры ЭДШ

Проектный синтез ЭДШ будет отличаться от структуры классов асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором только телом класса *Массивный ротор* (МР) и входящими в него переменными и функциями.

Класс *Массивный ротор* содержит следующие расчетные функции, которые являются ничем иным, как фактической реализацией абстрактных функций родительского класса *РОТОР*:

- инициализация;
- расчет параметров;
- расчет потерь;
- механический расчет вала на прочность.

В качестве примера схема расчета параметров массивного ротора ЭДШ показана на рис. 3.

На рис. 4 представлена общая блок-схема классов ЭДШ, иллюстрирующая изменения, вносимые в уже существующий проект АД. Если посмотреть на объем проделанной работы, то очевидно одно из главных преимуществ объектно-ориентированного проектирования (ООП) – для разработки нового проекта потребовалось добавить лишь один класс.

Все остальные переменные и расчетные блоки были унаследованы от ранее разработанных классов. Кроме того, вызов расчетных блоков также не изменился благодаря абстракции и полиморфизму. Практически это означает, что интерфейс проекта не был затронут введением нового класса и не потребовал модификации.

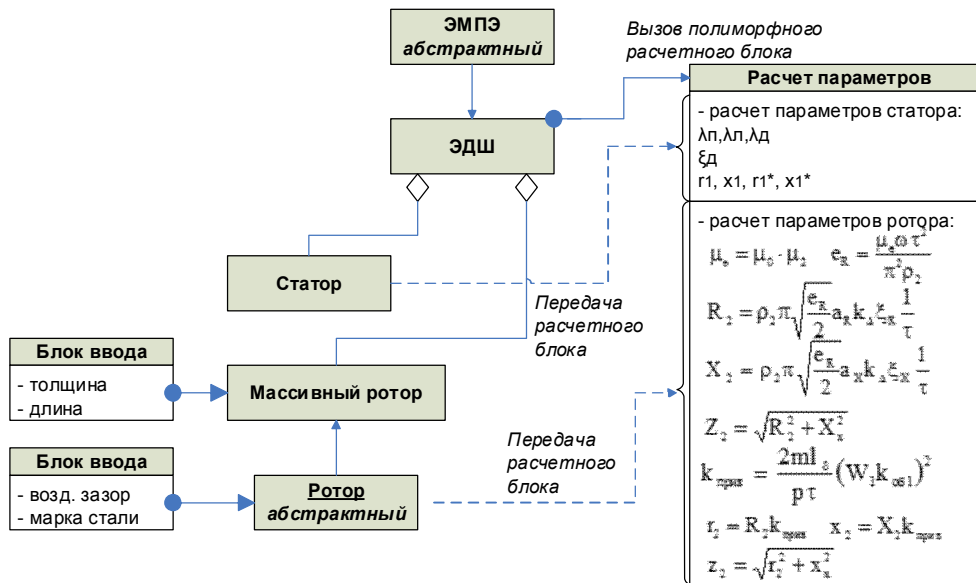


Рис. 3 – Блок-схема расчета параметров ротора ЭДШ

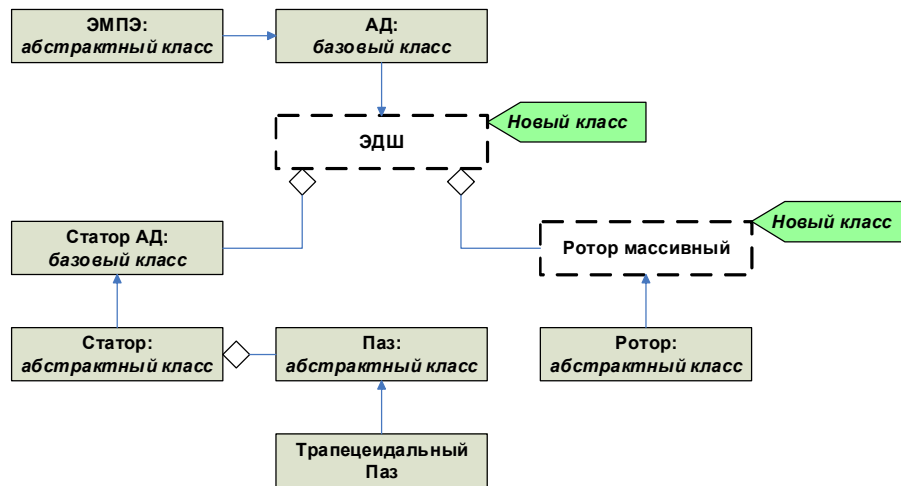


Рис. 4 – Упрощенная блок-схема классов ЭДШ.

Таким образом, затраты на разработку проекта оказываются на порядок меньше, чем если бы проект носил процедурный характер.

При рассмотрении методики ООП ЭДШ на основе классового представления целесообразно придерживаться последовательности вызова расчетных блоков и переменных дерева классов, а не порядка их перечисления в теле соответствующих классов. В таком случае, вызов расчетных блоков для класса ЭДШ будет лучше прослеживаться.

Результаты исследований. Формирование объекта ЭДШ выполняется после принятия исходных данных. Вначале создается базовый класс машины переменного тока. Он может содержать данные, присущие всем машинам переменного тока – номинальное напряжение, мощность, синхронная частота, число фаз, рабочая температура, частота сети. Этот тип является абстрактным и служит для создания классов-потомков. Термин «абстрактный» означает, что данный класс, не может служить для создания объектов, а является лишь носителем информации. Объект же, после завершения проекта, приобретает

уникальные характеристики конкретной машины с выбранной линией наследования в дереве.

Алгоритм формирования объекта ЭДШ на базе подобъектов имеет следующий вид. При старте программы запускаются конструкторы объектов, которые приводят к построению классовой структуры ЭДШ. Порядок вызова конструкторов объекта следующий:

- 1) ЭДШ (получение исходных данных и потерь в роторе);
- 2) Статор / внутренний статор (геометрические размеры, сталь);
- 3) Ротор (геометрические размеры, сталь);
- 4) Паз (размеры и заполнение), обмотка (обмоточные данные) – запускается из конструктора паза;
- 6) Магнитная система ротора (расчет магнитной системы машины с учетом того, что ротор является массивным);
- 7) Параметры (параметры статора);
- 8) Параметры ротора;

9) Энергетические показатели ротора (расчет токов, потерь, моментов, КПД).

Класс гидродинамических процессов привносит функциональные модули, связанные с транспортировкой, перемешиванием и завихрением материала в межлопаточной области МР [9].

Класс тепловых процессов, представляется в виде двух подклассов, отражает процессы теплообмена как внутри ЭДШ, так и на внешней поверхности МР.

Поскольку на первоначальном этапе проектирования кроме задания исходных данных не произведено еще никаких расчетов, объекты, представляющие собой составные части машины создаются в виде шаблонов с нулевыми данными. Эти данные, представляющие собой геометрические размеры, применяемые материалы, электромагнитные параметры и т.д. будут получены в дальнейшем при вызове расчетных блоков соответствующих классов.

Полученных данных становится достаточно для определения основных величин, характеризующих статор ЭМ: число витков статорной обмотки, предварительное значение магнитной индукции в воздушном зазоре, модуль вторичного тока, МДС воздушного зазора, магнитное сопротивление воздушного зазора, МДС магнитной цепи машины, полный ток, линейная нагрузка, коэффициент мощности [6].

Вызываемая из класса *Паз* функция позволяет произвести расчет зубцовой зоны, после которого становятся известными максимальное t_{1max} и минимальное t_{1min} зубцовые деления, а также диапазон возможного числа зубцов статора $Z_{min} - Z_{max}$.

Далее управление расчетом передается в руки разработчика - предоставляется возможность выбора числа зубцов статора Z_1 , вида паза статора, типа обмотки (однослойная или двухслойная). После принятия этих данных производится расчет и подбор оптимального значения числа эффективных проводников U_p , выбирается число параллельных ветвей. Уточняются: число витков обмотки статора, линейная нагрузка, основной магнитный поток, магнитная индукция в воздушном зазоре.

При этом продолжение расчетов возможно, если получаемая плотность тока в обмотке статора не превышает допустимое значение.

На следующем этапе выбирается обмоточный провод, рассчитывается конфигурация и заполнение паза статора.

База данных обмоточного прямоугольного и круглого провода, заложенная в программу расчета, позволяет без труда его подобрать.

По уже известным значениям магнитных индукций в зубцах и ярме, находятся соответствующие магнитные напряженности, при выбранной марке стали листа статора. Далее производится расчет магнитной цепи машины. Как известно, тело массивного ротора в расчет цепи намагничивания не входит [10, 11]. Основные участки цепи – это зубцовая зона, ярмо статора и воздушный зазор. По известным выражениям определяем МДС воздушного зазора F_δ , зубцов F_z , ярма F_a и суммарную

МДС $F_{сум}$, коэффициент насыщения k_μ и ток намагничивания I_μ , индуктивное сопротивление ветви намагничивания.

Расчет параметров обмотки статора, а именно ее активного r_1 и индуктивного x_1 сопротивлений, производится по известным выражениям [12] с учетом конструктивного исполнения статора (внешнего либо внутреннего).

Немаловажный этап, касающийся расчета приведенных параметров МР, производится с учетом рабочей температуры, конечной длины, насыщения и, при необходимости, кривизны массивного ротора [11].

Параметры машины для скольжений, отличных от $s = 1$, находятся пересчетом по известным выражениям при учете величины приведенного тока ротора I'_2 .

По найденным параметрам определяются величины, необходимые для построения рабочих и пусковых характеристик ЭДШ. Характеристики ЭДШ рассчитываются с учетом влияния насыщения МР. Это достигается введением в расчетные формулы текущего значения критического скольжения s_{cr} . Переменной величиной в расчетах рабочих и пусковых характеристик будет текущее $s_i = s_{i-1} + \Delta s$ и критическое скольжения.

Состав функций-членов классов позволяет провести тепловой расчет ЭДШ, рассчитать пусковой режим при воздействии переменных нагрузок.

В результате наследования конечный класс ЭДШ приобретет признаки всех классов, находящихся ниже в иерархическом дереве, но с учетом собственных индивидуальных характеристик. Следующим этапом проектирования является наполнение классовой структуры ЭДШ конкретным математическим описанием.

Преимущество классового представления проявляется в том, что базовые классы внешних процессов связаны с ЭДШ только с помощью внешних независимых функциональных модулей. При смене условий работы ЭДШ (например, в среде вязкого легкоплавкого материала) будут полностью замещены базовые структуры гидродинамики и теплообмена при сохранении межклассовых связей.

Классы, представляющие «черный ящик» с множеством входов и выходов, для конечного объекта выглядят как поток данных: температура, теплопроводность, вязкость и т.д. Реализация же сложных процессов гидродинамики, тепло-массообмена и теплопередачи сокрыта внутри тела классов.

Проектирование ЭДШ реализовано на языке Java в среде разработки программного обеспечения NetBeans IDE [13]. В проекте в первую очередь формируется базовый абстрактный класс ЭМ. Ключевое слово «абстрактный» подразумевает, что класс объединяет в себе данные и методы, присущие всем машинам и не имеет объектов, т.е. фактической реализации. Как уже было сказано выше, не существует машины «в целом». Конкретной машиной будут потомки базового класса, и они уже способны

создавать свои объекты, под которые выделяется память и выполняются расчеты.

Все расчетные блоки класса являются полиморфными, т.е. при одинаковом имени меняют свое содержимое на стадии выполнения. Поведение полиморфных расчетных блоков будет определяться вызывающим ее классом-потомком.

Переадресация на нужный расчетный блок выполняется автоматически в соответствии с принятой иерархией классов. Таким образом, проявляется одна из главных особенностей ООП, когда нет необходимости в построении разветвленных логических цепочек, связанных с определением, что именно срабатывает при генерации тех или иных классов. Проект становится гибким в работе, малым в объеме и легким в отладке.

Пример стартового окна проекта показан на рис. 5. Разрабатываемое приложение направлено на проектирование цилиндрических вращающихся машин, поэтому машины будут иметь идентичный порядок расчета статора, но разные методики для расчета ротора. В связи с этим, принято решение выполнить класс ЭДШ, которая включает в себя объекты классов статора и ротора.

Пример выбора основных геометрических размеров и электромагнитных нагрузок приведен на рис. 6.

Пример страницы проекта, на которой рассчитываются параметры обмотки статора и массивного ротора, показан на рис. 7.

Результаты расчетов пусковых и рабочих характеристик показаны на рис. 8 – 9. Полученные

результаты расчетов подтверждаются сравнением с диаграммой распределения потерь в ЭДШ, полученных в ходе экспериментальных исследований (рис. 10).

Результаты расчета характеристик и экспериментальных исследований ЭДШ сведены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что расхождение между измеренными и рассчитанными значениями по абсолютному значению не превышают 18 %.

На диаграмме (см. рис. 10) расчетные значения потерь в роторе ЭДШ и потери в обмотке статора отличаются от результатов экспериментальных исследований. Такое расхождение объясняется тем, что значение потерь в роторе в ходе эксперимента определялось косвенным путем по разнице температуры ферромагнитного массива до и после эксперимента. В результате, процентное соотношение потерь перераспределилось, и, как результат, меньшее, по сравнению с расчетом, значение потерь в роторе дало больший процентный вес потерь в обмотке статора.

Для оценки теплового состояния машины была составлена эквивалентная тепловая схема, унаследованная от закрытого обдуваемого погружного асинхронного двигателя, о чем было подробно рассмотрено в работе [14].

В классе *Статор* содержатся внутренние методы, которые реализовывают не только расчет статора, параметров его обмотки, магнитной цепи и потерь, но также выполняют контроль накладываемых ограничений и автоматический расчет.

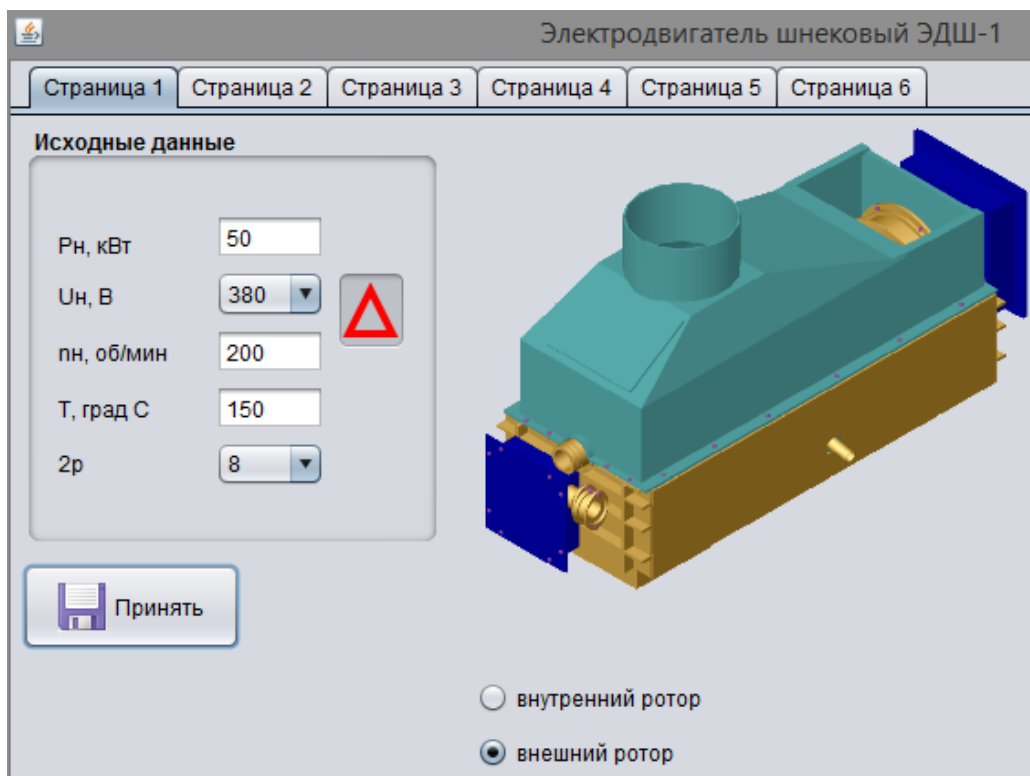


Рис. 5 – Ввод исходных данных для ЭДШ в окне программы

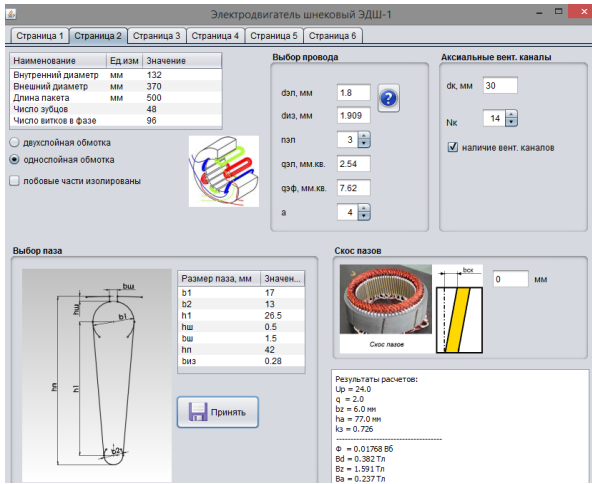


Рис. 6 – Пример расчет основных геометрических размеров ЭДШ.

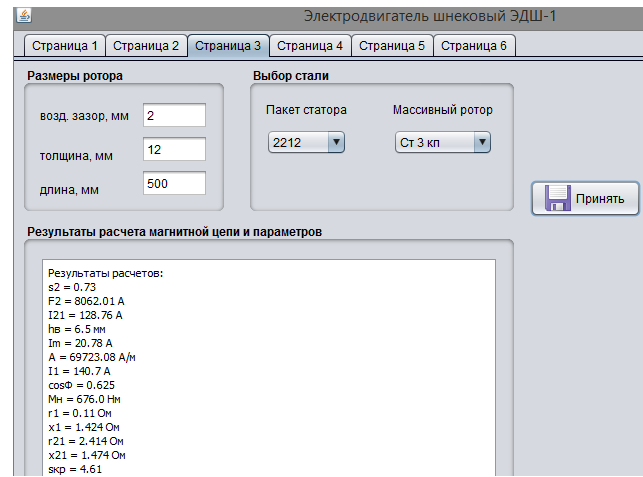


Рис. 7 – Расчет параметров и основных потерь ЭДШ.

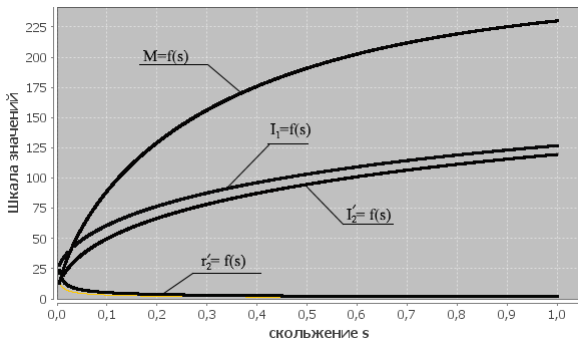


Рис. 8 – Расчетные пусковые характеристики ЭДШ.

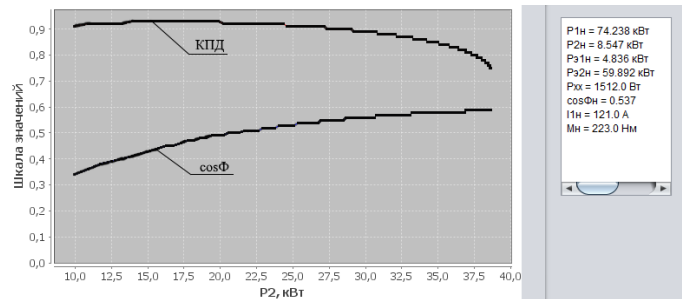
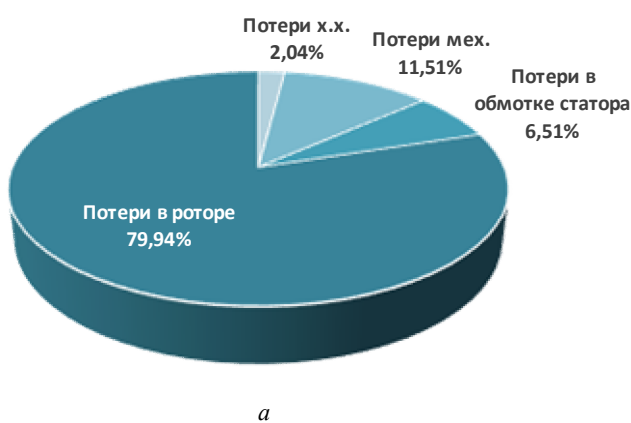
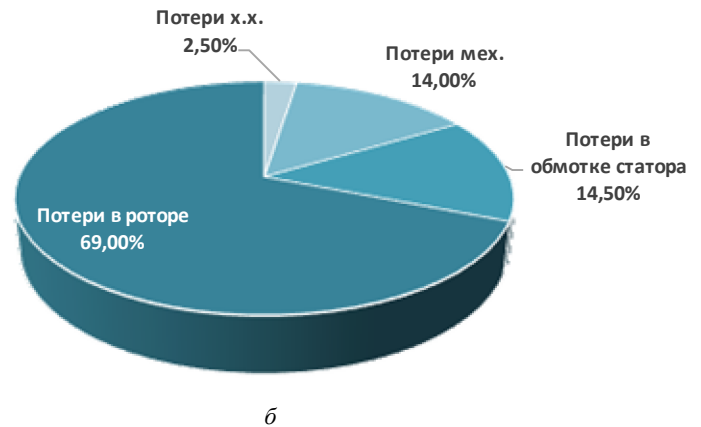


Рис. 9 – Расчетные рабочие характеристики ЭДШ.



а



б

Рис. 10 – Диаграммы распределения потерь ЭДШ при скорости 110 об/мин: а – расчет; б – эксперимент.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные значения параметров и характеристик промышленных образцов ЭДШ

Наименование	Холостой ход									Работа под нагрузкой в номинальном режиме					
	P_{ldr} , кВт	P_{lbr} , кВт	I_{ldr} , А	I_{lbr} , А	$\cos\phi_{dr}$	$\cos\phi_{br}$	M_{dr} , Н·м	M_{br} , Н·м	n , об/мин	I_{ldr} , А	I_{lbr} , А	$\cos\phi_{dr}$	$\cos\phi_{br}$	M , Н·м	n , об/мин
Эксперимент	69,6	52,4	135	100	0,455	0,46	258	215	110	136	104	0,46	0,46	175	88
Расчет	74,2	56,3	121	103	0,537	0,478	223	214	110	124	102	0,533	0,482	203	88
Отклонение, %	6,6	7,4	10,4	3,0	18,0	3,9	13,6	0,47	0	8,8	1,9	15,9	4,8	16,0	0

Принцип полиморфизма в ООП позволяет обращаться к расчетным блокам нужного класса по единому имени независимо от количества расчетных вариантов машины в проекте и инвариантному к именам создаваемых объектов. При этом вызов нужного метода осуществляется в одной строке без единого логического оператора.

Работоспособность и содержание главного программного модуля не изменяется, т.к. он включает в себя не имена расширяемых классов, а фиксированные имена их классов-родителей. Полиморфизм на стадии выполнения проекта перенаправит ссылку на требуемый программный модуль в соответствии с полученным ключом.

Выводы. Разработана методика объектно-ориентированного проектирования шнекового электродвигателя с массивным ротором, позволяющая как снизить затраты на проектирование, так и применять перспективные алгоритмы оптимизации для улучшения технико-экономических показателей электрической машины.

Выполнена программная реализация методики проектирования шнекового электродвигателя с массивным ротором на языке Java, с использованием рассмотренных принципов объектно-ориентированного проектирования. Особо следует отметить наличие программного модуля, выполняющего автоматизированный расчет машины в целом после завершения проектирования базового прототипа. Наличие такого модуля незаменимо в циклах оптимизации, где возникает необходимость в многократном пересчете ЭМ.

Список литературы: 1. Пат. 87222, Україна, МПК⁷ Н02К 41/025, В01F 13/08. Електромеханічний пристрій багатofакторної дії для обробки матеріалів / *Заблодський М.М., Шинкаренко В.Ф., Грицюк В.Ю., Гринь Г.М., Філатов М.А., Плюгін В.Є.*; заявник та патентовласник Донбаський держ. техн. ун-т. – № 201310641; заявл. 03.09.2013; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2. 2. *Плюгін В.Є.* Теоретическіе основи объектно-ориентированного расчета и проектирования электромеханических устройств: монография / *В.Е. Плюгін.* – Алчевск: Ладо, 2014. – 200 с. 3. *Черняховская Л.Р.* Объектно-ориентированное моделирование систем искусственного интеллекта: учебное пособие / *Л.Р. Черняховская.* – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т., 2006. – 90 с. 4. *Weisfeld M.* The Object-Oriented Thought Process / *Matt Weisfeld.* – London: Addison-Wesley Professional, 2013. – 336 p. 5. *Буч Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование / *Г. Буч.* – М.: Бином, 1998. – 560 с. 6. *Заблодский Н.Н.* Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения / *Н.Н. Заблодский.* – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – 295 с. 7. *Zablodskij N.* Submersible electromechanical transformers for energy efficient technologies of oil extraction / *N. Zablodskiy, V. Pliugin, V. Gritsyuk* // *Progressive technologies of coal, coaled methane, and ores mining.* – 2014 – P. 223 –

227. 8. *Заблодский Н.Н.* Проблемы моделирования и проектирования двухмодульного ЭМПЭ с массивным ротором / *Н.Н. Заблодский, В.Е. Плюгін, В.В. Скрыль* // *Вісник НТУ «ХПІ».* – 2013. – № 51. – С. 20 – 27. 9. *Шукин В.К.* Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах / *В.К. Шукин, А.А. Халатов.* – М.: Машиностроение, 1982. – 200 с. 10. *Постников В.И.* Волновые параметры массивно-роторных машин с массивными роторами / *В.И. Постников.* – К.: Наук. думка, 1986. – 181 с. 11. *Куцевалов В.М.* Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами / *В.М. Куцевалов.* – М.-Л.: Энергия, 1966. – 302 с. 12. Проектирование электрических машин: [учебн. для вузов] / *И.М. Копылов., Б.К. Клоков., В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев.* – М. Юрайт, 2012. – 767 с. 13. *Заблодський М.М.* САПР електромеханічних пристроїв: навчальний посібник / *М.М. Заблодський, В.Є. Плюгін, К. Бур.* – Алчевськ, Ладо, 2013. – Ч. 2. – 320 с. 14. *Заблодский Н.Н.* Математическое моделирование тепловых процессов в шнековом электромеханическом преобразователе с использованием Matlab/Simulink / *Н.Н. Заблодский, В.Е. Плюгін* // *Вісник НТУ «ХПІ».* – 2014. – № 38. – С. 90 – 97.

Bibliography (transliterated): 1. Pat. 87222, Ukraїna, MPK7 N02K 41/025, V01F 13/08. *Elektromehaničnij pristrїj bagatofaktornoї дії dlja obrobki materialiv.* Zablodskij, M. M., V. F. Shinkarenko, V. Ju. Gricjuk, G. M. Grin', M. A. Filatov and V. E. Pliugin; zajavnik ta patentovlasnik Donbas'kij derzh. tehn. un-t. No. 201310641; zajavl. 03.09.2013, opubl. 27.01.2014, Bjul. No. 2. Print. 2. Pliugin, V. E. *Teoreticheskie osnovy objektno-orientirovannogo rascheta i proektirovanija jelektromehaničeskix ustrojstv.* Alchevsk: Lado, 2014. Print. 3. Chernjahovskaja, L. R. *Objektno-orientirovannoe modelirovanie sistem iskusstvennogo intellekta.* Ufa: Ufimsk. gos. aviac. tehn. un-t., 2006. Print. 4. Weisfeldm M. *The Object-Oriented Thought Process.* London: Addison-Wesley Professional, 2013. Print. 5. Buch, G. *Ob#ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie.* Moskva: Binom, 1998. Print. 6. Zablodskij, N. N. *Polifunkcional'nye jelektromehaničeskie preobrazovateli tehnologičeskogo naznachenija.* Alchevsk: DonGTU, 2008. Print. 7. Zablodskij, N., V. Pliugin and V. Gritsyuk "Submersible electromechanical transformers for energy efficient technologies of oil extraction." *Progressive technologies of coal, coaled methane, and ores mining* 2014. 223–227. Print. 8. Zablodskij, N. N., V. E. Pliugin and V. V. Skryl' "Problemy modelirovanija i proektirovanija dvuhmodul'nogo JeMPJe s massivnym rotorom." *Visnyk NTU «KhPI».* No. 51. Kharkov: NTU "KPI", 2013. 20–27. Print. 9. Shhukin, V. K., and A. A. Halatov *Teploobmen, massoobmen i gidrodinamika zakruchennyh potokov v osesimmetričnyh kanalah.* Moskva: Mashinostroenie, 1982. Print. 10. Postnikov, V. I. *Volnovye parametry massivno-rotornyh jelektričeskix mashin.* Kiev: Nauk. dumka, 1986. Print. 11. Kucevalov, V. M. *Voprosy teorii i rascheta asinhronnyh mashin s massivnymi rotorami.* Moskva-Leningrad: Jenergija, 1966. Print. 12. Kopylov, I. M., B. K. Klokov, V. P. Morozkin and Tokarev B. F. *Proektirovanie jelektričeskix mashin.* Moskva: Jurajt, 2012. Print. 13. Zablodskij, N. N., Pliugin V. E. and K. Buhr *SAPR elektromehaničnix pristrojiv: navchal'nij posibnik.* Alchevsk: Lado, 2013. Vol. 2. Print. 14. Zablodskij, N. N., and V. E. Pliugin "Matematičeskoe modelirovanie teplovyh processov v shnekovom jelektromehaničeskom preobrazovatele s ispol'zovaniem Matlab Simulink." *Visnyk NTU «KhPI».* Ser.: *Električnii mashini ta elektromehanične peretvorennija energii.* No. 38 (1081). Kharkov: NTU "KhPI", 2014. 90–97. Print.

Поступила (received) 05.06.2015

«Сведения об авторах / About the Authors»

Заблодский Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, Донбасский государственный технический университет, проректор по учебной работе; тел.: (099) 213-07-48; e-mail: zablodskiyinn@gmail.com

Zablodskij Nikolaj Nikolajevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Donbas State Technical University, first vice rector; tel.: (099) 213-07-48; e-mail: zablodskiyinn@gmail.com

Плюгін Владислав Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры электрических машин; тел.: (099) 213-07-48; e-mail: vlad.plyugin@gmail.com.

Pliugin Vladyslav Jevgenovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of electrical machines, tel.: (099) 213-07-48; e-mail: vlad.plyugin@gmail.com.