

*д.т.н. Заблодский Н.Н.,  
к.т.н. Плюгин В.Е.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ С СОВМЕЩЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ**

*Наведені результати теоретичних досліджень, алгоритм формування об'єктів, отримана об'єктно-орієнтована модель електромеханічних перетворювачів енергії з суміщеними функціями.*

***Ключові слова:** об'єктно-орієнтоване проектування, класи, електротепломеханічний перетворювач, суміщені функції.*

*Приведены результаты теоретических исследований, алгоритм формирования объектов, получена объектно-ориентированная модель электромеханических преобразователей энергии с совмещенными функциями.*

***Ключевые слова:** объектно-ориентированное проектирование, классы, электротепломеханический преобразователь, совмещенные функции.*

Применение методов объектно-ориентированного проектирования актуально для электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ), обладающих несколькими технологическими функциями, совмещенными в одном устройстве. Благодаря концепции наследования можно создать класс ЭМПЭ, порожденный от нескольких базовых классов, каждый из которых выполняет определенную технологическую функцию. При этом функции реальных объектов должны адекватно воспроизводиться функциями-членами соответствующих классов. Таким образом, созданный в результате множественного наследования класс-потомок будет интегрировать в себе свойства базовых родительских классов.

Рассмотрим объектное представление электротепломеханических преобразователей (ЭТП) шнекового типа, совмещающих в себе функции сушки, перемешивания и транспортировки сыпучих материалов [1].

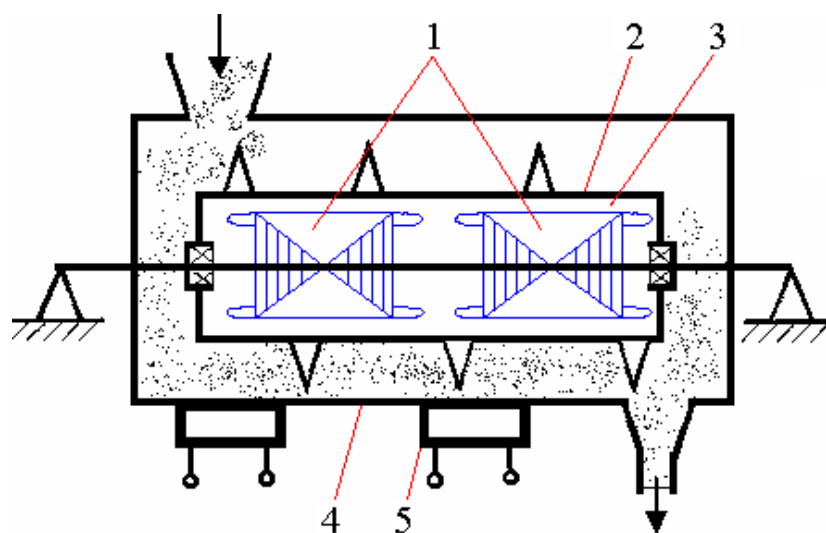
Создание ресурсо- и энергосберегающих технологий базируется на двух основных направлениях. Первое из них связано с повышением КПД отдельных элементов системы преобразования энергии. Второе – основано на интегрировании функциональных свойств одним агрегатом

и использовании диссипативной энергии. Поскольку первое из направлений при развитой системе оптимизации конструктивных решений определяется, прежде всего, созданием новых активных и изоляционных материалов, темпы его развития ограничены.

Для технологических систем, объединяющих процессы транспортировки, нагрева, перемешивания материалов, наиболее перспективным следует считать второе направление. В этом случае становится возможным сбережение ресурсов за счет объединения отдельных элементов оборудования в одном корпусе и, что очень важно, использование диссипативной энергии указанных элементов, которая ранее при традиционной схеме преобразования и использования энергии бесполезно рассеивалась в окружающую среду.

Одним из основных путей повышения технико-экономических показателей электропривода является создание совмещенных в одном корпусе двигателей насосов, двигателей-мешалок, двигателей-шнеков. Это перспективный класс электромеханических систем, предназначенных для непосредственного осуществления технологических процессов и отличающихся усиленной концентрацией функциональных и энергетических свойств.

Конструкция ЭТМП представлена на рисунке 1. ЭТМП состоит из двух модулей, работающих в режиме противовключения.



1 – статоры; 2 – массивный ротор шнека; 3 – воздушный зазор;  
4 – дно шнека; 5 – нагревательная система дна.

Рисунок 1 – Конструктивная схема ЭТМП

Два статора, посаженные на общий полый вал, создают встречно направленные электромагнитные моменты, обеспечивая необходимую

скорость вращения полого цилиндра общего ротора без применения механического редуктора. Ротор, имеющий шнековую навивку, кроме функции перемещения рабочего материала одновременно обеспечивает нагрев последнего.

Для получения классового представления ЭТМП [2 - 4], необходимо выделить ключевые слова, являющиеся абстрактным представлением электрической машины. Следует отметить, что не все ключевые слова войдут в классовую структуру – они помогут систематизировать представление об ЭТМП как о сложном объекте. Например, можно рассматривать следующие ключевые слова:

*- статор; статор внутренний; статор внешний; ротор; ротор внешний; ротор внутренний; паз статора; паз статора внутреннего; паз статора внешнего; обмотка; статор внутренний с пазами внутреннего статора и обмоткой; статор внешний с пазами внешнего статора и обмоткой; ЭТМП с внешним ротором; ЭТМП с внутренним ротором.*

Приведенные ключевые слова не являются просто обозначением структурных составляющих электрической машины и, как может ошибочно показаться, необходимые лишь для понимания состава ЭТМП. Ключевые слова следует рассматривать как классы, содержащие переменные и функции отдельного элемента структуры, наделенные его свойствами и характерным поведением при заведомо известных воздействиях. Переменные классов и функции, характеризующие работу и свойства ЭТМП, можно определить уже на раннем этапе классового проектирования.

Функциональные характеристики ЭТМП будут следующие:

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

Перечисленные свойства ЭТМП, определяющие расчетный состав проектирования, также можно выделить в отдельные классы. Однако это привело бы к многократному созданию вложенных классов внутри соответствующих основных. Например, для класса «статор» потребуются создание вложенных классов «магнитная система статора», «параметры статора», «энергетические показатели статора», «коэффициенты и постоянные величины статора». Рассматривая полное классовое представление ЭТМП, можно прийти к довольно сложной системе классов с еще более сложными внутренними связями. Задача любого проектирования – прийти к максимально оптимальной и простой структуре классов, удобной в расчетах, понимании, и, наконец, в составлении расчетной программы. Целесообразно выделенные функции и переменные включить в соответствующие классы как функции и переменные самого

класса, а не как отдельные классовые структуры. Классовое дерево электромеханической структуры ЭТМП можно сформировать как показано на рисунке 2.

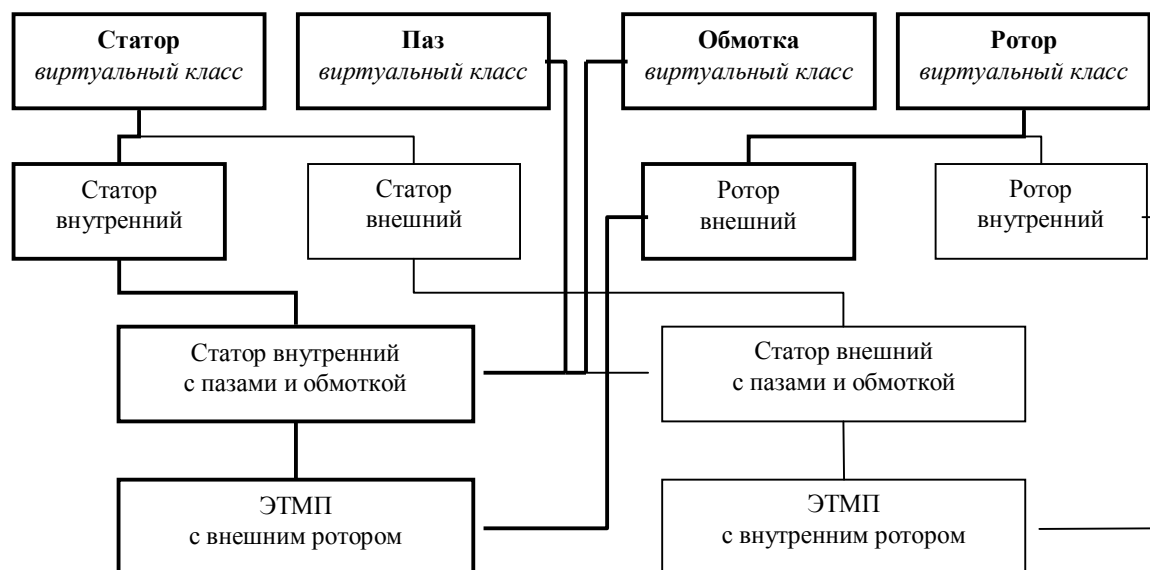


Рисунок 2 - Сложное дерево наследования электромеханической структуры ЭТМП

На рисунке 2 в качестве базовых приняты виртуальные классы «статор», «паз», «обмотка», «ротор». Виртуальный класс «статор» содержит два производных класса «статор внутренний» и «статор внешний». Конечные классы «ЭТМП с внешним ротором» и «ЭТМП с внутренним ротором» порождены от соответствующих классов и обладают всеми характеристиками родительских классов, а также привносят свои собственные данные, которые дают полное представление о работе и поведении ЭТМП.

Программа проектирования реализуется на языке программирования C++, поддерживающего объектно-ориентированное программирование.

Проектирование ЭТМП целесообразно рассматривать для режима максимальной и длительной токовой нагрузки. При этом обмотка должна быть выбрана таким образом, чтобы при протекании максимально возможного тока, плотность тока в обмотках не превышала допустимое значение по тепловой нагрузке машины.

После принятия исходных данных происходит формирование объектов класса ЭТМП. Вначале создается базовый тип 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 чисто виртуальным и служит для создания классов-потомков. Термин «виртуальный» означает, что данный класс, например, 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.

Класс двигателей служит для обозначения назначения машины и соответствующего направления проекта.

Род асинхронных двигателей принимает данные родителей, идентифицирует переменные с целью их привлечения к более конкретному назначению.

Вид асинхронных двигателей с массивным ротором окончательно подводит к созданию объекта ЭТМП и несет информацию о структуре машины. Вид имеет такие отличительные исходные данные, как вторичная частота, температура ротора, скольжение.

И, наконец, создается глобальный объект ЭТМП, имеющий подобъектную структуру и заключающий в себе полную информацию о машине (включая данные родителей).

Алгоритм формирования объекта ЭТМП на базе подобъектов (ПО) имеет следующий вид. При формировании объекта ЭТМП запускается конструктор, вызывающий нужные модули, создавая при этом ПО глобальной структуры. Порядок вызова конструкторов объекта следующий:

- 1) Асинхронный двигатель с массивным ротором (получение исходных данных и потерь в роторе);
- 2) Статор / внутренний статор (геометрические размеры, сталь);
- 3) Массивный ротор (геометрические размеры, сталь);
- 4) Паз (размеры и заполнение), обмотка (обмоточные данные) – запускается из конструктора паза;
- 6) Магнитная система массивного ротора (расчет магнитной системы машины с учетом того, что ротор является массивным);
- 7) Параметры (параметры статора);
- 8) Параметры массивного ротора;
- 9) Энергетические показатели массивного ротора (расчет токов, потерь, моментов, к.п.д.).

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 функций-членов соответствующих классов.

По представленной методике было разработано два типа расчетных программ: первый – с использованием нисходящего структурного программирования, второй – с применением теории классов.

Надо отметить, что объектный подход позволяет опустить описание переменных и функций и при этом сохранить понимание программы. При структурном подходе для пояснения логики работы программы упрощения и разрывы в последовательно выполненном коде невозможны, т.к. полностью обрывают понимание излагаемого материала ввиду потери структурных связей.

Итак, было получено классовое представление внутренней структуры ЭТМП и реализация его электромеханической функции. Рассмотрим интеграцию тепловых и гидромеханических функций при формировании результирующего класса. Приведенные выше классы и дерево наследования ЭТМП не затрагивают процессов, связанных с транспортировкой и нагревом перерабатываемого сыпучего материала. Между тем, процессы гидродинамики и теплообмена инициирует ЭТМП. Классовое представление ЭТМП должно быть дополнено недостающими базовыми классами, которые будут адекватно отражать картину реального мира. Таким образом, полифункциональный ЭТМП предстанет как результат множественного наследования с тремя базовыми классами, что показано на рисунке 3.

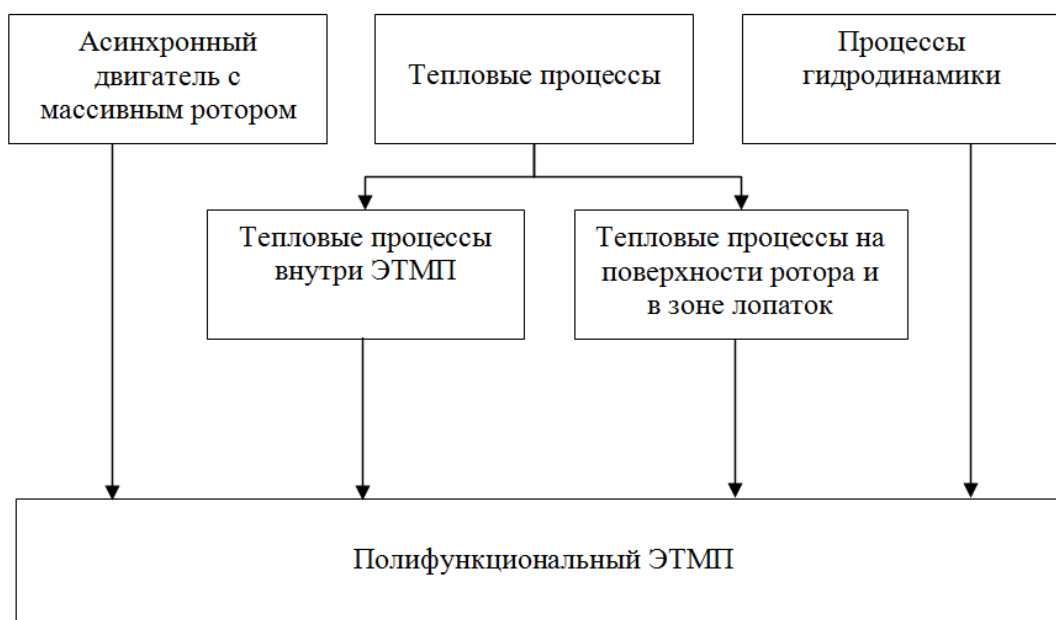


Рисунок 3 – Классовое представление ЭТМП с интеграцией технологических функций

Класс гидродинамических процессов привносит функциональные модули, связанные с транспортировкой, перемешиванием и завихрением материала в межлопаточной области ротора.

Класс тепловых процессов, представленный в виде двух подклассов, отражает процессы теплообмена как внутри ЭТМП, так и на внешней поверхности массивного ротора.

Преимущество классового представления проявляется в том, что базовые классы внешних процессов связаны с ЭТМП только с помощью функциональных модулей и не встроены в его внутреннюю структуру. При смене условий работы ЭТМП (например, в среде вязкого легкоплавкого материала, такого как озокерит, парафин, легкоплавкие фракции битума) будут полностью замещены базовые классы 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 классов.

Конечный пользователь при этом сосредоточит свое внимание на проектировании электромеханической системы, беря во внимание влияние гидродинамики и теплообмена в виде удобных для расчетов коэффициентов и переменных, не останавливаясь на их расчете. Все расчеты уже будут сделаны при формировании класса-потомка.

Листинг классового представления полифункционального ЭТМП, в соответствии с деревом наследования, представленным на рисунке 3 приведён ниже.

```
class PETMP: virtual public ETMP, Hydro, ThermoETMP, ThermoRotor
{
protected:
    //Переменные класса
public:
    //Функции-члены

    ETMP();// конструктор класса
    ~ETMP();// деструктор класса
};
```

В листинге указаны только основные порождающие структуры без детального описания переменных. Надо отметить, что описания классов (переменных, констант, функций) разделены от реализации классов (собственно, расчетной методики). Не затрагивая структуру

классов, являющихся идеологией проекта электрической машины, достаточно внести изменения в расчетную методику. При этом для пользователя-проектировщика никаких изменений в расчете не возникнет. Он получает «черный ящик» с набором входных и выходных данных. Методика расчета, заложенная в реализацию классов, скрыта («инкапсулирована»). Поскольку идеология классов не меняется, то остаются без изменения все алгоритмы, порядок вызова функций, обращения к ним. Все изменения остаются внутри функций и не нарушают слаженное межклассовое взаимодействие.

При структурном подходе соблюдается последовательное представление расчетной программы. Понятия «функция-член» не существует – есть только подпрограммы высшего и низшего уровней. Любое изменение подпрограмм, самого кода в верхних уровнях приводит к неработоспособности всего кода программы, располагающегося ниже внесенных изменений, поскольку связь в программе при структурном подходе строго последовательная и жестко связанная как по самим подпрограммам, так и по их аргументам. Последовательность не меняют даже разветвленные циклы – идеология структурного подхода разительно отличается от объектно-ориентированного.

Как результат – увеличение в большей или меньшей степени, в зависимости от вида вносимых изменений, времени разработки проекта, отладки программы, качества выполняемых работ. Неизбежно страдает и точность расчета, поскольку непосредственно связана с логикой построения не только основного кода программы, но и всех входящих структурных составляющих.

Расчеты, проведенные нами по двум методикам, оказались идентичными и на первый взгляд преимущества расчета на основе классов не чувствуется. Ведь были получены одни и те же результаты, графические зависимости. Но они представляют лишь конечный результат, и производить оценку по результатам расчета – логически неверно и необоснованно.

Разница становится заметной в перспективе развития, совершенствования методики расчета, внесения изменений и поправок в уже существующий программный код. Так, для любых изменений при структурном подходе приходится каждый раз не только составлять новые подпрограммы, но и заботиться о порядке их вызова, согласовании с уже существующими переменными и т.д. При объектном подходе достаточно лишь создать новый объект и добавить в него только те данные, которые претерпели изменения. Причем, в отличие от структурного подхода, не возникает сложностей в согласовании переменных. Кроме того, переменные в классах могут влиять на переменные, стоящие как выше, так и ниже в дереве классов. Удел структурного программирова-



ния – только нисходящее направление. Например, конструктивно потребовалось применить в конструкции ЭТМП электромагнитный экран, располагающийся в воздушном зазоре. Наши действия следующие: создаем производный класс на базе уже существующих с добавлением свойств экранированной машины. Вот и все! Нет необходимости внедряться в листинги программного кода, искать то место, куда необходимо внести новые данные и подпрограммы. И еще не факт, что новые переменные не войдут в конфликт с уже существующими, и станут ли они доступны для функций, размещенных в дереве выше или ниже. Как видим, проектирование при объектно-ориентированном подходе становится очень гибким и динамически развивающимся. Если же возникает необходимость внести более существенные изменения, изменить методику расчета целиком, то преимущества объектно-ориентированного подхода и наследования становятся еще более очевидными. При структурном программировании необходимо заново переписывать всю программу. При классовом представлении дело обстоит иначе. Классы представляют не просто расчет, но и конструкцию машины. Даже если изменится методика, то тело машины: сталь, конструкция, обмотка, пазы остаются прежними. Ведь с помощью такого «набора» можно создавать не только разновидности уже существующих машин (асинхронные, синхронные, постоянного тока, трансформаторы), но и формировать новые, используя методы генетических комбинаций. Итак, наши действия сводятся к следующему: путем наследования порождаем новый класс, наделяем его только теми изменениями, которые необходимо внести, а остальные функциональные характеристики наследуем. Вот так проявляется вся сила наследования!

### **Выводы**

1) Получена объектно-ориентированная модель электротепломеханических преобразователей с совмещенными функциями, позволяющая уже на этапе планирования проекта формировать искомый объект – потомок путем наследования данных и функций от целевых родительских классов.

2) Рассмотренная методика формирования объектно-ориентированной структуры электротепломеханических преобразователей позволила учесть влияние как собственных электромеханических процессов объекта, так и нагрузочных факторов окружающей среды путем включения указанных факторов в дерево наследования.

3) Доказаны преимущества объектно-ориентированного проектирования в сравнении с традиционным структурно-процедурным подходом на примере электротепломеханического преобразователя с совмещенными функциями.

### **Библиографический список**

1. Пат. № 50242 Україна, МКИ 7F26B 17/18. Шнековий сушильний апарат / Заблодський М.М., Захарченко П.І., Шинкаренко В.Ф., Плюгін В.Є. та інші.; заявник і патентовласник Донбас.держ.техн.ун-т.- №2001128244; заявл. 03.12.2001; опубл. 17.01.2005, Бюл. №1.– 3 с.: іл.

2. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем: [монографія] / Шинкаренко В.Ф. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.

3. Объектно-ориентированное проектирование электротепломеханических преобразователей / Заблодский Н.Н., Шинкаренко В.Ф., Плюгин В.Е., Гринь Г.М. // Техн. Електродинаміка. – 2008. – С. 106 - 112.

4. Object oriented designing of electro-thermo-mechanical converters with optimum thermodynamic structure / N.N. Zablosky, V.E. Plyugin [etc.]// A Dunajvarosi Foiskola Kozlemeyei. - 2007. – P. 193 – 200.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Луциком В.Д.*