

Процесс должен начинаться с установления раздела рассматриваемой предметной области и соответствующего корневого понятия, к которому относится вносимое понятие. Цель: для вводимого понятия найти его место в дереве декомпозиции корневого понятия.

Предположим, что каким-то образом выбрано и зафиксировано некоторое уже находящееся в системе понятие  $P_k$ . Система представляет пользователю описание содержания этого понятия  $S_k$  (фрейм-экземпляр), а также фрейм-прототип (пустую структуру) этого понятия. Затем система предлагает пользователю заполнить этот фрейм-прототип для вводимого понятия. Заполняя значениями атрибутов предложенную структуру, пользователь может оказаться в одной из трех ситуаций.

1. Все предложенные значения заполнены, но пользователь считает необходимым указать для вводимого понятия дополнительные атрибуты. Это означает, что вводится более частное понятие, чем  $P_k$ . Данный факт считается установленным, если структура содержания вводимого понятия имеет большее количество атрибутов.

В этом случае система предложит перейти к следующему, более низкому уровню декомпозиции.

2. Пользователь считает, что некоторые атрибуты предложенной структуры не характерны для вводимого понятия. Это говорит о том, что вводимое понятие является более общим понятием, чем  $P_k$ .

Пользователю будет рекомендовано вводимое понятие считать понятием более высокого уровня по отношению к сравниваемому.

3. Во вводимом понятии имеются атрибуты не входящие в  $S_k$ , а в  $S_k$  присутствуют атрибуты не характерные для вводимого понятия.

Система предложит перейти к сравнению свойств с другим понятием этого же уровня, т.е. с так называемым «параллельным» понятием. Если все «параллельные» для данного уровня декомпозиции понятия просмотрены, то система предложит вводимое понятие рассматривать в качестве нового «параллельного» понятия.

Пусть принято решение о вводе нового понятия. При этом оно имеет свойства, ранее отсутствующие в системе на данном уровне декомпозиции базового понятия. Тогда работает механизм, который обеспечивает расширение структуры описаний всех понятий данного дерева (от данного уровня и ниже) за счет включения этих «новых» атрибутов. При последующих обращениях к системе пользователю будет предоставлен фрейм, включающий в свою структуру большее количество свойств, некоторые из которых (старые) не описаны. Тем самым, свойства данного  $i$ -го уровня присущи всем его подпонятиям (всем понятиям уровней  $k > i$ ).

Иначе говоря, система впитывает не только все новые понятия, но и за счет расширения структуры описания способствует расширению знаний о ранее введенных понятиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Мир, 1979. – 152 с.

*М.Л. АНДРЕЕВ, А.Н. ИСАКОВ, О.И. КОЗЫРЕВА,  
И.В. ПЛОХОВ, А.Л. ПЕРМИНОВ*

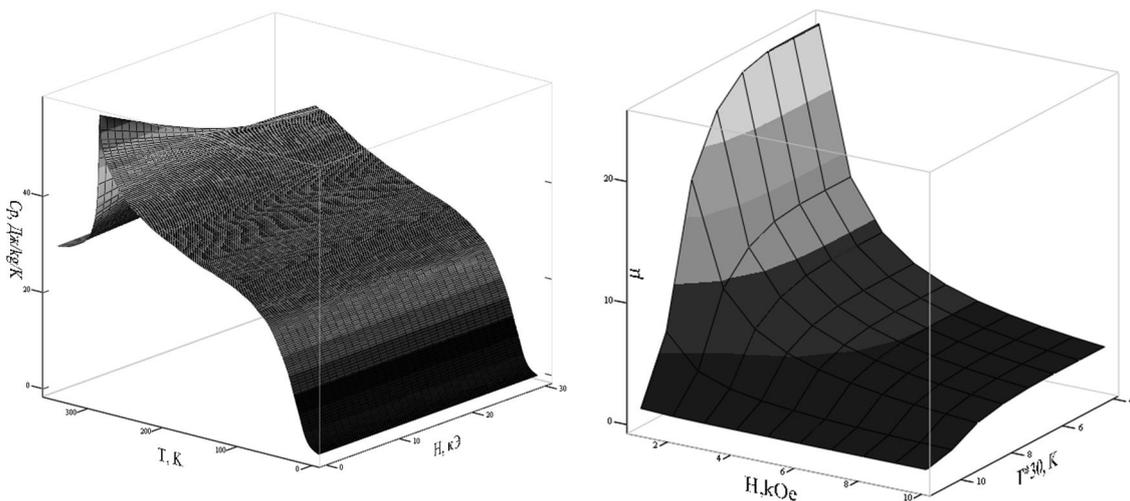
### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Впервые устройства для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую были предложены более 100 лет назад [1, 2]. Преобразование основывалось на принудительной термомодуляции магнитной проницаемости

ферромагнитного сердечника. Данные устройства не получили практического применения вследствие трудностей технической реализации переменного теплового потока в твердом теле. Достиженные частоты составляют единицы Герц.

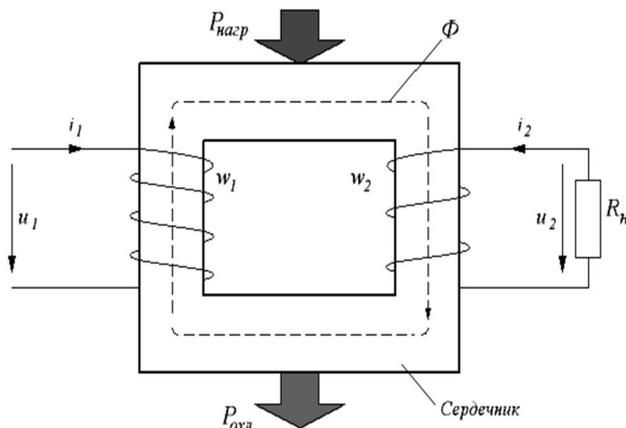
Научные изыскания в указанном направлении в настоящее время активизировались и проводятся в разных странах [3, 4]. Теоретическое обоснование экспериментальных результатов в научной литературе отсутствует. В связи с этим актуальной является задача разработки и теоретического исследования математических моделей различных вариантов устройств прямого преобразования тепловой энергии в электрическую.

При моделировании термомагнитоэлектрического преобразования (ТМЭП) наиболее одним ключевых факторов является учет нелинейных зависимостей, определяющих энергетическую взаимосвязь тепловых и магнитных процессов. Данные зависимости были получены: для теплоемкости – экспериментально, для магнитной проницаемости – путем аналитического интегрального преобразования графиков для теплоёмкости.



**Рис. 1.** Экспериментальная зависимость и расчетный график зависимостей теплоемкости (а) и магнитной проницаемости (б) от температуры и напряженности магнитного поля для гадолиния

Рассмотрим один из простейших вариантов термомагнитоэлектрического преобразователя (ТМЭП) с одним замкнутым сердечником. Источником основного магнитного потока служит постоянный магнит или обмотка, питаемая постоянным током. Периодические колебания потока, происходя за счёт температурного изменения магнитной проницаемости  $\mu$  материала магнитопровода. При этом в обмотках индуцируется ЭДС, которую используют для питания внешней нагрузки. При нагреве сердечника до температуры Кюри его магнитная проницаемость начинает резко падать,



**Рис. 1.** Функциональная схема ТМЭП.

достигая величины  $\mu \approx 1$ , то есть ферромагнетик становится парамагнетиком. При этом его магнитное сопротивление резко возрастает, и происходит интенсивное изменение основного магнитного потока, вызывающее появление ЭДС на выходе обмоток.

Теоретическое исследование динамических процессов, протекающих в ТМЭП, сопряжено с рядом трудностей, таких как, например, существенно нелинейные зависимости большинства

параметров материала магнитопровода от температуры в зоне фазового перехода 2-го рода. Поэтому будем пользоваться численными методами расчёта процессов ТМЭП. Рассмотрим упрощенную схему ТМЭП с сосредоточенными параметрами, в состав которой входят ферромагнитный сердечник с входной обмоткой  $w_1$  и выходной обмоткой  $w_2$  (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Основной магнитный поток  $\Phi$  создаётся входной обмоткой с током  $i_1$ , питаемой напряжением  $u_1$ , и замыкается по ферромагнитному сердечнику. Выходная обмотка замкнута на сопротивление нагрузки  $R_n$ . Через неё протекает ток  $i_2$  и на сопротивлении нагрузки падает напряжение  $u_2$ . К сердечнику подводится тепловая мощность  $P_{\text{нагр}}$ , расходуемая на нагрев сердечника. Тепловая мощность  $P_{\text{охл}}$  рассеивается в окружающую среду. Зависимость магнитной проницаемости сердечника от температуры задаётся по экспериментальным данным.

Математическая модель представленного ТМЭП описывается следующими уравнениями в операторной форме:

- для магнитного потока:

$$\Phi(p) = \frac{\mu(p) \cdot \mu_0 \cdot S}{l} \cdot (w_1 \cdot i_1(p) + w_2 \cdot i_2(p)) \quad (1)$$

где  $\mu(p)$  – относительная магнитная проницаемость сердечника;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная проницаемость вакуума;  $S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода;  $l$  – длина магнитопровода;

- для токов:

$$i_1(p) = \frac{u_1(p) - w_1 \cdot p \cdot \Phi(p)}{r_1} \quad (2)$$

$$i_2(p) = -\frac{w_2 \cdot p \cdot \Phi(p)}{r_2 + R_n} \quad (3)$$

где  $R_n$  – сопротивление нагрузки;

- для температуры сердечника:

$$T(p) = \frac{1}{p} \frac{P_{\Sigma}}{m \cdot c} \quad (4)$$

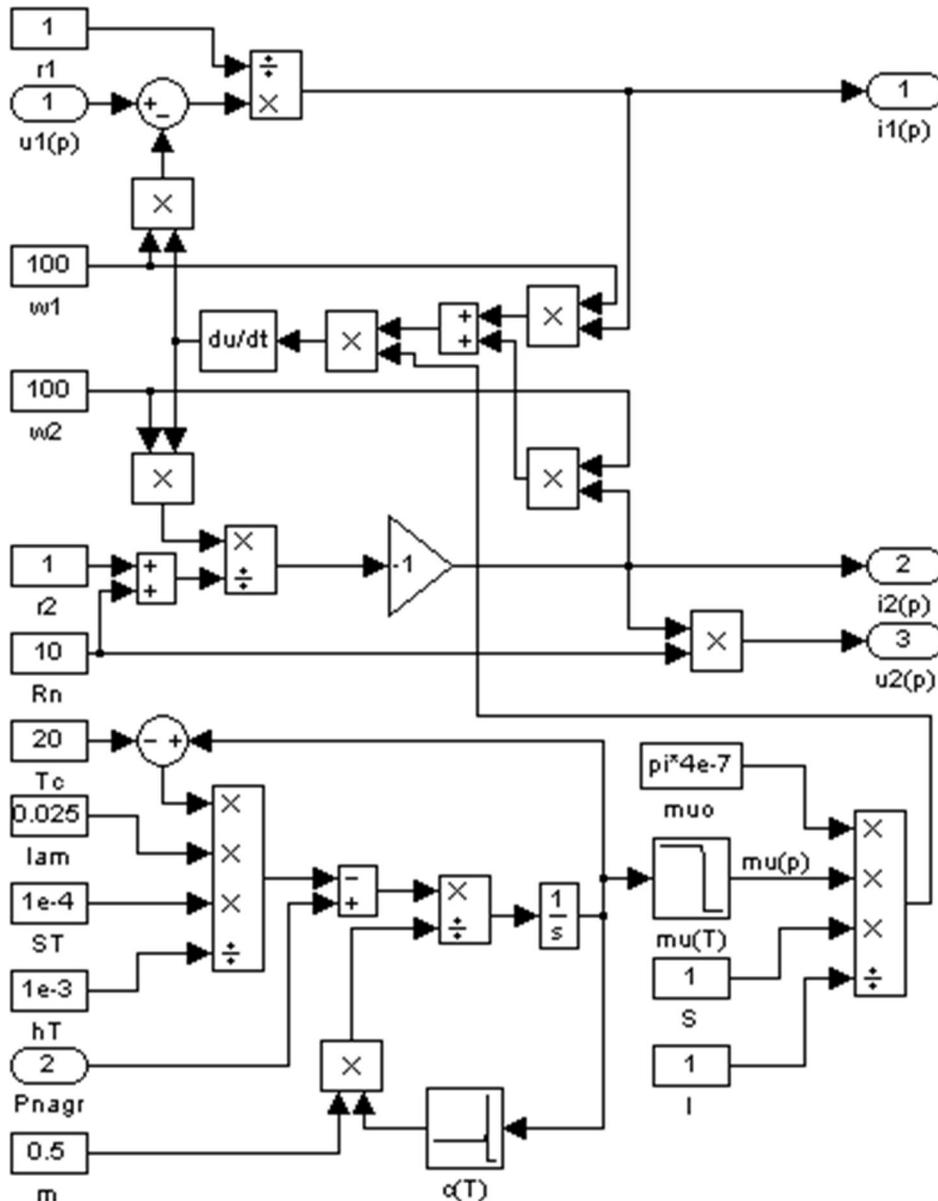


Рис. 1. Модель ТМЭП в среде MATLABSimulink по полученным уравнениям (1-4)

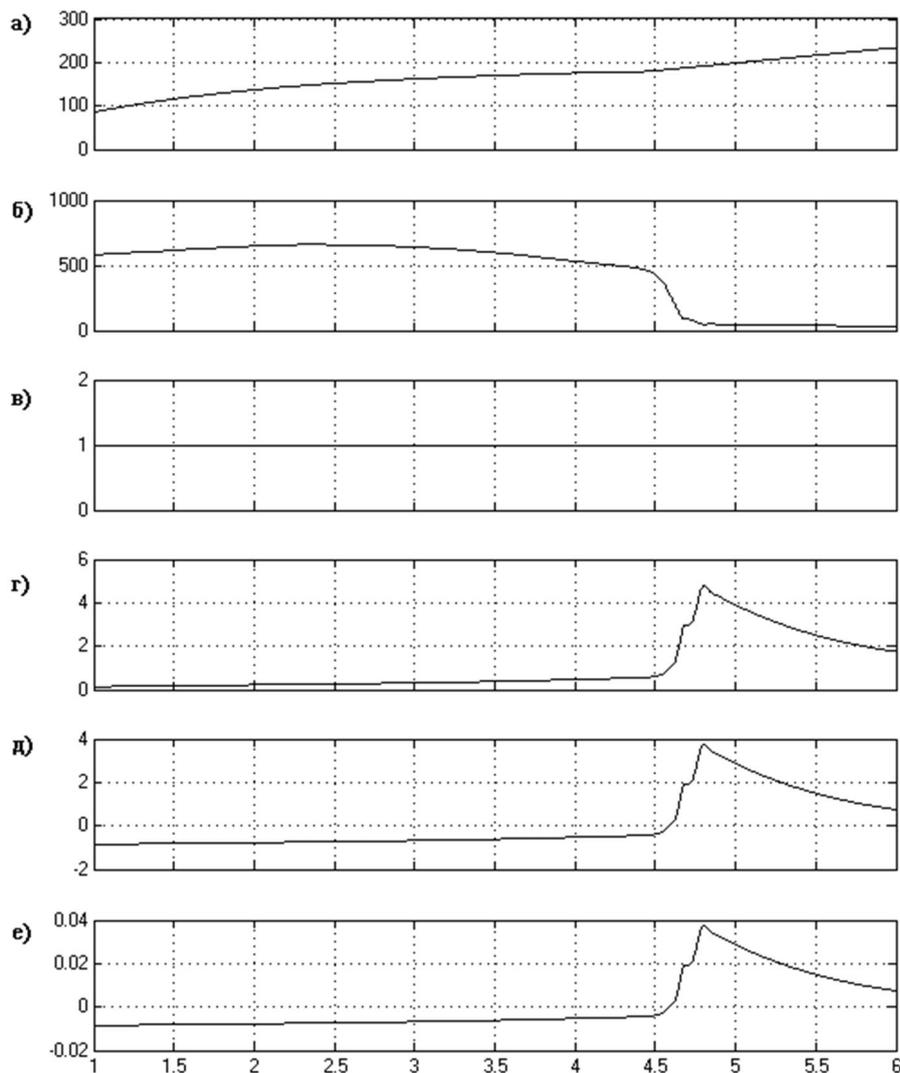
где  $P_{\Sigma} = P_{нагр} - \lambda \frac{S_T}{h_T} (T - T_{сред})$  – суммарная тепловая мощность;  $\lambda$  – коэффициент

теплопроводности теплоизоляционного слоя;  $S_T$  – площадь поверхности, через которую происходит отдача тепла окружающей среде;  $h_T$  – толщина теплоизоляционного слоя;

$T_{СРЕД}$  – температура окружающей среды;  $T$  – температура сердечника;  $m$  – масса сердечника;  $c$  – удельная теплоёмкость материала сердечника.

Входными координатами модели являются напряжение питания входной обмотки  $u_1(p)$  и мощность подогрева  $P_{нагр}(p)$ , выходными – токи во входной  $i_1(p)$  и выходной  $i_2(p)$  обмотках, а также напряжение нагрузки  $u_2(p)$ .

Результаты пробного расчёта модели приведены на рис. 2.



**Рис. 2.** Результаты пробного расчёта модели ТМЭП: а) изменение температуры, град. С; б) изменение магнитной проницаемости; в) входное напряжение, В; г) ток входной обмотки, А; д) напряжение на нагрузке, В; е) ток в выходной обмотке, А.

**Выводы.** Полученная математическая модель ТМЭП позволяет решать следующие задачи:

- исследование процессов, протекающих в устройстве ТМЭП;
- оптимизация физической модели для получения наиболее эффективного преобразования низко-потенциальной тепловой энергии в электрическую;
- поиск параметров модели для получения замкнутой синергетической системы, функционирующей в автономном режиме.

Замена входной обмотки на постоянный магнит позволит избавиться от электрических затрат энергии для создания основного магнитного потока, таким образом практически вся мощность, потребляемая нагрузкой, будет обусловлена тепловой составляющей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. N. Tesla, Pyromagneto-electric generator, patent US 428, 057, 1890.
2. T.A. Edison, Pyromagnetic generator, patent US 476, 983, 1892.
3. Patrick S.L., Bearden T.E. et al. Motionless electromagnetic generator. Patent US 6, 362, 718 B1, 2002.
4. Лукьянов Ю.Н., Плохов И.В. Физические основы прямого преобразования тепловой энергии в электрическую в термомагнитных генераторах / сб. статей «Задачи надежности реформируемых систем энергетики и методы их решения». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2006. – С. 184–190.