



$m \xrightarrow{\vec{v}}$ $m \xrightarrow{\vec{a}} \xrightarrow{\vec{F}}$ $m_1 \longleftrightarrow m_2$

$\vec{v} = \text{const}$
if $\vec{F} = 0$

$\vec{F} = m\vec{a}$

$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

$$(a+b)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k = \binom{n}{0} a^n + \binom{n}{1} a^{n-1} b + \dots + \binom{n}{k} a^{n-k} b^k + \dots + \binom{n}{n} b^n$$

$m_1 \xrightarrow{F_1} \xleftarrow{F_2} m_2$

r

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$S = \int_a^b f(x) dx = F(x) \Big|_a^b = F(b) - F(a)$

№6(56)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам LVI международной
научно-практической конференции*

№ 6 (56)
Август 2022 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2022

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам LVI междунар. науч.-практ. конф. – № 6 (56). – М.: Изд. «МЦНО», 2022. – 28 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2022

Оглавление

Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Процессы и машины агроинженерных систем	4
РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Кошелев Пётр Александрович	4
Раздел 2. Физика	17
2.1. Теоретическая физика	17
ЯДЕРНЫЙ ГЕОРЕАКТОР Дмитриев Валерий Филиппович Тарасов Роман Станиславович	17

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кошелев Пётр Александрович

д-р техн. наук, профессор,

Санкт-петербургский

государственный Электротехнический университет (ЛЭТИ),

РФ, г. Санкт-Петербург

CALCULATION OF STATIONARY OPERATING MODES AND MODELING OF POWER SOURCES OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

Peter Koshelev

Doctor of Technical Sciences, Professor,

St. Petersburg State Electrotechnical University (LETI),

Russia, St. Petersburg

Аннотация. Выбор схемных решений источника питания, способа преобразования энергии, элементной базы, как правило, производится субъективно, что приводит к избыточности аппаратного комплекса и неудовлетворительным его технико-экономическим показателям.

В работе при проектировании источника питания (ИП) и его элементов использованы математические методы и программы оптимизации.

Приводятся примеры и результаты, полученные с применением пакетов прикладных программ Maple 2021 и MATLAB r2021b.

Abstract. The choice of circuit solutions of the power source, the method of energy conversion, the element base, as a rule, is made subjectively, which leads to redundancy of the hardware complex and unsatisfactory technical and economic indicators.

Mathematical methods and optimization programs are used in the design of power supply and its elements.

Examples and results obtained using Maple 2021 and MATLAB r2021b application packages are given.

Ключевые слова: источник питания; оптимизация; символьная математика; широтно-импульсная модуляция; индуктивность рассеяния; примеры.

Keywords: power supply; optimization; character mathematics; pulse width modulation; scattering inductance; examples.

Выбор схемных решений источника питания (в дальнейшем ИП), способа преобразования энергии, элементной базы, как правило, производится субъективно, что приводит к избыточности аппаратного комплекса и неудовлетворительным его технико-экономическим показателям.

Отсутствие оптимизации ИП по спектральным составляющим вторичных сигналов, по массогабаритным характеристикам приводит к снижению КПД, к избыточности выходных фильтров и, как следствие, аппаратной части в целом [1, с.80], [2, с.28].

Разработчики оборудования зачастую применяют зарубежные элементы, что не соответствует принципу сохранения обороноспособности страны.

Для питания стационарной аппаратуры используются:

- сеть переменного тока трехфазного линейного напряжения 380 ± 5 В, 50 ± 2 Гц с потреблением мощности от единиц до десятков кВА.

Для питания бортовой аппаратуры:

- сеть переменного тока трехфазного линейного напряжения 200 ± 5 В, 400 ± 20 Гц с потреблением мощности до 15 кВА, искажение формы напряжения (коэффициент гармоник) не более 3%;

- сеть постоянного тока должна состоять из источника постоянного напряжения $+27\text{ В} \pm 10\%$, обеспечивающего ток нагрузки не менее 10 А. Уровень пульсаций не более 1%.

В современных ИП часто применяется промежуточное преобразование частоты с управлением за счёт широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [3, с.26].

Регулировка выходного напряжения в широких пределах осуществляется изменением режима работы ключевого элемента при сохранении высокого КПД. Это позволяет значительно улучшить удельные показатели источников электропитания и их потребительские свойства.

Основным элементом ШИМ является ключевой регулятор. Он характеризуется основными параметрами: рабочая частота F и длительность включенного состояния T ($F=\text{const}$, $T=\text{var}$).

Другие способы управления: частотно-импульсная модуляция (ЧИМ): ($F=\text{var}$, $T=\text{const}$), время-импульсная (ВИМ) ($F=\text{var}$, $T=\text{var}$). При любом способе регулирования выходного параметра преобразователя (ток, напряжение, мощность) искажается форма напряжений и токов в обмотках силового трансформатора.

Изменение гармонического состава сигналов влияет на работу силового трансформатора и других индуктивных элементов.

Методика проектирования стабильных и точных силовых преобразователей разработана недостаточно.

За счет оптимизации закона модуляции ключевого регулятора и правильного выбора частоты F существует возможность значительно улучшить фильтрующие свойства без увеличения частоты переключений.

При этом ключевой регулятор сохраняет функцию стабилизации напряжения. Для источников электропитания с полной модуляцией входного напряжения необходимо обеспечить подавление низкочастотных гармоник на его выходе, а для источников электропитания с частичной модуляцией получить на выходе ШИМ частотный спектр, позволяющий скомпенсировать низкочастотные пульсации в нагрузке.

В настоящее время пассивные фильтры для силовых цепей преобразователей проектируются на основе линейных моделей и при допущении об аддитивности составляющих фильтруемого напряжения.

Особенность высоковольтного трансформатора (ВВТ), тем более, работающего на повышенной относительно питающей сети частоте, заключается в чувствительности перечисленных показателей к параметрам конструкции (размеру и материала изоляции, способа разме-

щения обмоток, специальных требований конкретной системы электропитания (СЭП)).

Проектирование ВВТ

При проектировании и моделировании СЭП, содержащей ВВТ, необходимо вычислить значения его параметров.

Эту задачу позволяют решить сосредоточенные схемы замещения, удобные для анализа, моделирования и синтеза.

Трансформатор любого источника питания является многофункциональным элементом. Помимо передачи энергии первичной сети в нагрузку непосредственно или с использованием промежуточного преобразователя, согласования уровней напряжений и токов, он в значительной степени определяет статические характеристики, динамику, конструкцию, тепловой режим, массу и экономические показатели всей СЭП.

Существенное влияние на параметры СЭП оказывает индуктивность рассеяния ВВТ. Она зависит от коэффициента связи между обмотками.

Принимаемое обычно допущение о равенстве коэффициента связи 1 может заметно исказить результат проекта.

По результату предварительного аналитического расчёта ВВТ находятся параметры Г-образной схемы замещения (рисунок 1,а) при допущении: ферромагнетик изотропный, магнитная индукция постоянна, равна среднему значению по сечению магнитопровода, распределённые ёмкости в приведённых схемах не учтены, поскольку их влияние можно уточнить в численных моделях. Для моделирования и оптимизации СЭП необходимы параметры естественной схемы замещения (рисунок 1, б).

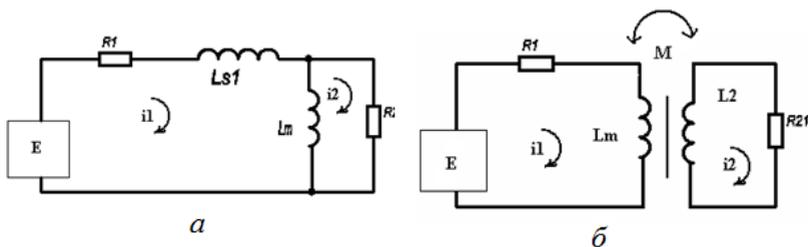


Рисунок 1. Сосредоточенные элементы ВВТ

На рисунке 1 показаны основные сосредоточенные элементы ВВТ. Площадь сечения «кольца рассеяния» S_k определяется по геометрии конкретного изделия.

Пример 1. Предлагается методика проектирования и расчёт элементов схем замещения на примере ВВТ [4, с.56].

На рисунке 2 показаны основные элементы конструкции ВВТ для одного стержня магнитопровода. Для наглядности на этом рисунке обмотки показаны цилиндрические, окружающие магнитопровод прямоугольного сечения.

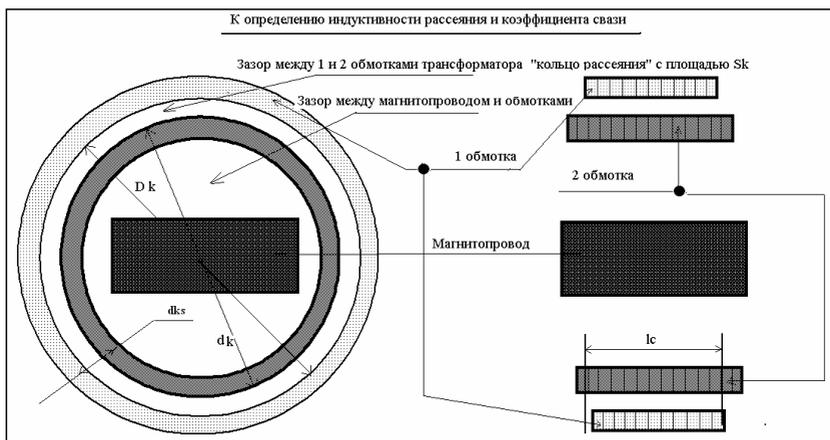


Рисунок 2. Основные элементы конструкции ВВТ

На примере представлены исходные данные и результаты расчёта для Г-образной схемы замещения ВВТ, применяемой для питания цепи модулятора клистрона при частотах питающей сети 400 Гц и 50 кГц (от промежуточного высокочастотного преобразователя).

В программах предусмотрена визуализация эскиза. Пример для ВВТ при частоте питающей сети 400 Гц на рисунке 3.

Начальные значения данных ВВТ получены в результате расчёта в программе MAPLE.

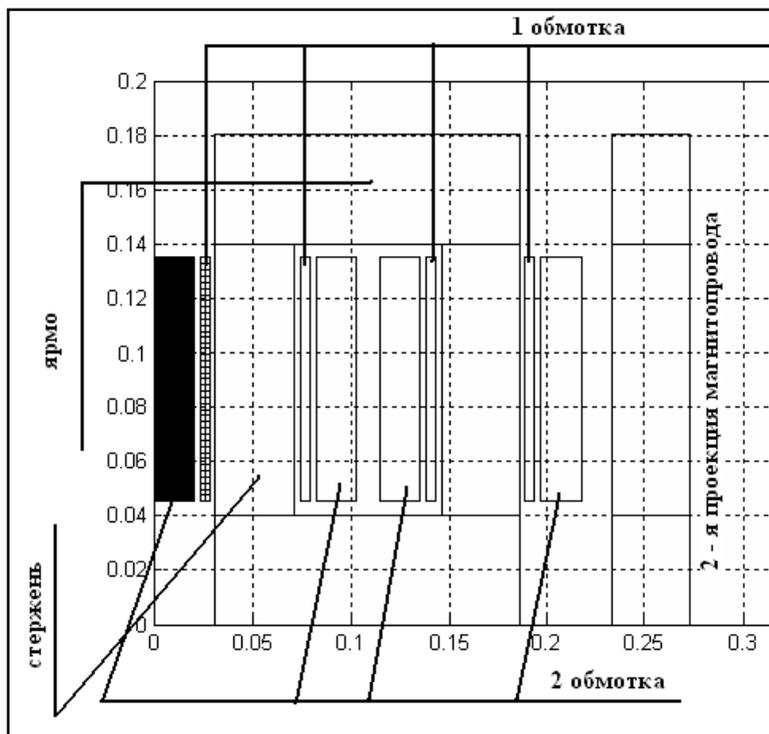


Рисунок 3. Конструкция ВВТ при частоте питающей сети 400 Гц

Методика и расчёт элементов схем замещения на примере ВВТ.

Принцип заключается в совпадении переходных характеристик (реакций на единичное ступенчатое воздействие) схем по рисункам 1,а и 1,б в точке временной оси, соответствующей периоду частоты сети питания.

Отметим, что в реальной СЭП многие факторы могут не быть постоянными.

Это характерно для преобразователей с частотно-импульсной и широтно-импульсной модуляцией, применяемых в стационарной и бортовой аппаратуре, где изменяется основная частота, спектр сигналов, сопротивление нагрузки.

В таком случае параметры схем замещения следует находить в реальном диапазоне изменения этих величин.

Взаимная индуктивность обмоток трансформатора M , Гн

$$M = ks \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}; \quad (1)$$

Здесь $L1, L2$ – индуктивность 1 и 2 обмоток трансформатора, ks – коэффициент связи между обмотками.

Реактивная энергия поля рассеяния W_m , ВАР.

$$W_m = \mu_0 \cdot H^2 \cdot V / 2; \quad (2)$$

H – напряжённость магнитного поля, А/м,

$$H = I1 \cdot W1 / l_c; \quad (3)$$

l_c – средняя длина магнитной силовой линии, м

V – объём пространства циркуляции поля, м³: произведение Sk на l_c ;

Sk – площадь сечения «кольца» рассеяния, м² (рисунок 2).

$I1$ – намагничивающий ток, А. $W1$ – количество витков 1 обмотки ВВТ.

$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$, Гн/м – магнитная постоянная.

При определении Sk , допущения: напряжённость поля в толщине обмотки спадает по линейному закону, считаем, что размер кольца рассеяния dks (рисунок 2) включает по 1/3 толщин обмоток.

Для перехода от распределённых параметров ВВТ к схеме замещения в сосредоточенных параметрах используем следующие выражения.

Реактивная энергия, запасаемая в индуктивности, в данном случае рассеяния L_s :

$$W_{L_s} = L_s \cdot W1^2 / 2, \text{ ВАР} \quad (4)$$

Приравняв выражения (2) и (4), с учётом (3), решив относительно L_s , получим выражение индуктивности рассеяния:

$$L_s = \mu_0 \cdot W_1^2 / S_k / l_c, \text{ Гн} \quad (5)$$

Поскольку ВВТ обычно работает на повышенной относительно питающей сети частоте, необходимо учесть возрастание активных и реактивных сопротивлений обмоток, используя известные соотношения [3, с. 48].

Для Г-образной схемы (рис.1,а) матрица сопротивлений Z_1 и вектор J_1 :

$$Z_1 = \begin{bmatrix} L_1 + p \cdot (L_{s1} + L_m) & -p \cdot L_m \\ -p \cdot L_m & p \cdot L_m + R_{21} \end{bmatrix}; \quad J_1 = [E/p, \quad 0]; \quad (6)$$

Для естественной схемы (рис. 1,б) матрица сопротивлений Z_2 и вектор задающих ЭДС J_2 :

$$Z_2 = \begin{bmatrix} L_1 + p \cdot L_m & -p \cdot M \\ -p \cdot M & p \cdot L_2 + R_{21} \end{bmatrix}; \quad J_2 = [E/p, \quad 0]; \quad (7)$$

В результате решения матричных уравнений (8) в символьной форме относительно изображений тока нагрузки W_{1p} , W_{2p} , используя пакет MAPLE, соответственно для Г-образной и естественной схем: (9, 10).

$$W_{1p} = Z_1^{-1} \cdot J_1; \quad W_{2p} = Z_2^{-1} \cdot J_2; \quad (8)$$

$$W_{1p} = \frac{L_m \cdot E}{R_1 \cdot p \cdot L_m + R_1 \cdot R_{21} + p^2 \cdot L_{s1} \cdot L_m + p \cdot L_{s1} \cdot R_{21} + p \cdot L_m \cdot R_{21}}; \quad (9)$$

$$W 2 p = \frac{M \cdot E}{R1 \cdot p \cdot L2 + R1 \cdot R21 + p^2 \cdot L2 \cdot L_m + p \cdot L_m \cdot R21 - p^2 \cdot M^2}; \quad (10)$$

Далее выражения (9,10) экспортируются в программу MATLAB, выполняется обратное преобразование Лапласа (оператор `impz`), находятся оригиналы переходных характеристик (рисунок.4), фиксируется точка их пересечения, выводятся значения переменных.

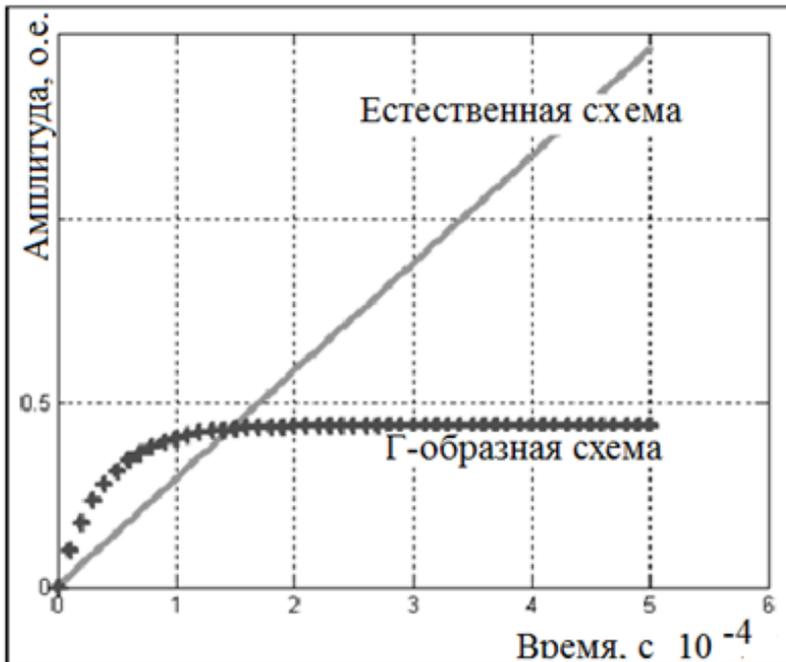


Рисунок 4. Переходные характеристики схем

Пример для частоты сети 400 Гц
Результаты расчётов для двух частот сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Результаты расчёта параметров трансформаторов

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение для частоты сети 400 Гц	Значение для частоты сети 50 кГц
Количество витков 1 обмотки	W1	-	158	38
Количество витков 2 обмотки	W2	-	4298	1037
Средняя геометрическая длина линии магнитного потока	lm	м	0,5	0,28
Индуктивность намагничивания	Lm	Гн	0,05	0,0012
Индуктивность рассеяния, приведённая к 1 цепи	Ls	Гн	0,0029	$7,2 \cdot 10^{-5}$
Индуктивность 2 обмотки	L2	Гн	37,4	0,9
Площадь сечения магнитопровода	Sc	м ²	0,0016	0,0004
Коэффициент связи обмоток	ks	-	0,74	0,9
Взаимная индуктивность обмоток	M	Гн	0,1	0,03
Масса обмоток (медный провод)	Qm	кг	0,67	0,074
Масса магнитопровода	Qf	кг	6,2	0,5
Масса трансформатора	Qm	кг	6,9	0,58
Активное сопротивление 1 обмотки	R1	Ом	0,36	0,2
Активное сопротивление 2 обмотки	R2	Ом	660	85
КПД	etta	-	0,89	0,98

На рисунке 5 показана упрощённая структура математической модели источника питания в системе SIMULINK POWER SYSTEMS.

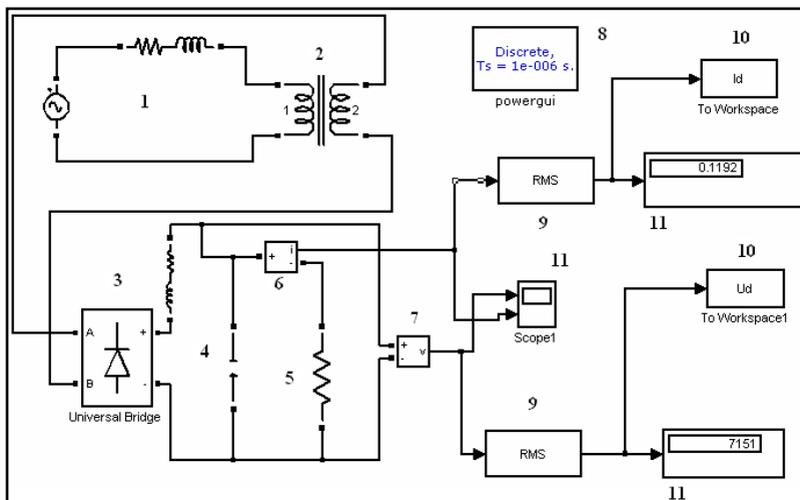


Рисунок 5. Структура математической модели источника питания

Настройки блоков соответствуют полученным выше данным.

Позиции на рис.5: 1 – цепь питания; 2 – ВВТ; 3 – выпрямитель; 4 – фильтр; 5 – сопротивление нагрузки; 6 – измеритель тока; 7 – измеритель напряжения; 8 – графический интерфейс пользователя; 9 – блоки вычисления действующих значений сигналов; 10 – блоки сохранения информации; 11 – приборы наблюдения.

Пример 2. Оптимизация параметров ВВТ.

На основе представленных соотношений (1...10) может быть формализована задача оптимизации параметров ВВТ. Здесь использован алгоритм деформируемого многогранника [5, с. 28], [6, с. 308].

В качестве минимизируемой целевой функции в данном примере – сумма квадратов заданных параметров. Сущность ЦФ Уорт: минимизация массы СТ, получение максимального КПД, ограничение тока холостого хода:

$$Y_{opt} = QT^2 + (1 - \eta T)^2 + I_{max}^2.$$

Результаты расчётов и оптимизации сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты предварительных расчётов и оптимизации

Наименование параметра	Размерность	Значение по результатам предварительного расчёта в программе MAPLE	Значение по результатам предварительного расчёта в программе MATLAB	Значение по результатам оптимизации
Ток нагрузки	А	0.85	0.85	0.85
Напряжение нагрузки (для 1 фазы, с учётом множителя)	В	9000	9000	9000
Активная мощность нагрузки	Вт	8910	8500	8500
Длина стержня	м	0.15	0.15	0.145
Длина ярма	м	0.2	0.2	0.22
Ширина магнитопр.	м	0.05	0.047	0.03
Количество витков 1 обмотки	-	126	142	152
Количество витков 2 обмотки	-	3400	4000	2860
Индуктивность намагничивания	Гн	0.018	0.018	0.022
Индуктивность рассеяния	Гн	-	0.002	0.002
Ток холостого хода	А	6.3	-	5,45
Диаметр провода 1 обмотки	м	-	0.005	0.004

Продолжение таблицы 1.

Диаметр провода 2 обмотки	м	-	0.001	0.001
Масса трансформа- тора	кг	-	21.5	14,7
КПД	-	-	0.94	0.975

Выводы

1. Методика определения параметров схем замещения трансформатора, в том числе, высоковольтного, (ВВТ) и соответствующее программное обеспечение позволяют сократить время проектирования и повысить точность результата.

2. Применение методов и алгоритмов оптимизации позволило значительно сократить массу и стоимость изделия.

Список литературы:

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. Изд. «Энергия», М.: 1969. 422 с.
2. Кошелев П.А., Опре В.М., Парамонов С.В., Терещенко В.Н.. Особенности проектирования силового трансформатора для системы электропитания подвижного объекта. Вопросы электротехнологии. №3(8)/2015: Саратов, 2015. С. 87-95. ISSN 2309-6020.
3. Матханов П.Н., Гоголицын Л.З. Расчёт импульсных трансформаторов. Изд. «Энергия», Л.: 1980. 109 с.
4. Терещенко В.Н., Кошелев П.А., Парамонов С.В. Проектирование и оптимизация элементов источника питания цепи катода клистрона для радиолокации и радионавигации. Вопросы радиоэлектроники, серия РЛТ, 2013, вып. 1. Изд-во ОАО "ЦНИИ "Электроника". С. 56-72.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975, 534 с.
6. Nelder J.A. and Mead R., Computer Journal, 1965, vol. 7, p. 308 – 313.

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИКА

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ЯДЕРНЫЙ ГЕОРЕАКТОР

Дмитриев Валерий Филиппович

*д-р техн. наук, главный научный сотрудник,
АО «НПО «СПЛАВ» имени Ганичева,
РФ, г. Тула*

Тарасов Роман Станиславович

*ведущий инженер,
АО «НПО «СПЛАВ» имени Ганичева
РФ, г. Тула*

NUCLEAR GEOREACTOR

Valery Dmitriev

*Doctor
of Technical Sciences, Chief Researcher,
JSC "NPO "SPLAV" named after Ganiehev,
Russia, Tula*

Roman Tarasov

*Lead Engineer,
JSC "NPO "SPLAV" named after Ganiehev
Russia, Tula*

Аннотация. Исследуется возможность существования в центре земного шара ядерного реактора. Проводится расчет критических параметров. Рассматривается влияние земного ядерного реактора на периодические обледенения Земли.

Abstract. The possibility of the existence of a nuclear reactor in the center of the globe is being investigated. Critical parameters are calculated. The influence of the terrestrial nuclear reactor on periodic icing of the Earth is considered.

Ключевые слова: Земля; ядерный реактор; обледенения; теплопроводность земных пород; периоды обледенения.

Keywords: Earth; nuclear reactor; icing; thermal conductivity of Earth rocks; periods of icing.

Природный уран [2] состоит, в основном, из смеси двух изотопов: ^{238}U и ^{235}U (99,3% и 0,7% соответственно). Период полураспада урана-238 – 4,5 млрд лет, урана-235 – около 700 млн лет. Из-за разной скорости естественного распада соотношение изотопов в природе изменяется со временем: доля более легкого урана-235 неуклонно уменьшается. ^{238}U и ^{235}U – родоначальники длинных радиоактивных рядов. Например, уран-238, распадаясь, сначала превращается в торий-234, который, в свою очередь, также распадается. Конечными (стабильными) нуклидами для естественных цепочек распада урана являются изотопы свинца. Суммарное количество энергии, выделяющейся во всей цепочке реакций, около 50 МэВ.

Земля излучает тепла примерно в 2,5 раза больше, чем должна отдавать в результате естественного распада радиоактивных элементов в коре (*радиогенное тепло*) и первичного нагрева. Но вот в цепных ядерных реакциях как раз выделяется тепла в несколько раз больше, чем при естественном радиоактивном распаде. И если гипотетические реакторы расположены глубоко в недрах, то понятно, почему следы их активности не удалось найти в урановых месторождениях (за исключением месторождения урана Окло – государство Габон в Африке).

Если в недрах Земли действительно идут цепные реакции, значит, там должны присутствовать скопления радиоактивных элементов (*актиноидов*). На рубеже XX–XXI вв. В.Ф. Анисичкин с соавторами предложили обоснованную гипотезу, согласно которой местом критической концентрации урана и тория могла быть поверхность твердого внутреннего ядра Земли. Эта концепция во многом базируется на работах [1] по растворимости диоксида урана (UO_2), проведенных в конце 1990-х гг. в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). В экспериментах на аппарате высокого давления типа «разрезная сфера» А.И. Туркиным было показано, что растворимость UO_2 в расплавах на основе железа с ростом давления уменьшается. Исследуемый диапазон давлений составлял 5 – 10 ГПа (для сравнения:

в центре Земли давление около 360ГПа). Поскольку в природе уран встречается преимущественно в виде оксидов, то логично сделать вывод: чем глубже, тем хуже будет растворяться уран! Этот важный экспериментальный факт наводит на мысль, что миграция актиноидов в теле Земли могла быть следующей. После образования планеты в океане магмы, состоящей, в основном, из расплавов железа и силикатов, присутствовали и соединения урана. Со временем магма остывала, и происходило гравитационное разделение вещества по плотности. Силикаты, кристаллизуясь, всплывали в магме, плотность которой за счет железа была выше. Соединения же тяжелых актиноидов, выделяясь из расплава по мере роста давления и кристаллизуясь, оседали на внутреннее твердое железоникелевое ядро планеты.

Из сейсмологических исследований известно, что переходная зона между внешним жидким и внутренним твердым ядром Земли толщиной 2 – 3 км имеет мозаичную структуру. При этом основными структурными элементами являются относительно тонкие взвешенные слои протяженностью до нескольких десятков километров. Возможно, именно они и являются областями концентрации тяжелых радиоактивных элементов (Рис. 1). Природная распространённость на Земле урана 0,7204 %. Тория по распространённости в земной коре (0,001-0,002%), плутоний образуется в микроскопических количествах (0,4 – 15 частей плутония на 10^{12} частей урана). Радий содержится в земной коре в количестве всего одной десятиллиардной доли процента

Максимальная продолжительность функционирования ядерного геореактора возможна в режиме воспроизводства делящихся нуклидов. При этом уран-238, захватывая нейтрон деления, превращается в плутоний, а плутоний, испуская α -частицу, – в уран-235:



Ряд глобальных явлений (оледенений, вулканической активности) на Земле носит циклический характер с периодом в сотни тысяч и миллионы лет [5]. Можно рассмотреть их причину, рассчитав периодичность действия ядерного геореактора [3]. Для расчета имеем следующие исходные положения [2]. Принимаем, что в качестве замедлителя и отражателя используется железо-никелиевый расплав, в качестве делящегося вещества используется U235, начало работы геореактора происходит при 5400К, в результате кристаллизации плотность U238 в железо-никелевом расплаве повысилась в 147,3 раза. Имеем исходные данные в СИ – плотность Земли, изменение плотности активной зоны за счет коэффициента объемного расширения. То-

гда плотность $q, \text{g}/\text{cm}^3$ и ядерная плотность $N, 1/\text{cm}^3$ каждой составляющей будет [6]:

$$qz := 5518 \quad al := \frac{1}{[1 + 1000 \cdot (14.5 \cdot 10^{-6})]^3} \quad al = 1$$

$$qU := \frac{0.00724 \cdot 5518 \cdot 1.473 \cdot 100 \cdot al}{1000} \rightarrow 5.88468213600000000000$$

$$qFe := 7.8 \cdot al \quad qFe = 7.8$$

$$q := qU + qFe \rightarrow 13.68468213600000000000$$

$$qU235 := qU \cdot 0.007 \rightarrow .411927749520000000000e-1$$

$$Nz := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{q}{A} \quad NU235 := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{qU235}{235}$$

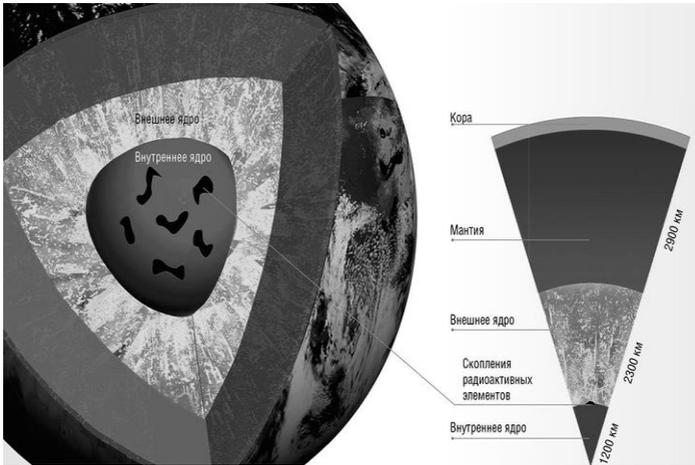


Рисунок 1. Схема кристаллизации диоксида урана на твердом ядре Земли. Структура Земли и предполагаемое месторасположение скоплений радиоактивных элементов – «островов» на поверхности внутреннего твердого ядра. Вследствие большого удельного веса уран, торий и другие радиоактивные элементы опускаются внутрь Земного шара

Далее коэффициент размножения U235, средние углы отражения нейтронов, ядерная плотность $N, 1/\text{cm}^3$ U235, Fe, микроскопические сечения рассеяния σ_s, cm^2 , деления σ_f, cm^2 , поглощения σ_a, cm^2 U235, Fe [6]:

$$\begin{aligned}
 kU235 &:= 2.46 & \cos\psi_{Fe} &:= \frac{2}{3.58} & \cos\psi_{U235} &:= \frac{2}{3.235} \\
 \cos\psi_{Fe} &= 0.011 & & & \cos\psi_{U235} &= 2.837 \times 10^{-3} \\
 NU235 &= 1.055 \times 10^{20} & N_{Fe} &:= 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{q_{Fe}}{58} & N_{Fe} &= 8.096 \times 10^{22} \\
 \sigma_s U235 &:= 9.6 \cdot 10^{-24} & \sigma_a U235 &:= 3.1 \cdot 10^{-24} & \sigma_c U235 &:= 4 \cdot 10^{-24} \\
 \sigma_s Fe &:= 11 \cdot 10^{-24} & \sigma_a Fe &:= 2.4 \cdot 10^{-24} & \sigma_f U235 &:= 750 \cdot 10^{-24}
 \end{aligned}$$

По исходным данным определяем макроскопические сечения Σ, cm^2 для активной зоны и отражателя [6], коэффициент диффузии $D, \text{l/cm}$, длину диффузии L, cm , параметр $B, \text{l/cm}$:

$$\Sigma_{sk} := \sigma_s Fe \cdot N_{Fe} \cdot (1 - \cos\psi_{Fe}) + NU235 \cdot \sigma_s U235 \cdot (1 - \cos\psi_{U235})$$

$$\Sigma_{sk} = 0.881$$

$$\Sigma_{ak} := \sigma_a Fe \cdot N_{Fe} + \sigma_a U235 \cdot NU235 \rightarrow .19462781287481250911$$

$$\Sigma_{fk} := \sigma_f U235 \cdot NU235 \rightarrow .79142714429055319148e-1$$

$$\Sigma_{trk} := \Sigma_{ak} + \Sigma_{sk} \rightarrow 1.0759466459274549796$$

$$\Sigma_{so} := \sigma_s Fe \cdot N_{Fe} \cdot (1 - \cos\psi_{Fe}) \rightarrow .88030868014268727703$$

$$\Sigma_{ao} := \sigma_a Fe \cdot N_{Fe} \rightarrow .19430068965517241379$$

$$D_{ak} := \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{sk}} \quad D_{ak} = 0.378 \quad L_{ak} := \frac{D_{ak}^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\Sigma_{ak}}} \quad L_{ak} = 1.394$$

$$D_{ao} := \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{so}} \quad D_{ao} = 0.379 \quad L_{ao} := \frac{D_{ao}^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\Sigma_{ao}}} \quad L_{ao} = 1.396$$

$$B_{ak} := \frac{(k_{Pu} - 1)^{\frac{1}{2}}}{L_{ak}} \quad B_{ak} = 0.935 \quad B_{ao} := \frac{(k_{Pu} - 1)^{\frac{1}{2}}}{L_{ao}} \quad B_{ao} = 0.934$$

Вычисляем радиус активной зоны R_k, cm без учета отражателя [6]

$$\chi := \left(\frac{-kU235 \cdot \Sigma_{fk} - \Sigma_{ak}}{-D_{ak}} \right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow .12933248044100238670\epsilon$$

$$R_{kr} := \frac{\pi}{\chi} \quad R_{kr} = 242.908$$

Определяем размер отражателя и критический радиус активной зоны с отражателем методом подбора величины R_{kr} из уравнений [6]

$$T_z := \text{Lao}$$

$$\frac{1}{\tan(\text{Bak} \cdot R_{kr})} - \frac{1}{\text{Bak} \cdot R_{kr}} \cdot \left(1 - \frac{\text{Dao}}{\text{Dak}} \right) - \frac{-\text{Dao}}{\text{Dak} \cdot \text{Bak} \cdot \text{Lao} \cdot \tan\left(\frac{T_z}{\text{Lao}}\right)} = 0$$

Получаем $R_{kr} := 240.6 \text{ cm}$

При размерах активной зоны, больше критического ядерный реактор будет нагревать ядро Земли, например, до 6400°K . Вследствие расширения материала Земли с коэффициентом линейного расширения $14.5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, соответственно плотность изменится в

$$a_l := \frac{1}{[1 + 1000 \cdot (14.5 \cdot 10^{-6})]^3} \quad a_l = 0.958 \text{ раз.}$$

Повторяем расчет при 6400°K .

$$a_{z_{\text{ж}}} := 5518 \quad a_l := \frac{1}{[1 + 1000 \cdot (14.5 \cdot 10^{-6})]^3} \quad a_l = 0.958$$

$$q_U := \frac{0.00724 \cdot 5518 \cdot 1.473 \cdot 100 \cdot a_l}{1000} \rightarrow 5.6359464119918599671$$

$$q_{\text{Fe}} := 7.8 \cdot a_l \quad q_{\text{Fe}} = 7.47$$

$$q := q_U + q_{\text{Fe}} \rightarrow 13.106253388235395127$$

$$q_{U235} := q_U \cdot 0.007 \rightarrow .39451624883943019770\epsilon-1$$

$$N_z := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{q}{A} \quad N_{U235} := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{q_{U235}}{235}$$

$$\begin{aligned} k_{U235} &:= 2.46 & \cos\psi_{Fe} &:= \frac{2}{3 \cdot 58} & \cos\psi_{U235} &:= \frac{2}{3 \cdot 235} \\ \cos\psi_{Fe} &= 0.011 & & & \cos\psi_{U235} &= 2.837 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$N_{U235} = 1.011 \times 10^{20} \quad N_{Fe} := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{q_{Fe}}{58} \quad N_{Fe} = 7.754 \times 10^{22}$$

$$\sigma_s U235 := 9.6 \cdot 10^{-24} \quad \sigma_a U235 := 3.1 \cdot 10^{-24} \quad \sigma_c U235 := 4 \cdot 10^{-24}$$

$$\sigma_s Fe := 11 \cdot 10^{-24} \quad \sigma_a Fe := 2.4 \cdot 10^{-24} \quad \sigma_f U235 := 750 \cdot 10^{-24}$$

$$\Sigma_{sk} := \sigma_s Fe \cdot N_{Fe} \cdot (1 - \cos\psi_{Fe}) + N_{U235} \cdot \sigma_s U235 \cdot (1 - \cos\psi_{U235})$$

$$\Sigma_{sk} = 0.844$$

$$\Sigma_{ak} := \sigma_a Fe \cdot N_{Fe} + \sigma_a U235 \cdot N_{U235} \rightarrow .18640121901150425861$$

$$\Sigma_{fk} := \sigma_f U235 \cdot N_{U235} \rightarrow .75797483553618184793e-1$$

$$\Sigma_{trk} := \Sigma_{ak} + \Sigma_{sk} \rightarrow 1.0304681711714999697$$

$$\Sigma_{so} := \sigma_s Fe \cdot N_{Fe} \cdot (1 - \cos\psi_{Fe}) \rightarrow .84309949673303276370$$

$$\Sigma_{ao} := \sigma_a Fe \cdot N_{Fe} \rightarrow .18608792274614930345$$

$$D_{ak} := \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{sk}} \quad D_{ak} = 0.395 \quad L_{ak} := \frac{D_{ak}^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\Sigma_{ak}}} \quad L_{ak} = 1.456$$

$$D_{ao} := \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{so}} \quad D_{ao} = 0.395 \quad L_{ao} := \frac{D_{ao}^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\Sigma_{ao}}} \quad L_{ao} = 1.458$$

$$B_{ak} := \frac{(k_{Pu} - 1)^{\frac{1}{2}}}{L_{ak}} \quad B_{ak} = 0.896 \quad B_{ao} := \frac{(k_{Pu} - 1)^{\frac{1}{2}}}{L_{ao}} \quad B_{ao} = 0.895$$

$$\chi := \left(\frac{-k_{U235} \cdot \Sigma_{fk} - \Sigma_{ak}}{-D_{ak}} \right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow .12386581165298727050e-1$$

$$R_k := \frac{\pi}{\chi} \quad R_k = 253.629$$

С учетом отражателя $R_{kr} := 251.27$ см. Так как размер активной зоны ядерного геореактора в результате нагрева станет $\frac{240.6}{0.958} = 251.148$,

ст то размер активной зоны станет меньше критического размера, геореактор при нагреве до 6400°K затухнет и Земля начнет охлаждаться.

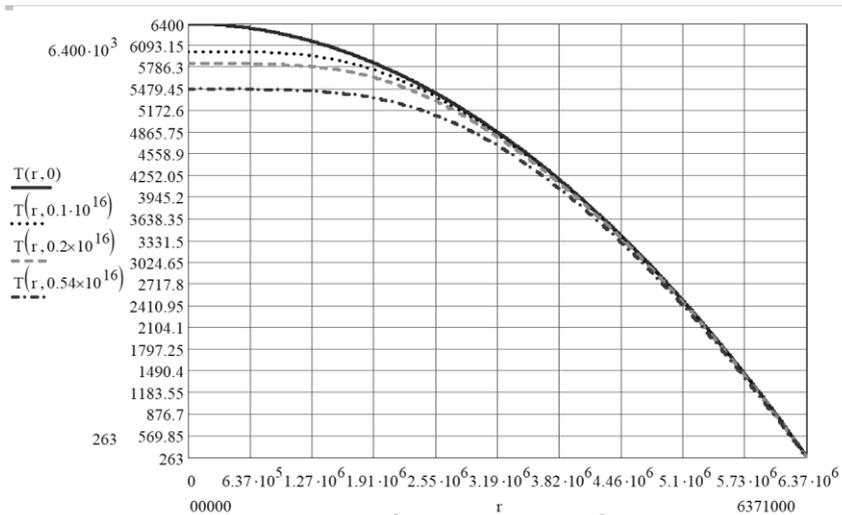


Рисунок 2. На рисунке представлены кривые температур $T(r)^0 K$ внутри Земли в моменты времени $t = 0c$; $t = 0,1 \cdot 10^{16} c$; $t = 0,2 \cdot 10^{16} c$; $t = 0,54 \cdot 10^{16} c$ после начала охлаждения

Расчет теплового режима проведен по уравнению нестационарной передачи тепла [4:С.154]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda(r)}{cq} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{cq} \frac{\partial \lambda(r)}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r}; \quad \lambda(r) = \lambda(Rz) \frac{R^2}{r^2} \quad (3п.1)$$

при исходных данных в СИ: $\lambda R = 60 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{K} \cdot \text{m})$, $Rz = 6371 \text{ km}$,

$$qz := 5518 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \lambda z1 := \lambda R \cdot \frac{Rz^2}{r^2} \frac{\text{J}}{\text{s}} \quad cz1 := 800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad r0 := 1 \text{ km}$$

$r0$ – радиус земного шара, где температура не меняется от центра (допущение, вызванное необходимостью конечного шага расчета по радиусу).

Расчет был проведен в программе Маткад. Звисимость $\lambda(r)$ выбрана таким образом, чтобы расчетное распределение температуры для установившегося процесса, рассчитанное по уравнению (3п.1) при условии $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, совпало с опытным распределением температуры Земли в настоящее время (рис. 3). Величина λR принята средней в соответствии с составом Земли. Как видно по кривым на рис. 2. за время $t=0,54 \cdot 10^{16} \text{с} = 170,8$ млн лет ядро Земли охладится на 1000°K , поверхность Земли охладится от средней температуры плюс 10°C до минус 10°C , плотность активной зоны геореактора увеличится, размеры критической зоны уменьшатся и ядерный геореактор снова начнет выделять тепло. Таким образом с периодичностью $\cdot 2 \cdot 170,8 \cdot 10^8$ лет поверхность Земли меняет среднюю температуру от $+10^\circ\text{C}$ до -10°C . Это может быть причиной ледниковых эр и периодов на Земле. (Для сравнения: Марс после прекращения работы ядерного марсореактора остыл за 200млн лет[3]).

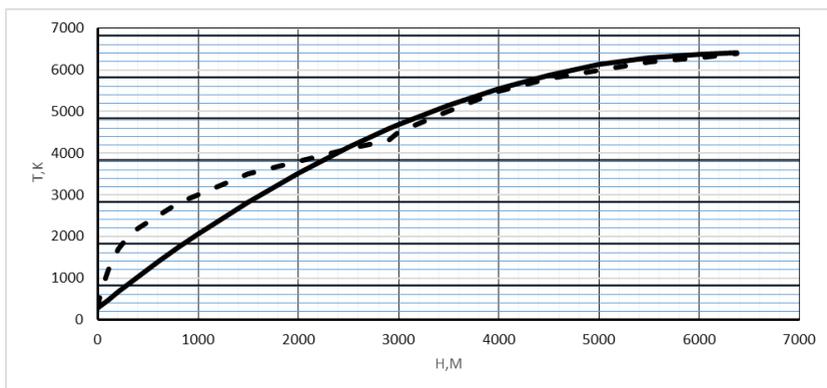


Рисунок 3. Изменение температуры T^0, K внутри Земли теоретическое — и — — — — опытное в зависимости от расстояния от поверхности Земли H

По опытным данным [Rusov; 1], полученным с помощью замера на нейтринном детекторе KamLAND (Япония), мощность геореактора составляет 30 ТВт.

При нагреве геореактора на $T_{01}=1000\text{K}$ средняя температура Земли повысится на

$$\left(\frac{4 \cdot R_z^3}{3} \pi\right)^{-1} \cdot \int_0^{R_z} \left[\frac{T_p \cdot r}{R_z} - (T_{01}) \left(\frac{r}{R_z} - 1 \right) \right] \cdot 4\pi r^2 dr = 466 \text{ } ^\circ\text{K.}$$

Тогда нагрев земли произойдет при средней теплоемкости материала Земли $C_z=678\text{J/kg}\cdot\text{K}$ и массе Земли $5,976 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ с учетом тепла радиоактивного распада за $T, \text{лет} =$

$$\frac{5.976 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot C_z \cdot (466) \text{ K}}{2.3 \cdot 10^{13} \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot (3600\text{s} \cdot 24 \cdot 366)} = 9.951 \times 10^8 \text{ } \blacksquare$$

Выводы

Существование ядерного геореактора, осуществляющего нагрев внутри Земли приводит к извержению вулканов, движению континентов, их сталкиванию, в результате чего происходят землетрясения, цунами, исчезновение одних и появление других океанов, оледенения Земли длительностью сотни миллионов лет.

Появление слоев Земли, ядерного геореактора, вулканов означает структурное изменение Земли, т.е. автоматизм или информационную форму движения материи [3].

Причиной же ледниковых эпох длительностью 24000лет могут быть влияния расположение планет, планетоидов Солнечной системы по теории сербского ученого Милошевича.

Выяснение физики геотектоники позволяет лучше понимать образование и размещение полезных ископаемых.

Список литературы:

1. Rusov V.D., Pavlovich V.N., Vaschenko V.N. et al. // Journ. Geophys. Res. – 2007. – V. 112. – P. 1.
2. Анисичкин В.Ф., Бордзиловский С.А., Караханов С.М. и др. // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45. – С. 100.
3. Дмитриев В.Ф. Физика информационной космологии. – Тула: Издательство Аквариус, 2020. – 1000с.

4. Ерохин Б.Т., Быцкевич В.М., Дурнев В.Н., Лозовецкий В.В., Яковлев С.П. Внутрикамерные процессы и преобразование энергии в космических энергосистемах. – М. : ВИНТИ РАН, 2001. – 480с.
5. Хаин В.Б. Общая геотектоника. – М., 1964. – 479с.
6. Широков, С.В. Физика ядерных реакторов : учеб. пособие / С.В. Широков. – Минск : Выш. шк., 2011. – 349 с. : ил.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам LVI международной
научно-практической конференции*

№ 6 (56)
Август 2022 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 04.08.22. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3

16+



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru