

## ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья  
УДК 530.1<https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-1-92-101>

## Классификация форм энергии в соответствии с уровнями организации материи

Владимир Владимирович Папин<sup>1✉</sup>, Николай Николаевич Ефимов<sup>2</sup>,  
Евгений Михайлович Дьяконов<sup>3</sup>, Роман Владимирович Безуглов<sup>4</sup>,  
Денис Владимирович Добрыднев<sup>5</sup>, Анатолий Сергеевич Шмаков<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

им. М. И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

<sup>1</sup>[vladimir\\_papin@bk.ru](mailto:vladimir_papin@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3277-9413>

<sup>2</sup>[efimovnn40@mail.ru](mailto:efimovnn40@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5010-6773>

<sup>3</sup>[emdyakonov@yandex.ru](mailto:emdyakonov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0289-2976>

<sup>4</sup>[bezuglov@npi-tu.ru](mailto:bezuglov@npi-tu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7142-5207>

<sup>5</sup>[d.v.dobrydnev@gmail.com](mailto:d.v.dobrydnev@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4702-6211>

<sup>6</sup>[tolikshmakov.1998@rambler.ru](mailto:tolikshmakov.1998@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2260-8389>

**Резюме.** Цель – рассмотреть виды энергии: механическая, тепловая, химическая, электромагнитная, ядерная с точки зрения организации материи и установить жесткую связь между ними; провести сравнение энергетических потенциалов различных уровней организации вещества, для определения энергетических потенциалов произвести их расчеты. В механической энергии рассмотрены потенциальная энергия и энергия стального диска при частоте вращения 100000 об/мин. Потенциал тепловой энергии рассмотрен на примере нагрева стального образца с температуры 20°C до температуры 1400°C. В химической энергии рассмотрен самый распространенный в технике горючий элемент – углерод. Для оценки энергетического потенциала электромагнитной энергии определен суммарный заряд всех электронов в 1 кг железа. Для ядерной энергии произведен расчет энергии, выделяющейся при распаде 1 кг  $U^{235}$ . Установлена зависимость степени энергетического потенциала от уровня организации вещества. Рассмотрена возможность использования энергетического потенциала следующего уровня организации вещества. Выявлены закономерности уровней организации материи. Материал, приведенный в данной статье, носит фундаментальный характер, но нацелен на конкретное практическое применение в устройстве, разрабатываемом в рамках докторской диссертации одного из авторов на тему «Когенерационный теплоэнергетический комплекс, объединяющий принципы трансформации энергий». Классификация форм энергии, в соответствии с уровнями организации материи, производится в рамках выявления общих принципов и закономерностей использования низкопотенциальных источников различных форм энергии, которая позволяет создать новый трансформатор теплоты и теплоэнергетический комплекс на его основе. Выполненные авторами начальные теоретические исследования впоследствии будут базой для создания различных трансформаторов энергии, способных работать с несколькими видами энергии в одном устройстве.

**Ключевые слова:** механическая энергия, тепловая энергия, химическая энергия, электромагнитная энергия, ядерная энергия, организация материи

**Финансирование:** Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-2369.2020.8.

**Для цитирования:** Папин В. В., Ефимов Н. Н., Дьяконов Е. М., Безуглов Р. В., Добрыднев Д. В., Шмаков А. С. Классификация форм энергии в соответствии с уровнями организации материи // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 1. С. 92–101. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-1-92-101>.

Original article

## A classification of energy forms according to the levels of organization of matter

Vladimir V. Papin<sup>1✉</sup>, Nikolay N. Efimov<sup>2</sup>, Evgeny M. Dyakonov<sup>3</sup>,  
Roman V. Bezuglov<sup>4</sup>, Denis V. Dobrydnev<sup>5</sup>, Anatoly S. Shmakov<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

<sup>1</sup>vladimir\_papin@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3277-9413>

<sup>2</sup>efimovnn40@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5010-6773>

<sup>3</sup>emdyakonov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0289-2976>

<sup>4</sup>bezuglov@npi-tu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7142-5207>

<sup>5</sup>d.v.dobrydnev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4702-6211>

<sup>6</sup>tolikshmakov.1998@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2260-8389>

**Abstract.** The study investigates mechanical, thermal, chemical, electromagnetic, and nuclear types of energy from the standpoint of organization of matter in order to establish a connection between them. In this regard, a calculation and comparison of the energy potentials for various levels of matter organization were performed. For mechanical energy, the potential energy and the energy of a steel disk at a rotation frequency of 100,000 rpm were considered. The potential of thermal energy was discussed using the example of a steel sample heated from 20 to 1,400°C. For chemical energy, the most common combustible element in technology – carbon – was considered. The energy potential of electromagnetic energy was estimated by determining the total charge of all electrons in 1 kg of iron. For nuclear energy, a calculation of the energy released during the decay of 1 kg of U<sup>235</sup> was carried out. A dependence of the energy potential degree on the level of matter organization was established. The possibility of using the energy potential of the next level of matter organization was considered. Patterns of the levels of matter organization were revealed. Despite the fundamental nature of the material presented in this article, it is aimed at a specific practical application in a device developed as part of a doctoral dissertation by one of the authors on the topic “Cogeneration thermal and power complex combining the principles of energy transformation”. A classification of energy forms in accordance with the levels of matter organization was carried out in the framework of identifying the general principles and patterns of using low-potential sources of various energy forms. This classification allows a new thermal transformer and a thermal and power complex to be created. The initial theoretical studies carried out by the authors will subsequently form a basis for the creation of various energy transformers capable of operating with several types of energy in one device.

**Keywords:** mechanical energy, thermal energy, chemical energy, electromagnetic energy, nuclear energy, organization of matter

**Funding:** The article was prepared with the financial support of a grant from the President of the Russian Federation MK-2369.2020.8 for state support of young Russian scientists – candidates of sciences.

**For citation:** Papin V. V., Efimov N. N., Dyakonov E. M., Bezuglov R. V., Dobrydnev D. V., Shmakov A. S. A classification of energy forms according to the levels of organization of matter. *iPolytech Journal*. 2022;26(1):92-101. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-1-92-101>.

### ВВЕДЕНИЕ

Энергетические проявления в природе разнообразны, энергия проявляет себя на различных уровнях – от макрообъектов до квантового уровня и глубже, причем чем глубже уровень организации энергии, тем наблюдается большая ее концентрация. Эту закономерность можно проследить в ходе развития технического прогресса на каждом уровне использования энергии. Самый примитивный вид – это механическая энергия, свойственная макрообъектам (взяли камень, совершили работу). Следующим уровнем организации материи выступают составные ча-

сти макрообъектов – молекулы, которые обладают собственной энергией Броуновского движения, характерной для рассматриваемого уровня, что обуславливает тепловую энергию, и ее объем возрастает на полтора порядка по отношению к механической. Следующим уровнем является энергия взаимодействия частиц молекул, атомов или химическая энергия (третий уровень организации). Далее рассматривается атом, первой на пути предстает его электронная оболочка, обуславливающая электромагнитные взаимодействия (четвертый уровень организации), затем ядро и взаимодействие между нукло-

нами – ядерная энергия (пятый уровень организации).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первоначально человечество освоило самый примитивный, с точки зрения авторов, уровень энергии – механическую энергию, а также способы ее применения для производства орудий быта<sup>7,8</sup> [1–3]. Эта энергия отражает взаимодействие макроскопических объектов [4, 5]. В качестве единицы массы вещества примем 1 кг.

Для примера оценки механической энергии возьмем высоту, потенциально возможную для использования в примитивных механических устройствах  $h = 100$  м.

Потенциальная энергия рассматриваемой единицы вещества составит:

$$E_{\text{п}} = m \cdot g \cdot h = 1 \cdot 9,8 \cdot 100 = 980 \text{ Дж},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения на Земле.

Потенциальная энергия зависит от высоты располагаемого над поверхностью земли объекта и, безусловно, ограничивается рациональными условиями использования данного вида энергии.

Также можно рассмотреть энергетический потенциал рассматриваемого объекта с точки зрения использования кинетической энергии вращающейся массы (супермаховик). Ее предел может ограничиваться возможностями подшипников и магнитной подвески, а также прочностью материала на разрыв от действующих на него центробежных сил. На сегодняшний день наиболее передовые технологии позволяют обеспечить механическое вращение с частотой до 100 000 об/мин [6].

В качестве примера рассмотрим 1 кг стали цилиндрической формы с плотностью  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ , с частотами вращения от 10 об/с до 1666,6 об/с (100000 об/мин – технический предел).

Объем стального цилиндра определится:

$$V = m/\rho = 1/7800 = 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Придадим цилиндру форму диска, задав его высоту 1 см (0,01 м), тогда его радиус определится:

$$R = \left(\frac{v}{\pi \cdot h}\right)^{0,5} = \left(\frac{0,000128}{3,14 \cdot 0,01}\right)^{0,5} = 0,0639 \text{ м} = 6,39 \text{ см}.$$

Момент инерции стального диска составит:

$$I = 0,5 \cdot m \cdot R^2 = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,0639^2 = 0,0319 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Угловая скорость определится как

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot v = 2 \cdot 3,14 \cdot 1666,6 = 10466,2 \text{ рад/с}.$$

Энергия стального диска при частоте вращения 100000 об/мин ( $1666,6 \text{ с}^{-1}$ ):

$$E = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{0,0319 \cdot 10466,2^2}{2} = 1,7 \text{ МДж}.$$

**Таблица 1.** Зависимость энергии вращения килограммового стального диска от частоты вращения  
**Table 1.** Dependence of the 1 kg steel disk rotational energy on the rotational speed

№	Частота вращения диска, об/с	Кинетическая энергия вращения, Дж
1	10	62,9
2	50	1572,6
3	100	6290,4
4	500	157 260,6
5	1 000	629 042,5
6	1 666,6	1 747 200,4

Следующий более глубокий уровень энергии – тепловая энергия, она отражает состояние молекул в целом (скорость их Броуновского движения) и открывает более широкие возможности для человечества. Данный уровень характеризуется большими плотностями энергии по отношению к предыдущему [7, 8]. Тепловая энергия может рас-

<sup>7</sup>Энергия. Виды энергии и их особенности // Энергетика. История, настоящее и будущее [Электронный ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-2/part-2/section-1/1-3> (25.02.2021).

<sup>8</sup>Юдаев И. В., Гамага В. В., Даус Ю. В. Возобновляемые источники энергии: учеб. для вузов. СПб.: Изд-во «Лань», 2020. 328 с.

смагиваться как явная теплота, отражающая температуру или меру Броуновского движения частиц тела (их кинетическую энергию), либо скрытую теплоту фазового перехода [9, 10], данная энергия характеризует состояние энергоносителя, т.е. является потенциальной.

Для примера исследуем стальной образец массой 1 кг. Явная теплота, определяемая теплоемкостью, для стали равна:

$$c = 460 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Рассмотрим максимально возможную для твердой стали температуру (температуру плавления):

$$t_2 = 1400^\circ\text{C}.$$

Предположим, что нагрев осуществлялся от температуры  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , тогда тепловая энергия рассматриваемого образца определится следующим образом:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta t = 1 \cdot 460 \cdot (1400 - 20) \\ = 634800 \text{ Дж} = 638,8 \text{ кДж}.$$

При углублении в структуру вещества видно, что следующим уровнем является внутримолекулярный уровень, а энергия взаимодействия частиц на этом уровне характеризуется как химическая энергия [11, 12], она раскрывает более широкие возможности для ее аккумулирования и использования по сравнению с предыдущими [13, 14]. Химическая энергия отражает энергию связей между атомами в молекуле, т.е. является энергией состояния или потенциальной. Для примера рассмотрим самый распространенный в технике горючий элемент – углерод, который в аллотропном состоянии представляет собой графит. В соответствии с<sup>9</sup> [15], теплота сгорания графита составляет  $q = 33\,000$  кДж/кг.

При рассмотрении такой же массы вещества энергия, содержащаяся на уровне химического взаимодействия, составит:

$$E_x = m \cdot q = 1 \cdot 33000 = 33000 \text{ кДж}.$$

Следующим уровнем организации вещества является структура атома. Углубляясь в него, первоначально встречаемся с электронной оболочкой, которая участвует как в химических реакциях, так и самостоятельно обуславливает следующий вид энергии – электромагнитный [16]. Плотность данного вида энергии может определяться зарядом электронов и их концентрацией [17]. В сбалансированном состоянии общий потенциал атомов нулевой, поскольку заряд электронной оболочки равен заряду ядра. Однако имеется потенциал электрической энергии, теоретически равный сумме зарядов всех электронов в единице рассматриваемого вещества. Рассмотрим энергетический потенциал уровня организации вещества – электронную оболочку атома. При движении атомов их энергия является энергией действия. В качестве примера возьмем 1 кг железа. Важно понимать, что в зависимости от вида приложенного напряжения в процессе переноса электрического заряда могут участвовать не все электроны в металле, а только те, которые расположены ближе к периферии проводника, и чем выше частота, тем тоньше этот слой и ближе к границам проводника.

Первоначально определяем молекулярную массу по таблице Менделеева<sup>10</sup> [18]:

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}.$$

Определяем количество вещества:

$$v = \frac{m}{M} = \frac{1000}{56} = 17,85 \text{ моль}.$$

Количество атомов определится:

$$n_A = v \cdot A = 17,85 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,07 \cdot 10^{25},$$

где  $A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  – число Авогадро.

В одном атоме железа, в соответствии с таблицей Менделеева, 26 протонов, соответственно, ядро окружают 26 электронов, по-

<sup>9</sup>Теплота сгорания графита // Справочник химика 21. Химия и химическая технология [Электронный ресурс]. URL: <https://chem21.info/info/764369/> (01.04.2021).

<sup>10</sup>Ким А. М. Органическая химия: учеб. пособ. Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2004. 844 с.

этому количество электронов в 1 кг железа будет следующим:

$$n_E = n_A \cdot 26 = 27,96 \cdot 10^{25}.$$

Заряд одного электрона составляет  $q_E = e$  и  $q_E = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, поэтому суммарный заряд всех электронов в 1 кг железа составит:

$$Q = n_E \cdot q_E = 27,96 \cdot 10^{25} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 44\,736\,000 \text{ Кл}.$$

Энергия, которую может нести данный заряд, зависит от напряжения, и при напряжении только в один В составит:

$$E = Q \cdot U = 44\,736\,000 \cdot 1 = 44\,736\,000 \text{ Дж} = 44,7 \text{ МДж}.$$

**Таблица 2.** Энергетический потенциал суммарного заряда электронов в 1 кг железа

**Table 2.** Energy potential of the electrons total charge in 1 kg of iron

№	Напряжение, В	Энергетический потенциал, МДж
1	1	44,7
2	220	9834
3	380	16986
4	1000	44700

Наиболее глубоким уровнем организации энергии, используемым современным обществом, является энергия взаимодействия нуклонов внутри ядра [19, 20], что обуславливает энергию состояния энергоносителя и определяется следующим образом: произведем расчет энергии, выделяющейся при распаде 1 кг  $U^{235}$ , в соответствии с [21]. При делении одного атома  $U^{235}$  выделяется 200 МэВ или:

$$E_0 = 200 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}.$$

Молярная масса  $U^{235}$ , в соответствии с таблицей Менделеева:

$$M(U^{235}) = 235 \text{ г/моль} = 0,235 \text{ кг/моль}.$$

Число атомов в 1 кг урана:

$$N = \frac{A \cdot m}{M(U^{235})} = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1}{0,235} = 2,56 \cdot 10^{24}.$$

Энергия деления всех атомов в 1 кг  $U^{235}$ :

$$E = E_0 \cdot N = 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 2,56 \cdot 10^{24} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{ Дж}.$$

Расчет подтверждается данными, приведенными в [21], ядерное топливо по сравнению с органическим отличается очень высокой потенциальной энергоемкостью (~ в  $2,5 \cdot 10^6$  раз больше).

### СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

Для корректного сравнения энергетических потенциалов различных уровней организации вещества необходимо использовать критерий, который обеспечит приемлемую точность сравнения, т.к., например, материал можно нагревать до сверхвысоких температур или разгонять до космических скоростей и так далее. Общим критерием для приемлемой оценки энергетических потенциалов можно назвать нормальные условия, то есть те условия, которые характерны для нашей планеты и для нормального природного состояния веществ. Этот критерий необходим для приблизительной оценки (с точностью одного-двух порядков) динамики изменения энергетического потенциала в зависимости от уровня организации вещества.

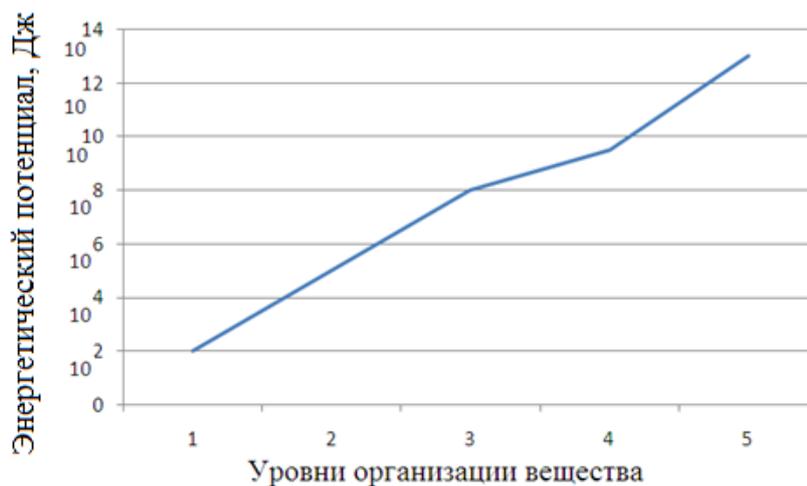
Если построить график изменения порядка энергетического потенциала, основываясь на средних значениях порядка, приведенных в табл. 3, получится график, представленный на рис. 1.

Анализируя тенденцию повышения плотности энергии с углублением уровня организации вещества, можно предположить, что она будет сохраняться и далее, и следующим этапом станет использование энергии взаимодействия составляющих нуклонов и так далее.

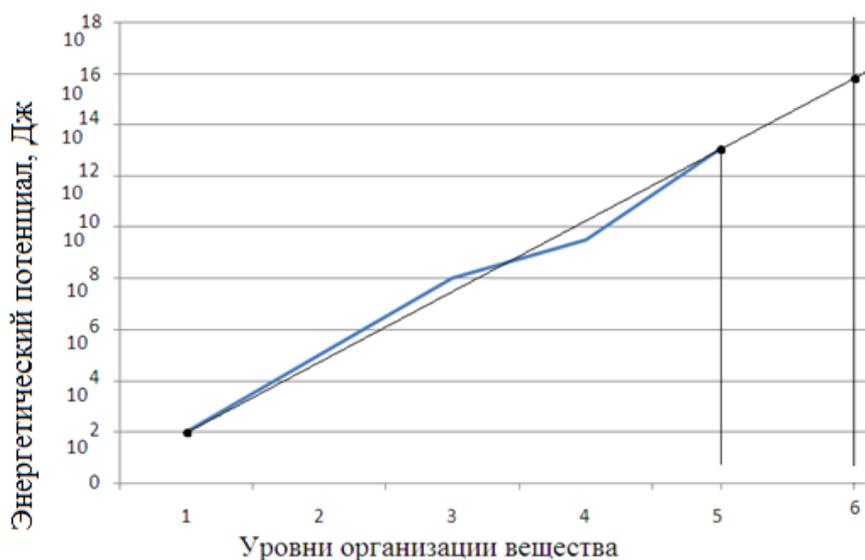
<sup>11</sup>Озеров А. Н. Паропроизводящие установки атомных электрических станций: учеб. пособ. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2008. 227 с.

**Таблица 3.** Зависимость степени энергетического потенциала от уровня организации вещества  
**Table 3.** Dependence of the energy potential degree on the level of matter organization

№	Уровень организации вещества	Вид энергии	Потенциальное количество энергии уровня организации (энергетический потенциал), Дж
1	Макрообъект	механическая	$10-10^3$
2	Молекулы	тепловая явная	$10^5$
		тепловая скрытая	–
3	Межатомный уровень	химическая	$10^8$
4	Электронная оболочка	электромагнитная	$10^8-10^{11}$
5	Межнуклонный	ядерная	$10^{13}$



**Рис. 1.** Графическая иллюстрация зависимости степени энергетического потенциала от уровня организации вещества (см. табл. 3)  
**Fig. 1.** Graph of energy potential degree dependence on the level of matter organization (See Table 3)



**Рис. 2.** Анализ возможности использования энергетического потенциала следующего уровня организации вещества  
**Fig. 2.** Analysis of the application possibility of the energy potential of the next level of matter organization

Согласно данным анализа, представленного на рис. 2, можно предположить, что энергетический потенциал взаимодействия частиц (кварков) внутри нуклонов составит порядка  $10^{16}$  Дж. Как видно из данных рис. 2, тенденция по увеличению энергетического потенциала 1 кг вещества при углублении на уровень организации вещества или, другими словами, потенциального количества энергии, характерного для рассматриваемого уровня, сохраняется практически линейная зависимость. Если провести усредненную сохраняющуюся, то получаем следующий уровень (точку б) и прогнозируемое потенциальное количество энергии, содержащееся в нем или его энергетический потенциал.

Какую же практическую пользу можно получить для решения задачи использования низкопотенциальных источников энергии, используя данное наблюдение. Это позволит более правильно систематизировать процессы трансформации потенциала различных видов энергии для более наглядного их рассмотрения и определения подобных процессов и, в итоге, более точного составления модели общего преобразователя (трансформатора), концептуально подходящего под все рассматриваемые виды энергии.

Например, потенциал внутриядерной энергии можно рассмотреть как готовность данного вещества к ядерной реакции, например,  $U^{235}$  является ядерным топливом (высокий потенциал),  $U^{238}$  – сырьем (средний потенциал), а  $C^{12}$  – нерадиоактивен (низкий потенциал).

С углублением уровня растет энергоемкость и функциональность применения энергетического потенциала.

Материал, приведенный в данной статье, носит фундаментальный характер, но нацелен на конкретное практическое применение в устройстве, разрабатываемом в рамках докторской диссертации одного из авторов «Когенерационный теплоэнергетический комплекс, объединяющий принципы транс-

формации энергий». Первые главы посвящены выявлению общих принципов и закономерностям использований низкопотенциальных источников различных форм энергий, начинающихся с приведенной в данной статье классификации форм энергии в соответствии с уровнями организации материи. Данные закономерности ложатся в основу модели нового трансформатора теплоты с новыми свойствами, отличающимися от абсорбционных и пароконденсационных трансформаторов эффективностью использования первичной энергии. На базе нового трансформатора теплоты предлагается высокоэффективный теплоэнергетический комплекс, работающий на органическом топливе и позволяющий его экономить вплоть до 400% за счет эффективного использования низкопотенциальных источников. В данный момент ведется изготовление прототипа теплоэнергетического комплекса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного анализа просматривается закономерность: различные уровни организации материи (макрообъекты, молекулы, атомы и так далее) обладают различным энергетическим потенциалом. Причем при переходе на предыдущий, более глубокий, уровень объемы энергий увеличиваются в среднем на два порядка. Это позволяет считать, что чем глубже в материю углубляемся, тем больше получаем возможностей почерпнуть и трансформировать энергию. При переходе на уровень ниже сохраняется постоянная тенденция увеличения объема энергии на полтора-два порядка. Таким образом, выделены основные формы энергий, используемые человечеством, в энергетике и привязаны к уровню организации материи, для которых они характерны. Данное наблюдение является теоретическим и позволяет взглянуть на классификацию энергий более системно, что в дальнейшем может быть полезно для практического применения.

## Список источников

1. Li Tao, Yao Shuai, He Limin, Yu Xiyun, Shan Siwei. Compositional study of household ceramic assemblages from a Late Neolithic (5300-4500 cal BP) earthen walled-

town in the middle Yangtze River valley of China // Journal of Archaeological Science: Reports. 2021. Vol. 39. P. 103159. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103159>.

2. Ardren T., Miller S. Household garden plant agency in the creation of Classic Maya social identities // *Journal of Anthropological Archaeology*. 2020. Vol. 60. P. 101212. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2020.101212>.

3. Amirante R., Cassone E., Distaso E., Tamburrano P. Overview on recent developments in energy storage: mechanical, electrochemical and hydrogen technologies // *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 132. P. 372–387. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.046>.

4. Congedo P. M., Baglivo C., Carrieri L. Hypothesis of thermal and mechanical energy storage with unconventional methods // *Energy Conversion and Management*. 2020. Vol. 218. P. 372–387. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113014>.

5. Maamer B., Boughamoura A., Fath El-Bab A. M. R., Francis L. A., Tounsi F. A review on design improvements and techniques for mechanical energy harvesting using piezoelectric and electromagnetic schemes // *Energy Conversion and Management*. 2019. Vol. 199. P. 111973. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111973>.

6. Singh K. K., Singh R. Process mechanics based uncertainty modeling for cutting force prediction in high speed micromilling of Ti6Al4V // *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 48. P. 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.048>.

7. Bezuglov R., Papin V., Dyakonov E., Veselovskaya E., Filimonov V. waste co-combustion with a conventional fossil fuel on power plants // *Mechanical Engineering and Materials Science: MATEC Web of Conferences*. 2020. Vol. 329. P. 03081. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903081>.

8. Efimov N. N., Parshukov V. I., Kopitsa V. V., Papin V. V., Bezuglov R. V., Lagutin A. Y. Studying possibilities of seasonal cold for application in multifunctional heat supply units // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. Iss. 7. P. 2623–2631.

9. Shaposhnikov V. V., Biryukov B. V. Increasing efficiency of CCP-based TPP with injection of dry saturated steam from recovery boiler into regenerator // *Journal of physics: Conference series*. 2017. No. 891. P. 012185. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/891/1/012185>.

10. Shaposhnikov V. V., Dyakonov E. M., Mihalko Ya. O., Batko D. N. Study of TGM-94 boiler with variable feed water temperature using a calculation model // *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2020. Vol. 862. Iss. 6. P. 062096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/6/062096>.

11. Боровков В. М., Зысин Л. В., Сергеев В. В. Технологии энергетического использования растительной

биомассы и органосодержащих отходов в энергетике // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2002. № 6. С. 13–24.

12. Зысин Л. В., Кошкин Н. Л., Орлов Е. И., Сергеев В. В., Стешенков Л. П. Исследование совместной работы дизеля и газогенератора, перерабатывающего растительную биомассу // *Теплоэнергетика*. 2002. Т. 49. № 1. С. 14–19.

13. Cramer C. J., Truhlar D. G. Density functional theory for transition metals and transition metal chemistry // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2009. Iss. 46. P. 10757–10816. <https://doi.org/10.1039/B907148B>.

14. Напка М., Żuchowski P. S. Interactions of atoms and molecules in cold chemistry // *Cold Chemistry: Molecular Scattering and Reactivity Near Absolute Zero*. 2017. Vol. 5. P. 203–275. <https://doi.org/10.1039/9781782626800-00203>.

15. Ротинян А. Л., Филатов В. П., Цибилов Г. В. Оптимизация производства хлора (диафрагменный метод). М.: Химия, 1980. 272 с.

16. Gür T. M. Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: challenges and prospects for large-scale grid storage // *Energy & Environmental Science*. 2018. Iss. 10. P. 2696–2767. <https://doi.org/10.1039/C8EE01419A>.

17. Contino F., Moret S., Limpens G., Jeanmart H. Whole-energy system models: the advisors for the energy transition // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2020. Vol. 81. P. 100872. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100872>.

18. Niaz M. Mendeleev and the periodic table: a response to Scerri // *Educación Química*. 2013. Vol. 24. Iss. 3. P. 285–287. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72477-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72477-7).

19. Zhu Can, Yuan Jun, Cai Fangfang, Meng Lei, Zhang Huotian, Chen Honggang. Tuning the electron-deficient core of a non-fullerene acceptor to achieve over 17% efficiency in a single-junction organic solar cell // *Energy & Environmental Science*. 2020. Iss. 13. P. 2459–2466. <https://doi.org/10.1039/D0EE00862A>.

20. Tabatabaei M., Aghbashlo M., Dehghani M., Panahi H. K. S., Mollahosseini A., Hosseini M., et al. Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019. Vol. 74. P. 239–303. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.06.001>.

21. Lee Yong Deok, Ahn Seong-Kyu, Choi Woo-Seok. Sensitivity simulation on isotopic fissile measurement using neutron resonances // *Nuclear Engineering and Technology*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.08.017>.

## References

1. Li Tao, Yao Shuai, He Limin, Yu Xiyun, Shan Siwei. Compositional study of household ceramic assemblages from a Late Neolithic (5300-4500 cal BP) earthen walled-town in the middle Yangtze River valley of China. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021;39:103159. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103159>.

2. Ardren T., Miller S. Household garden plant agency in

the creation of Classic Maya social identities. *Journal of Anthropological Archaeology*. 2020;60:101212. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2020.101212>.

3. Amirante R., Cassone E., Distaso E., Tamburrano P. Overview on recent developments in energy storage: mechanical, electrochemical and hydrogen technologies. *Energy Conversion and Management*. 2017;132:372-387.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.046>.

4. Congedo P. M., Baglivo C., Carrieri L., Hypothesis of thermal and mechanical energy storage with unconventional methods. *Energy Conversion and Management*. 2020;218:372-387.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113014>.

5. Maamer B., Boughamoura A., Fath El-Bab A. M. R., Francis L. A., Tounsi F. A review on design improvements and techniques for mechanical energy harvesting using piezoelectric and electromagnetic schemes. *Energy Conversion and Management*. 2019;199:111973. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111973>.

6. Singh K. K., Singh R. Process mechanics based uncertainty modeling for cutting force prediction in high speed micromilling of Ti6Al4V. *Procedia Manufacturing*. 2020;48:273-282.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.048>.

7. Bezuglov R., Papin V., Dyakonov E., Veselovskaya E., Filimonov V. Waste co-combustion with a conventional fossil fuel on power plants. In: *Mechanical Engineering and Materials Science: MATEC Web of Conferences*. 2020;329:03081.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903081>.

8. Efimov N. N., Parshukov V. I., Kopitsa V. V., Papin V. V., Bezuglov R. V., Lagutin A. Y. Studying possibilities of seasonal cold for application in multifunctional heat supply units. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018;13(7):2623-2631.

9. Shaposhnikov V. V., Biryukov B. V. Increasing efficiency of CCP-based TPP with injection of dry saturated steam from recovery boiler into regenerator. *Journal of physics: Conference series*. 2017;891:012185. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/891/1/012185>.

10. Shaposhnikov V. V., Dyakonov E. M., Mihalko Ya. O., Batko D. N. Study of TGM-94 boiler with variable feed water temperature using a calculation model. In: *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2020;862(6):062096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/6/062096>.

11. Borovkov V. M., Zysin L. V., Sergeev V. V. Technologies for the energy use of plant biomass and organic waste in the energy sector. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Energetika = Thermal Engineering*. 2002;6:13-24. (In Russ.).

12. Zysin L. V., Koshkin N. L., Orlov E. I., Sergeev V. V.,

Steshenkov L. P. Research of the combined operation of a diesel engine and plant biomass processing gas generator. *Teploenergetika*. 2002;49(1):14-19. (In Russ.).

13. Cramer C. J., Truhlar D. G. Density functional theory for transition metals and transition metal chemistry. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2009;46:10757-10816. <https://doi.org/10.1039/B907148B>.

14. Hapka M., Żuchowski P. S. Interactions of atoms and molecules in cold chemistry. *Cold Chemistry: Molecular Scattering and Reactivity Near Absolute Zero*. 2017;5:203-275. <https://doi.org/10.1039/9781782626800-00203>.

15. Rotinyan A. L., Filatov V. P., Cibizov G. V. *Optimization of chlorine production (diaphragm method)*. Moscow: Himiya; 1980, 272 p. (In Russ.).

16. Gür T. M. Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: challenges and prospects for large-scale grid storage. *Energy & Environmental Science*. 2018;10: 2696-2767. <https://doi.org/10.1039/C8EE01419A>.

17. Contino F., Moret S., Limpens G., Jeanmart H. Whole-energy system models: the advisors for the energy transition. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2020;81:100872.

<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100872>.

18. Niaz M. Mendeleev and the periodic table: a response to Scerri. *Educación Química*. 2013;24(3):285-287. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72477-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72477-7).

19. Zhu Can, Yuan Jun, Cai, Fangfang, Meng Lei, Zhang Huotian, Chen Honggang. Tuning the electron-deficient core of a non-fullerene acceptor to achieve over 17% efficiency in a single-junction organic solar cell. *Energy & Environmental Science*. 2020;13:2459-2466. <https://doi.org/10.1039/D0EE00862A>.

20. Tabatabaei M., Aghbashlo M., Dehghani M., Panahi H. K. S., Mollahosseini A., Hosseini M., et al. Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019;74:239-303.

<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.06.001>.

21. Lee Yong Deok, Ahn Seong-Kyu, Choi Woo-Seok. Sensitivity simulation on isotopic fissile measurement using neutron resonances. *Nuclear Engineering and Technology*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.08.017>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Папин Владимир Владимирович,**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Тепловые электрические станции  
и теплотехника»,

Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения,  
132, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vladimir V. Papin,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Thermal Power  
Plants and  
Thermal Engineering,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

**Ефимов Николай Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Тепловые электрические  
станции и теплотехника»,  
Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
Россия

**Дьяконов Евгений Михайлович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
проректор по образовательной деятельности,  
заведующий кафедрой «Тепловые электрические  
станции и теплотехника»,  
Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
Россия

**Безуглов Роман Владимирович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Тепловые электрические станции и  
теплотехника»,  
помощник ректора,  
Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
Россия

**Добрыдnev Денис Владимирович,**  
аспирант,  
Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
Россия

**Шмаков Анатолий Сергеевич,**  
магистрант,  
Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М. И. Платова,  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
Россия

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

#### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 18.10.2021; одобрена после рецензирования 10.12.2021; принята к публикации 01.03.2022.

**Nikolay N. Efimov,**  
Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Professor of the Department of Thermal Power Plants  
and  
Thermal Engineering,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

**Evgeny M. Dyakonov,**  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Vice-Rector for Educational Activities,  
Head of the Department of Thermal Power Plants and  
Thermal Engineering,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

**Roman V. Bezuglov,**  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department  
of Thermal Power Plants and Thermal Engineering,  
Rector's assistant,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

**Denis V. Dobrydnev,**  
Postgraduate Student,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

**Anatoly S. Shmakov,**  
Master's Degree Student,  
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk 346428,  
Russia

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflicts of interests.

*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

#### **Information about the article**

The article was submitted 18.10.2021; approved after reviewing 10.12.2021; accepted for publication 01.03.2022.