

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2018.03.085>

УДК 122.128+621.3/018.6+681.5/015/0.2+004.383.4+612/013/015.3

В.К. БЕЛИК, канд. техн. наук,

Институт кибернетики НАНУ, Украина, Киев, 03187, ул. Теремковская, 13, кв. 51,

VilykVK@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИВОГО ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ (О НЕКОТОРЫХ АНАЛОГИЯХ В ТЕХНИКЕ И ЖИВОМ МИРЕ)

Рассмотрены аналогии в механике, электротехнике и биологии с целью построения технической модели для представления возможного аналога наглядного процесса перехода от неживого к живому. Показано, что автоколебательные резонансные нанoeлектромеханические системы можно рассматривать как один из наиболее приемлемых элементов для моделирования некоторых функций в живых системах и для вживления моделей в организм человека.

Ключевые слова: живое и неживое, теория аналогий, моделирование сложных систем, периодические процессы, резонансные четырехполосники, автоколебательные системы, нанoeлектромеханические системы (НЭМС).

Введение

Парадоксально, но факт, что подавляющее большинство людей на планете не видят проблемы в происхождении жизни на земле (создал Бог). И только некоторые ученые сомневаются в этом: академик Опарин А.И., Дж. Холдейн, Дж. Бернал и др. [1, 2]. Благодаря им стал возможен переход в решении этой проблемы из области веры в область знания и даже в область моделирования.

Происхождение жизни на земле осуществлялось в несколько этапов. *Первый* — переход неорганических соединений в органические. *Второй* — переход из органических соединений в биологическую клетку (переход из неживого в живое). И *третий* этап (биологический) — переход от примитивной жизни к ее высшим формам. Наиболее сложный второй этап — переход от неживого к живому.

Раскрытие механизма перехода от неживого к живому необходимо, по крайней мере, для двух случаев: в познавательных целях и для возможной реализации функций живого техническими средствами.

Второй этап необходим для создания технических моделей при исследовании процессов в живых объектах, а также при создании технических имплантатов в живые организмы, например, человека.

При этом искусственные имплантаты (протезы) могут быть разные. Начиная от простейших элементов, вживляемых вместо дефектных или утраченных участков нервных волокон, кровеносных сосудов и прочего и до сложных устройств, например, водителей ритма, заменителей основных функций отдельных органов и даже нано-роботов внутри человека.

Исторически научно-технический прогресс развивался от успехов в механике, затем в электротехнике и, позднее — в молекулярной биологии. Это объясняется, главным образом, возможностью наблюдения за процессами в этих областях. Если в классической механике можно наглядно наблюдать за процессами, то в молекулярной биологии углубленное наблюдение стало возможным только с появлением соответствующих инструментов: оптических и сегодня электронных микроскопов. Исходя из философского принципа единства

всего мира и его многообразия, при таком продвижении вперед следует использовать результаты предыдущих аналогичных исследований в других областях науки. Это можно осуществить путем выявления аналогий в рассматриваемых процессах и построения соответствующих моделей, можно упростить, облегчить (удешевить) и/или представить более наглядно эксперимент или исследование. Для реализации этих процессов необходима высокая квалификация специалистов, возможно, понадобится построить итерационный ряд моделей — достаточно грубых — затем более совершенных.

Далее рассмотрим аналогии в механике, электротехнике и в биологии с целью построения технической модели представления возможного аналога наглядного механизма перехода (качественного скачка) от неживого к живому. Покажем, что автоколебательные резонансные наноэлектромеханические системы (НЭМС) можно рассматривать как один из наиболее приемлемых элементов моделирования некоторых функций в живых системах и для вживления моделей в организм человека.

Что такое жизнь?

Существует множество различных определений жизни. Например, у Энгельса: главные отличительные признаки объектов живой природы — это те, которые определяют их жизненный цикл. Чем же живая природа отличается от неживой? Основные признаки живой природы: живые организмы нуждаются в питании, все живое движется, любой организм способен к росту, развитию, размножению.

Что является характерной особенностью жизни? Когда считается материя живой? Тогда, когда она продолжает двигаться, участвовать в обмене веществ с окружающей средой и все это в течение более длительного отрезка времени, чем могла бы делать неодушевленная материя в подобных условиях [3]. Любое живое тело находится в непрерывном внутреннем движении, в состоянии непрерывного распада и синтеза [1].

Очевидно, что признаков может быть приведено и больше. А степень важности их для жизни может быть ранжирована, так как часть из них сущностны, обязательны, а остальные — желательны. Предлагается считать обязательными два признака: потребность в питании и движении (обмен, преобразование). Возможно, следует отложить на более позднее рассмотрение такие признаки как рост и размножение. Это необходимо для технического моделирования живого на начальных стадиях. Затем будем совершенствовать модель, накопив дополнительные знания. Рассмотрим примеры более длительного, *непрерывного движения* в технике.

Периодические процессы

В технике и в окружающем мире часто приходится сталкиваться с периодическими (и/или спиралеобразными) процессами, которые повторяются, как правило, через одинаковые промежутки времени — смена дня и ночи, времен года, фаз Луны наблюдаются в повседневной жизни. Свет, звук, тепло, радиоволны, переменный электрический ток — представляют собой колебательные, периодические процессы. В биологии известны биоритмы. Все эти периодические процессы различной физической природы подчиняются общим закономерностям. Можно предположить, что эти процессы (или вращательное движение) носят всеобщий характер. Это можно допустить, если считать прямолинейное движение частным случаем движения по окружности с бесконечным радиусом.

Периодические процессы в механике. Элементарный пример

Известный пример простейшего механического маятника в виде подвешенного груза m на нити длиной l приведен на рис. 1 [4]. Характер колебательного движения маятника показан на рис. 2. На рис. 3 сплошной линией показан идеальный случай, когда нет

потерь — в виде окружности на фазовой плоскости и — пунктиром — с потерями в виде спирали, где показано уменьшение амплитуды колебаний за один период.

Непрекращающиеся периодические процессы в механике

Для поддержания непрекращающихся колебаний необходимо компенсировать потери, неизбежные в любой колебательной системе. Это можно осуществить, например, периодическим подталкиванием механического маятника с частотой, синхронной резонансной частоте колебаний. Периодическая компенсация потерь применяется, например, в механических часах (рис. 4). В них маятник снабжен изогнутым равноплечим рычагом — анкером. С анкером сцеплено ходовое колесо с зубьями, которое приводится в движение гирей, подвешенной к цепи, перекинутой через зубчатое колесо (не показанное на рисунке), сидящее на общей оси с ходовым колесом [5].

Маятник совершает незатухающие колебания благодаря тому, что зубья ходового колеса два раза за период подталкивают его через анкер энергией, освобождающейся при опускании гири (рис. 5). В наручных механических часах вместо гири используется пружина.

Системы, которые выполняют незатухающие колебания, несмотря на наличие потерь, называют *автоколебательными*.

Периодические процессы в электрических цепях

Из теории электрических цепей известно, что любая линейная электрическая цепь может быть представлена в простейшем виде — в виде четырехполюсника, схема замещения которого имеет один из двух равнозначных видов: трехлучевой звезды (Т — схема) или эквивалентного ей треугольника (П — схема) [6, с. 170].

Частный пример четырехполюсников, в виде Т- и П-схем, состоящих из реактивных

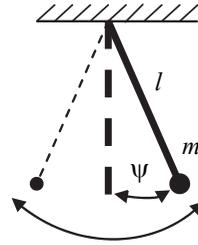


Рис. 1

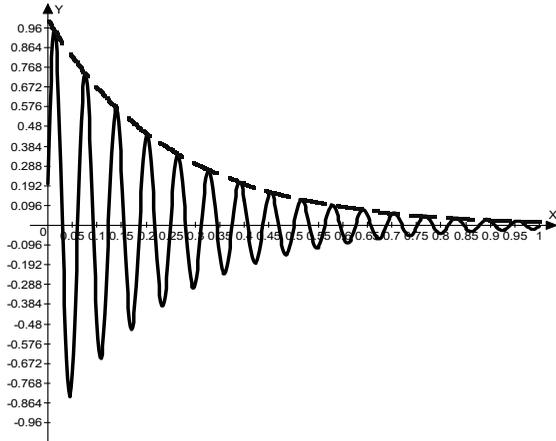


Рис. 2

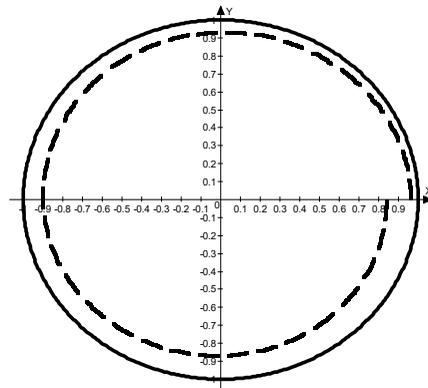


Рис. 3

элементов: индуктивностей L и емкостей C приведен на рис. 6. Переходный процесс в них описывается уравнением с двумя комплексно сопряженными корнями: $p_1 = -\delta + j\omega_0$ и $p_2 = -\delta - j\omega_0$ [6, с. 371].

При колебаниях в электрическом колебательном контуре повторяются величина и направление тока, текущего через катушку ин-

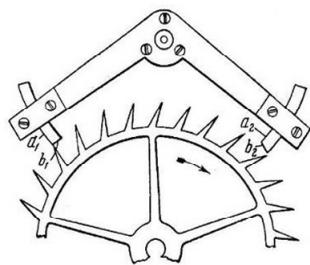


Рис. 4

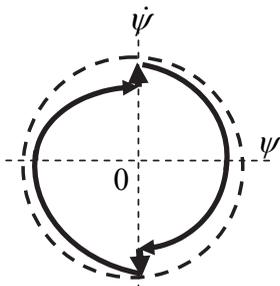


Рис. 5

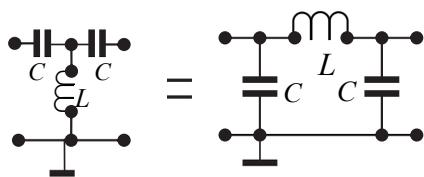


Рис. 6

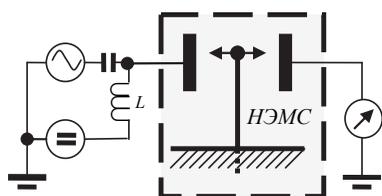


Рис. 7

дуктивности и происходит периодическое превращение энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно. Получается, что колебания почти всегда связаны с попеременным превращением энергии одной формы проявления в другую.

Колебания и волны

Колебания различной физической природы имеют много общих закономерностей и взаимосвязаны с волнами. Поэтому исследованиями этих закономерностей занимается обобщенная теория колебаний и волн [4, 5]. Колебания, в которых амплитуда изменяется не только во времени, но и в пространстве, называются волнами. Волны переносят энергию в пространстве, а при колебаниях происходит лишь «местный» обмен энергией между элементами колебательной системы.

Электромеханические колебательные системы.

Элементарный пример

На рис. 7 приведена схема НЭМС, в которой непрерывающиеся колебания консоли, расположенной вертикально между двумя электродами, обеспечивается энергией, поступающей от внешнего источника [7]. Колебания в таком элементе возникают как при подключении на его вход источника постоянного напряжения (резонансные автоколебания), так и переменного напряжения (вынужденные колебания).

На рис. 8 приведен пример подачи на вход НЭМС аналогового сигнала $s_c(t)$, поступающего на его вход (рис. 8, а). На рис. 8, б показан возникающий на его выходе амплитудно-модулированный сигнал $S_{AM}(t)$. Сравнив виды а) и б) становится очевидным, что в НЭМС информационный сигнал квантуется во времени. Очевидно, что это квантование (дискретизацию) осуществляет механический колебательный элемент (консоль). Упрощенно можно считать такой элемент подобным чисто электрическому (см. рис. 6), в котором вместо нелинейной электрической индуктивности применен механический вибратор в виде консоли. А из теории электрических цепей известно, что в LC-цепях с нелинейной индуктивностью проявляется триггерный эффект [6, с. 334–336]. Колебательный элемент в НЭМС может быть выполнен как в виде консоли, так и в виде нити, закрепленной с двух сторон

(струны) или мембраны в трехмерном пространстве. Показано, что математическое описание динамики этих трех разновидностей колебательных элементов аналогично [8].

Периодические и автоволновые процессы в живых системах

Распространение нервного импульса — один из наиболее ярких примеров автоволновых процессов в живых системах. Основным свойством нервных клеток является способность к формированию и проведению нервного импульса — распространяющейся по нервному волокну электрической волны [9].

Рассмотрим распространение возбуждения на примере передачи нервного импульса по аксону. Если в каком-либо участке возбудимой мембраны сформировался потенциал действия (рис. 9), — мембрана деполяризована, возбуждение распространяется на другие участки мембраны (рис. 10). Общий ионный ток направлен сначала внутрь клетки и обусловлен ионами натрия Na^+ , а позднее — наружу клетки и обусловлен ионами K^+ .

Модель Ходжкина—Хаксли описывает электрическую активность гигантского аксона кальмара. В 1962 г. Нобл предложил использовать подобную модель для описания потенциалов действия рабочего миокарда и водителей ритма волокон Пуркинье. С тех пор модель постоянно усложнялась и совершенствовалась по мере получения экспериментальных результатов о деталях работы системы. Для моделирования активности клеток сердца — кардиоцитов использовали те же принципы построения модели. В последние годы активно развиваются модели, в которых учитываются как электрические, так и механические свойства сердечной ткани.

Об аналогиях и строгости их описания

Обратимся к простому механическому маятнику (см. рис. 1). Его колебание описано диф-

ференциальным уравнением второго порядка $d^2\psi/dt^2 = -\omega^2 \cdot \psi$, где $\omega^2 = g/l$, решение которого можно записать в виде $\psi(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ [3, 4]. Но это справедливо лишь приближенно, для малых колебаний, когда можно допустить, что $\sin \psi \approx \psi$. Если продолжать периодически подталкивать груз, то очевидно, что со временем нить достигнет горизонтального положения, а затем — произойдет качественный скачок и движение маятника перейдет из колебательного во вращательное. В этом случае следует внести изменение в записанное выше уравнение (оно будет явно не линейным). Еще более строгий взгляд заметит, что использованный при математическом описании второй закон Ньютона, тоже не совсем точно описывает движение маятника [10]. И, похоже, с этим тоже придется согласиться. И все же ученые согласились описывать движение механического маятника линейным дифференциальным уравнением с достаточной (приемлемой) для практики точностью. Вероятно, поиск аналогов предполагает определенный компромисс.

Далее. Научно-техническая общественность признала также приемлемой аналогию между простым механическим маятником и электротехническим колебательным LC звеном или резонансным четырехполюсником (см. рис. 1 и 4).

Автор предлагает согласиться с дальнейшим распространением описанных аналогий на НЭМС. В приведенных трех элементах наблюдаются определенные аналогии. В механическом маятнике осуществляется движение в виде периодического перехода потенциальной энергии груза в кинетическую и наоборот. В электротехническом резонансном четырехполюснике осуществляется то же движение, но в другой форме: в виде периодического перехода электрической энергии конденсатора в магнитную энергию индуктивности и — наоборот.

В электромеханическом элементе НЭМС также осуществляется периодическое движение. Но здесь уже объединены механика вибратора (консоли с электропроводящим грузом (и его инерционностью)) и электрика конден-

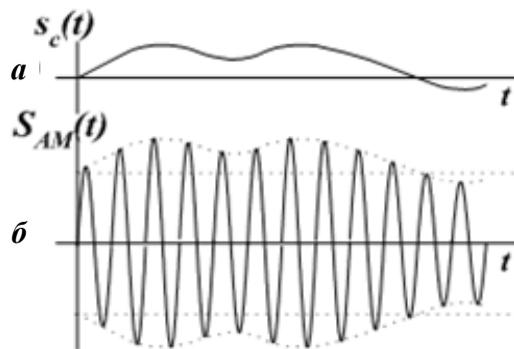


Рис. 8

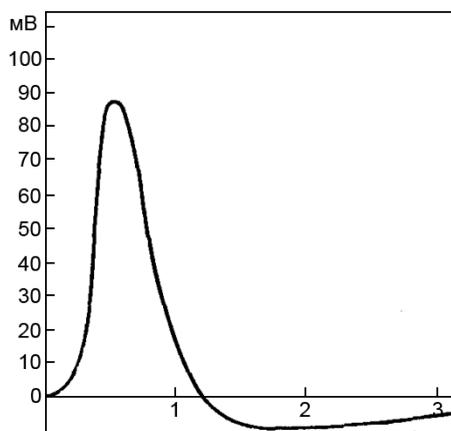


Рис. 9

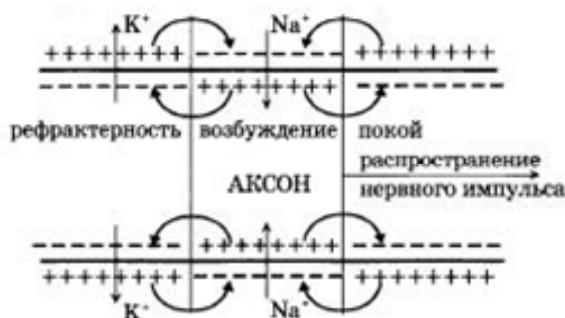


Рис. 10

сатора, т.е., в НЭМС осуществляется *движение* — периодический переход электрической энергии конденсатора в кинетическую энергию груза на конце консоли. Приходится согласиться с аналогией НЭМС с резонансным

четырёхполосником с условием, что они аналогичны в «мягком» — линейном режиме. А в нелинейном, «жёстком», режиме наблюдается аналогия между нелинейной индуктивностью в четырёхполоснике и механическим вибратором с грузом (маятником) в НЭМС [7].

Если согласиться, что приближенной моделью НЭМС в линейном режиме можно считать резонансный четырёхполосник (см. рис. 6), то следует учесть, что в резонансном режиме, когда выполняется равенство $\omega L = 1/\omega C$, работа резонансных четырёхполосников (см. рис. 6) описывается, соответственно, такими системами матрично-векторных уравнений

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/j\omega C \\ 1/j\omega L & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix},$$

или

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & j\omega L \\ j\omega C & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix},$$

или

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = J \cdot [H] \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix},$$

где \dot{V}_1, \dot{I}_1 — входные и \dot{V}_2, \dot{I}_2 — выходные комплексные значения напряжений и токов.

Здесь J можно вынести за скобки и ассоциативно связать его с признаком *движения*, в данном частном случае колебательного (периодического). Символом H обозначим оператор преобразования (матрицу) в общем случае, который конкретно может быть доопределен, а в данном случае — это одна из двух матриц одного из двух дуальных вариантов (см. уравнения).

Сравним записи уравнения движения маятника с уравнением Шредингера [11].

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \psi}{dt^2} = -\omega^2 \cdot \psi, \text{ и } \left(i \cdot \hbar \cdot \frac{d \psi}{dt} = H \cdot \psi \right)^2 &\leftrightarrow \\ \leftrightarrow \frac{d^2 \psi}{d^2 t} = -\left(\frac{2\pi}{h} \right)^2 \cdot H^2 \cdot \psi. \end{aligned}$$

В уравнении Шредингера множитель $h = h/2\pi$ можно считать признаком дискретизации в динамике процесса. Гамильтониан H отражает параметры объекта, аналогично тому, как $\omega^2 = g/l$ — параметры механического маятника, или $\omega^2 = 1/LC$ — электрического. А множитель i также можно считать признаком колебания (движения).

Функциональная модель простейшего элемента живой материи

Далее следует учесть результаты работы талантливой медико-философа Горосьяна А.Ц.: «Освоение внешнего мира — фундаментальный закон развития живого» [12].

С учетом сказанного, предлагается функциональная модель живого в общем виде, в виде блок-схемы, приведенной на рис. 11, где изображена основная функция живого через ее составляющие: питание P и движение (динамическое состояние $J \times H$) — обязательны; а остальные — дополнительные (s и f). Все приведенные функции следует понимать в общепhilosophическом смысле: они могут быть определены в каждом конкретном случае. Характер и число дополнительных функций могут изменяться.

Основная функция живого — освоение внешнего мира, качественно (не количественно) может быть выражена через ее составляющие в виде формулы $F = (J \times P \times H) \times (1 + s + f + g + h + \dots)$. Здесь J — функция движения, P — функция питания, H — оператор преобразования, а s, f, g, h — остальные функции, число и вид которых доопределяются в каждом конкретном случае. Отметим двунаправленный характер связей между блоками (см. рис. 11) соответствующими стрелками. Допускается отсутствие или добавление блоков. Так самая элементарная («скудная») жизнь может состоять лишь из двух обязательных основных блоков (P и $J \times H$), например, в простейшей модели живого, состоящей из одного резонансного четырехполюсника.



Рис. 11

На основании, подобном тому, как Эйлер предложил поиск решения дифференциального уравнения в виде суммы двух экспонент (возрастающей и убывающей) с неопределенными коэффициентами и тому, как Эрвин Шредингер написал известные уравнения в квантовой механике, *интуитивно* предлагается искать аналог живого в неживом в классе технических объектов, динамика которых соответствует периодическим — (автоколебательным) — процессам (объектам). Сегодня, например, приемлемым для построения технических моделей может быть резонансный наноэлектромеханический элемент — НЭМС.

О некоторых свойствах НЭМС для моделирования живых объектов

Сопоставим характеристики НЭМС со сказанным.

- Если непрекращающиеся колебания (или взаимобмен энергией) в НЭМС рассматривать как одну из форм движения вообще, а, в соответствии с высказыванием Эрвина Шредингера, можно предположить, что движение — это необходимое (но недостаточное) условие жизни. Тогда можно заключить, что НЭМС (автоколебательные системы) обладают одним из признаков, приемлемым для моделирования живого объекта (непрекращающееся движение), но не достаточными. Это их объединяет с живыми объектами, но не в полной мере.

- Если согласиться с утверждением [12] о том, что основной функцией живого является освоение внешнего мира, то в НЭМС можно обнаружить некоторые необходимые для этого свойства. Например, способность принимать энергию от внешнего источника и выдавать ее

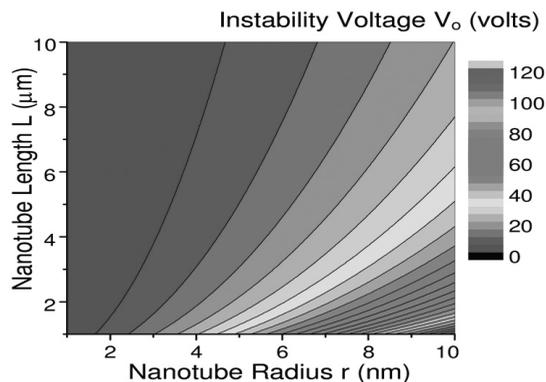


Рис. 12

в преобразованном виде внешнему потребителю. Функцию «чувства» можно реализовать посредством различных датчиков, построенных на основе НЭМС [13]. На той же основе можно реализовать функцию «действия», используя явление обратного пьезоэффекта.

▪ Свойство обратимости. В отличие от большинства традиционно используемых элементов в автоматике и вычислительной технике (рис. 7), легко установить симметричность относительно входа и выхода, или обратимость схемы НЭМС. А свойство обратимости (своеобразная обратная связь) характерно для многих объектов живой природы (см. двунаправленные стрелки на рис. 11).

▪ На основе НЭМС могут быть созданы различные устройства: датчики [13]; информационные модели нейронных систем (нейронов и аксонов) [14] и нанокomпьютеры (логические элементы и двоичный сумматор) [15–17]. По мнению специалистов, из-за малых габаритов, низкого энергопотребления и работе при температуре до 500°C , НЭМС могут найти широкое применение внутри объектов, в частности, в медицине (в организме человека).

Технический аналог перехода из неживого в живое

Прошло почти сто лет (с 1924 г.) с первого биохимического описания механизма перехода от неживого к живому. С тех пор это

описание несколько раз уточнялось [2, 18]. Естественно начать описание с простейшего модельного примера, сохранив лишь сущность явления (предмета), очистив от его многочисленных деталей. Представим себе процесс перехода из неживого в живое на простейшем примере рассмотренных резонансных четырехполосников — НЭМС.

До тех пор, пока в качестве элементов четырехполосника не возьмем два элемента с противоположным знаком проводимости ($j\omega L$ и $-j/\omega C$) (единство и борьба противоположностей), не соединим их («специальным образом» — по Опарину), например, в виде Т- или П-схемы и не обеспечим в четырехполоснике резонансный режим (специальные условия в «биорастворе» Опарина), не внесем между элементами *носитель* бесконечного движения — колебания, колебательный элемент — маятник (внесем в биологический раствор Опарина катализатор — фермент), до тех пор не будет обеспечена возможность бесконечного движения — жизни в этом четырехполоснике.

А если обеспечим описанные, «специальные», по Опарину, структуры и условия, и подадим на вход четырехполосника питание, то тогда достаточно *случайного* отклонения консоли (при определенном соотношении толщины (радиуса) и длины (см. рис. 12), чтобы при участии кулоновского взаимодействия неизбежно возникли колебания механического маятника [7, 19]. И тогда на выходе четырехполосника появится электрический сигнал в виде бесконечного колебания (рис. 8). Колебание будет продолжаться до тех пор, пока не иссякнет источник питания и/или не состарятся элементы четырехполосника (в НЭМС консоль — маятник выполняет роль $j\omega L$ и носителя движения).

О синтезе технических устройств на основе НЭМС для моделирования функций живых объектов

Известно, что на основе четырехполосников можно построить достаточно сложную элек-

трическую цепь, моделирующую процессы в различных динамических объектах. С учетом того, что в НЭМС обнаружены свойства, аналогичные некоторым из тех, которые характерны для живых объектов, то логично предположить и возможность моделирования при этом и живых объектов. Эти вначале грубые модели могут быть уточнены в дальнейшем.

Существенными свойствами рассмотренных четырехполюсников являются: их линейность для малых сигналов, что позволяет применить к ним развитую теорию линейных систем, и проявление *нелинейности* при превышении значения сигнала определенного порогового уровня, что позволит построить на их основе логические элементы.

Получается, что по выполняемым функциям (не по структуре) они могут заменить некоторые объекты живой природы, хотя и другими средствами. Известен прецедент, когда изобрели колесо, вследствие чего удалось придумать много колесных устройств для перемещения человека как альтернативу прямому техническому копированию движения ног. Так же, как колесо позволило заменить (облегчить) человеку физический труд (ноги и руки), так и автоколебательный элемент НЭМС, электронный аналог механического колеса, можно надеяться, позволит со временем создавать устройства не только для облегчения умственного труда (нанокomпьютеры [16, 17]), но и, что важнее, для восстановления приемлемым образом определенных функций органов человека.

Примеры применения приведенных рассуждений

Модели нейросетей. На рис. 13 приведена информационная модель аксона в виде последовательного (нитевидного) соединения линейных резонансных электромеханических элементов J [14]. Модель, как «черный ящик», (обведенное прямоугольником) аналогична функционально по входу и выходу со схемой оригинала (см. рис. 10). А отличается от него тем, что в модели переносчиком сигнала являются электроны, а в оригинале — ионы натрия и калия.

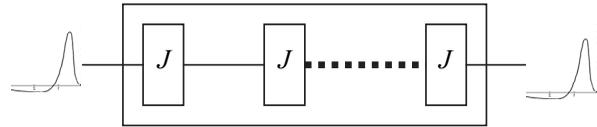


Рис. 13

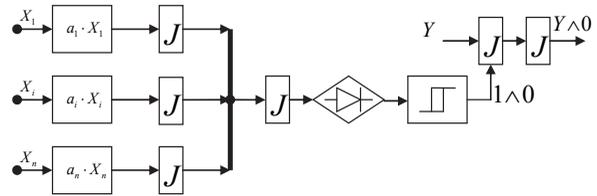


Рис. 14

На рис. 14 представлена информационная модель нейрона, построенная на их основе НЭМС, в состав которой входят два нелинейных элемента: детектор и пороговый элемент [14, 17].

Здесь X_i, Y — аналоговые синусоидальные сигналы резонансной частоты, в общем случае, разных амплитуд. Как и в случае с нейроном, сигнал Y определенной амплитуды появится на выходе схемы лишь тогда, когда алгебраическое значение суммы амплитуд входных сигналов X_i превысит значение порога соответствующего нелинейного элемента. При этом значения амплитуд входных сигналов X_i могут изменяться в результате их умножения на весовые коэффициенты a_i в масштабных блоках $a_i \cdot X_i$.

Неэлектрические резонансные четырехполюсники. Рассмотренный элемент НЭМС связывается с внешней средой электрическими сигналами. На его вход подается сигнал постоянного и/или переменного тока, а с выхода выходит амплитудно-модулированный сигнал (рис. 8) или сигнал переменного тока. Это ограничивает его применение при вживлении искусственных имплантатов в живые ткани.

Можно расширить область применения резонансных элементов в другом его частном случае (аналог НЭМС) — трубопроводный газ или гидротехнический резонансный элемент. В этом случае, его входным и выходным сигналами будут потоки газа (воздуха) или жид-

кости, определяемыми перепадами давлений на входе и выходе.

Непосредственным источником резонансного колебательного движения будет упругая мембрана, закрепленная в одной точке трубопровода, которая будет колебаться (вибрировать) при приложении перепада давления (гудение труб в водопроводной сети, когда изнашиваются резиновые прокладки в кранах). Это может быть полезным при решении проблем в органах дыхания и/или кровоснабжения.

В настоящее время интенсивно проводятся работы по выращиванию соответствующих структур и разрабатываются технологии имплантации их в живые ткани [20–22].

Заключение

Анализ выявленных аналогий в технике и в живом организме дает основание предпо-

ложить, что движение в технике подобно обменным процессам в живых системах имеет автоколебательный характер, но отличается видом носителя движения, имеющего свою специфику (которая может уточняться). Сегодня автоколебательные резонансные наноэлектромеханические системы могут рассматриваться как один из приемлемых элементов для моделирования функций в живых системах. Достоинством предложения является то, что размеры и энергопотребление НЭМС позволяют имплантировать их в живые ткани, что в перспективе может быть альтернативой пересадке живых тканей для восстановления некоторых функций в живых организмах. Например, НЭМС могут быть использованы при «ремонте» нейронных сетей. Они также могут заменить и существующие водители ритма сердца, увеличив срок их службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Опарин А.И.* Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1957, 458 с.
2. *Бернал Дж.* Возникновение жизни. М.: Мир, 1969, 357 с.
3. *Шредингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: Атомиздат, 1972, 83 с.
4. *Крауфорд Ф.* Волны. Берклеевский курс физики, М.: Наука, 1976, 528 с.
5. *Горелик Г.С.* Колебания и волны, М.: Физматлит, 2007, 656 с.
6. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники, М.: Высш. шк., 1964, 750 с.
7. *Heun S. Kim, Hua Qin and Robert H. Blick.* Self excitation of nano-mechanical pillar, *New J. Phys.*, 2010, 12, 033008, p. 1–11.
8. *Nonlinear Limits for Single-Crystal Silicon Microresonators.* Ville Kaajakari, Tomi Mattila, Member, IEEE, Aarne Oja, Heikki Seppä. *J. of microelectromechanical systems*, Oct. 2004, 13, N 5, p. 715–723.
9. *Ходжкин А.* Нервный импульс. М.: Мир, 1965, 125 с.
10. *Зверев Г.Я.* Физика без механики Ньютона, без теории Эйнштейна и без принципов наименьшего действия, М.: Изд-во ЛКИ, 2007, 136 с.
11. *Шредингер Э.* Лекции по физике, М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевск, 2001, 155 с.
12. *Торосян А.Ц.* Основная функция живого и ее эволюция. М.: Наука, 1994, 224 с.
13. *Patent US 2010/0271003 A1.* Nanotube resonator devices, Kenneth J. Jensen, Alexander K. Zettl, Jeffrey A. Weldon.
14. *Белик В.К.* Применение наноэлектромеханических систем для создания информационных моделей и специализированных вычислительных устройств, *Электронное моделирование*, 2016, № 5, с. 61–74.
15. *Robert H. Blick, Hua Qin, Hyun-Seok Kim, Robert Marsland.* A nanomechanical computer—exploring new avenues of computing. *New J. of Physics*, 2007. 9. 241, p. 1–9.
16. *Patent US 2008 / 7,414,437 B1.* Nanomechanical computer. Robert Blick, Robert Marsland.
17. *Белик В.К., Боюн В.П., Климовская А.И., Палагин А.В.* Синтез сумматора нанокомпьютера на основе резонансных электромеханических элементов, *УСиМ*, 2014, № 1, с. 48–56.
18. *Опарин А.И.* Жизнь как форма движения материи. М.: Изд-во АН СССР, 1963, 45 с.
19. *Jeffrey A. Weldon, Benjamin Alemarn, Allen Sussman, William Gannett, Alex K. Zettl.* Sustained Mechanical Self-Oscillations in Carbon Nanotubes. *Nano Lett.* 2010, 10, p. 1728–1733.
20. *Application of Oxidized Silicon Nanowires for Nerve Fibers Regeneration.* V. Lichodievskiy, N. Vysotskaya, O. Ryabchikov, A. Korsak, Yu. Chaikovskiy, A. Klimovskaya, Yu. Pedchenko, I. Lutsyshyn and O. Stadnyk; *Advanced Materials Research*. 2014, 854, p. 157–163.

21. Klimovskaya A., Vysotskaya N., Chaikovskiy Yu., Korsak A., Lichodievskiy V. et al. Morphology of the Interface “Silicon Wire — Nerve Fiber”. *J. of Nano Research*; Zurich. Feb. 201. **39**, p. 214–220.
22. Klimovskaya A.I., Chaikovskiy Yu.B., Naumova O.V. et al. Coulomb interactions at the silicon wire-nervous tissue interface. *World of Medicine and Biology*, 2016, № 1(55), p. 133–139.

Поступила 07.05.2018

REFERENCES

1. Oparin, A.I., 1957. *Vozniknoveniye Zhizni na Zemle*. M.: Izd-vo AN SSSR, 458 p. (In Russian).
2. Bernal, D., 1969. *Vozniknoveniye Zhizni*. M.: Mir, 163 p. (In Russian).
3. Shredinger, E., 1972. *Chotakoye zhizn's tochki zreniya fiziki?* M.: Atomizdat, 83p. (In Russian).
4. Krauford, F., 1976. *Volny. Berkleyevskiy kurs fiziki*, M.: Nauka, 528 p. (In Russian).
5. Gorelik, G.S., 2007. *Kolebaniya i volny*, M.: fizmalit, 656 p. (In Russian).
6. Bessonov, L.A. *Teoreticheskiye osnovy electrotekhniki*, M.: Vissh. Shk., 1964, 750 p. (In Russian).
7. Kim, H.S., Qin, H., Blick, R., 2010. “Self excitation of nano-mechanical pillar”, *New J. Phys.*, 12, 033008, pp. 1–11.
8. Kaajakari, V., Mattila, T., Oja, A., Seppa, H., 2004. Nonlinear Limits for Single-Crystal Silicon Microresonators, Member, IEEE, *J. of microelectromechanical systems*, 13 (5), pp. 715–723.
9. Khodzhkin, A., 1965. *Nervnyy impul's*. M.: Mir, 125 p. (In Russian).
10. Zverev, G.Ya., 2007. *Fizika bez mekhaniki N'yutona, bez teorii Eynshteyna i bez printsipov naimen'shego deystviya*, M.: Izd-vo LKI, 136 p. (In Russian).
11. Shredinger, E. *Lektsii po fizike*, M.: NITS «Regulyarnaya I khaoticheskaya dinamika», Izhevsk, 2001, 155 p. (In Russian).
12. Torosyan, A.Ts. *Osnovnaya funktsiya zhivogo I yeye evolyutsia*. M.: Nauka, 1994, 224 p. (In Russian).
13. Jensen, K., Zettl, A., Weldon, J. *Nanotube resonator devices*. Patent US 2010/0271003 A1.
14. Belik, V.K., 2016. “Primeneniye nanoelektromekhanicheskikh sistem dlya sozdaniya informatsionnykh modeley i spetsializirovannykh vychislitel'nykh ustroystv”. *Elektronnoye modelirovaniy*, № 5, pp. 61–74. (In Russian).
15. Blick, R., Qin, H., Kim, H.-S., Marsland, R. 2007, “A nanomechanical computer—exploring new avenues of computing”. *New J. of Physics*, 9, 241, pp. 1–9.
16. Blick, R., Marsland, R., 2008. *Nanomechanical computer*. Patent US 2008 / 7,414,437 B1.
17. Belik, V.K. Boyun, V.P., Klimovskaya, A.I., Palagin, A.V. 2014. “Sintez summatora nanokomp'yutera na osnove rezonansnykh elektromekhanicheskikh elementov”. *Upravlausie sistemy i masiny*, 1, pp. 48–56. (In Russian).
18. Oparin, A.I. “Zhizn' kak forma dvizheniya materii”. M., *Izd-vo AN SSSR*, 1963, 45 p. (In Russian).
19. Weldon, J., Aleman, B., Sussman, A., Gannett, W., ZETTL, A., 2010. “Sustained Mechanical Self-Oscillations in Carbon Nanotubes”. *Nano Lett.*, 10, pp.1728–1733.
20. Lichodievskiy, V., Vysotskaya, N., Ryabchikov, O., Korsak, A., Yu. Chaikovskiy, Yu., Klimovskaya, A., Pedchenko, Yu., I. Lutsyshyn, I., Stadnyk, O., 2014. “Application of Oxidized Silicon Nanowires for Nerve Fibers Regeneration”. *Advanced Materials Research.*, **854**, pp. 157–163.
21. Klimovskaya, A., Vysotskaya, N., Chaikovskiy, YU., Korsak, A., Lichodievskiy, V. et al. Morphology of the Interface “Silicon Wire — Nerve Fiber”. *J. of Nano Research*; Zurich. Feb. 201. **39**, pp. 214–220.
22. Klimovskaya, A.I., Chaikovskiy, Yu.B., Naumova, O.V. et al., 2016. “Coulomb interactions at the silicon wire-nervous tissue interface”. *World of Medicine and Biology*, № 1(55), pp. 133–139.

Received 07.05.2018

V.K. Bilyk, PhD in Techn. Sciences,
Institute of Cybernetics of NASU, Ukraine, Kiev, 03187, Teremkovskaya st., 13, kv. 51,
BilykVK@gmail.com

TO THE QUESTION ON LIFE SIMULATION WITH THE HELP OF TECHNICAL MEANS (ON SOME ANALOGUES IN TECHNIQUE AND LIVING WORLD)

Introduction. Proceeding from the philosophical principle of the whole world unity and its diversity, we consider the identification of analogies in mechanics, electrical engineering and in biology with the goal of the constructing technical models for the realization of the certain functions of living objects with the aim of possible lost functions restoration by implanting models in living tissues.

Purpose of the article. It is proved (shown) that resonant nanoelectromechanical systems (NEMS) can be the elementary bricks for constructing technical models of living objects.

Methods. Comparative analysis and the identification of analogies in the simplest examples of infinite motion, as the main sign of life, in mechanics, electrical engineering and nanoelectronics.

Result. The distinctive features of objects of living nature and the functional model of an element of living matter are considered. It is suggested to rank the signs according to their importance for life. Attention is paid to the fact that rotational motion or periodic processes can be regarded as of a general nature and are characteristic as the objects of both living and nonliving nature. It is proposed to simulate living objects using self-oscillating systems. We have considered the most complex technical model for the representation of the transition process from the non-living at the simplest example of a resonant four-terminal network (NEMS).

The examples of the neural network elements are presented: axon and neuron based on NEMS. In accordance with the analogies, the implementation of pneumatic and hydraulic resonance four-ports for the modeling the certain functions of the respiratory and circulatory organs can be considered.

Conclusion. Analyzing the analogies, being found in engineering and in live, gives us the reason to assume that the motion in engineering is similar to the exchange processes in living systems and has a self-oscillatory character, but differs in the form of motion carrier having its own specifics.

Today, self-oscillating resonant NEMS can be considered as one of the acceptable elements for modeling some parts of living systems. By the functions performed (and not by structure), they can replace some objects of living nature, but by other means. The advantage of the proposal is that the size and energy consumption of NEMS allow us to implant them in living tissues. Un the future, it may be an alternative to transplanting living tissues (organs) for restoring some functions in living organisms.

Keywords: *living and nonliving, theory of analogy, modeling of complex systems, periodic processes, resonant four ports, self-oscillating systems, nanoelectromechanical systems (NEMS).*

В.К. Белик, канд. техн. наук,
Інститут кібернетики НАНУ, Україна, Київ, 03187, вул. Теремківська, 13, кв. 51,
BilykVK@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ЖИВОГО ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ (ПРО ДЕЯКІ АНАЛОГІЇ В ТЕХНІЦІ І ЖИВОМУ СВІТІ)

Вступ. Виходячи з філософського принципу єдності всього світу і його різноманіття, розглянуто аналогії в механіці, електротехніці і в біології з метою побудови технічних моделей для реалізації деяких функцій живих об'єктів з метою можливого відновлення втрачених функцій шляхом імплантації моделей в живі тканини.

Мета статті. Довести (показати), що резонансні наноелектромеханічні системи (НЕМС) можуть бути елементарними цеглинками для побудови технічних моделей живих об'єктів.

Методи. Порівняльний аналіз і виявлення аналогій в найпростіших прикладах нескінченного руху як основної ознаки життя в механіці, електротехніці і наноелектроніці.

Результат. Розглянуто характерні ознаки об'єктів живої природи та функціональна модель елемента живої матерії. Запропоновано ранжувати ознаки в залежності від їх важливості для життя. Відзначено, що обертальний рух або періодичні процеси можна розглядати як такі, що мають загальний характер і властивості об'єктів як живої, так і неживої природи. Запропоновано моделювати живі об'єкти за допомогою автоколивальних систем. Розглянуто технічну модель найбільш складного для представлення процесу переходу з неживого в живе на простому прикладі резонансного чотириполюсника — НЕМС.

Надано приклади моделей елементів нейромереж: аксона і нейрона на основі НЕМС. Відповідно до аналогій можуть бути розглянуті реалізації пневмо- і гідравлічного резонансного чотириполюсників для моделювання деяких функцій органів дихання і кровообігу. Розглянуто технічну модель найбільш складного для представлення процесу переходу з неживого в живе на простому прикладі резонансного чотириполюсника — НЕМС.

Висновок. Аналіз виявлених аналогій в техніці і в живому дає підставу припустити, що рух в техніці подібний до обмінних процесів в живих системах і має автоколивальний характер, але відрізняється видом носія руху, що має свою специфіку. Сьогодні автоколивальні резонансні НЕМС можна розглядати як один з найбільш прийнятних елементів для моделювання деяких частин живих систем. За виконуваними функціями (а не за структурою) вони можуть замінити деякі об'єкти живої природи, хоча і іншими засобами. Згадаймо прецедент винаходу колеса і його застосування для переміщення людини, як альтернативу прямого копіювання руху ніг. Перевагою пропозиції є те, що розміри і енергоспоживання НЕМС дозволяють імплантувати їх в живі тканини, що в перспективі може бути альтернативою пересадці живих тканин (органів) для відновлення деяких функцій в живих організмах.

Ключові слова: *живе і неживе, теорія аналогій, моделювання складних систем, періодичні процеси, резонансні чотириполюсники, автоколивальні системи, наноелектромеханічні системи (НЕМС).*