



ПРИРОДНЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ШКОЛЬНЫХ КУРСАХ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК: МЕТАМЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Анатолий В. Турлов

ГБОУ Центр образования «Санкт Петербургский городской Дворец творчества юных», Санкт Петербург, Россия

Сергей Телешов

ГБОУ СОШ № 635; Санкт Петербург, Россия

Абстракт

Во всех школьных курсах естественных наук, будь это физика, химия, биология или физическая география, встречается описание различных периодических процессов, происходящих в природе. Чаще всего указанное явление - периодичность - остаётся не только изолированным от ему подобных, не только невостребованным, но и до конца неосознанным школьниками. В традиционной школе учителями постоянно осуществляются попытки установления межпредметных связей как между естественнонаучными предметами, так и гуманитарными. К сожалению, чаще всего это именно попытки. Организовать систему работы, показывающую и вскрывающую связь, существующую между многими явлениями природы, полноценно не удаётся. Одной из первых попробовала решить всё-таки эту проблему кардинально предложила специалист в области методики обучения химии, член-корреспондент РАО, доктор педагогических наук И.М.Титова из Санкт Петербурга. Она считала, что ключ к решению – использование метаметодического подхода при изучении различных школьных учебных курсов. В предлагаемой статье мы попробуем осветить свой опыт работы в названном направлении.

Ключевые слова: *интеграция, колебательные процессы, метаметодика.*

Введение

«Школа одолжена своим мощным влиянием науке и только науке»

Николай Иванович Пирогов

Во многих школах России в 10-11 (старших) классах происходит отказ от преподавания физики, химии и биологии. Имеет место переход к преподаванию естествознания (Алексахина, 2008). Первые же попытки такого изменения были осуществлены ещё в конце XX в. (Битюцкая, 1999). Авторские коллективы указанных учебников состоят из кандидатов и/или докторов наук. Цели авторы преследуют самые благие: отразить окружающий реальный мир в его единстве, сложности и гармонии; реализовать задачи гуманизации и гуманитаризации. Вполне естественно, что при этом учебные курсы собственно физики, химии и биологии существенно сокращаются. Поэтому применение метаметодического подхода действительно позволяет решать задачи интеграции этих предметов. Отметим, что метаметодика отнюдь не возбраняется и при сохранении традиционного деления учебных предметов. В освоении теории метаметодического

подхода большой вклад сделан петербургскими дидактами Е.П.Суворовой, Н.С.Подходовой, М.П.Воюшиной, В.Д. Сухоруковым, Б.А.Комаровым (Комаров, 2006, Подходова, 2004; Метаметодика, 2012).

На что же следует обратить внимание учителю при реализации метаметодического подхода в урочной деятельности? Прежде всего на то, что нас в значительной степени окружают периодические /они же пульсирующие или ритмические, или колебательные, или мерцающие/ природные процессы. Это: движение космических тел вокруг центра галактики, смена времён года, смена дня и ночи, приливы и отливы, работа гейзеров, биение сердца, чередующиеся популяции животных, звёзды пульсирующей яркости (цефеиды), колебание векторов магнитной индукции и электрической напряжённости в электромагнитной волне, движение различных маятников, зависимость некоторых свойств веществ от величины заряда ядер их атомов... Можно знать, что в природе имеют место такие *физические* процессы, как: периодическая кристаллизация, периодическая диффузия, периодичность при застывании металла...; *физико-химические*: периодическая адсорбция, периодическое высаливание, периодическая коагуляция...; *химические*: периодическое выделение осадка (кольца Лизеганга), периодические электрохимические процессы, периодические фотохимические реакции, периодические окислительно-восстановительные реакции, в том числе колебательные... (Мустафин, 2002; Фомин, 2006).

Периодические структуры образуются как в организме человека: камни в жёлчном или мочевом пузыре, так и в горных породах. Они могут быть получены в лабораторных условиях: силикатный сад (при его росте химические реакции сочетаются с явлениями диффузии и осмоса).

Некоторые из этих процессов очень долгопериодические: например, поворот земной оси /прецессия/ длится 25 750 лет; некоторые просто долгопериодические: например солнечная активность имеет период 11-17 лет; есть короткопериодические: цикл сна и бодрствования, дыхание, сердцебиение.

Мы же сосредоточим наше исследование на некоторых процессах, имеющих место в природе, рассмотрение которых в школьных курсах физики и химии может быть весьма небесполезным.

Сама по себе история открытия колебательных реакций в химии уже представляет собой целую драму не только идей, но и человеческих судеб. Ещё Роберт Бойль /Robert Boyle/ (1627-1691) в конце XVII в. наблюдал при окислении паров фосфора периодически возникающие вспышки света. Ф.Рунге /Ferdinand Runge/ (1794-1867) в книге «Der Bildung-strieb der Stoffe» в 1855 г. дал описание красочных периодических структур, возникающих на фильтровальной бумаге при взаимодействии определённых реагентов друг с другом (Шемякин, 1938). Специалист по коллоидной химии Р.Лизеганг /Raphael Eduard Liese-gang/ (1869-1947) в 1896 г. опубликовал результаты опытов с полученными им ритмическими структурами («кольца Лизеганга»). В 1898 г. это явление удачно интерпретировал будущий лауреат Нобелевской премии В.Оствальд /Wilhelm Friedrich Ostwald/ (1853-1932) с помощью разработанной им теории пересыщения. Затем он сам изучал ритм выделения водорода при растворении хрома в кислотах («осциллирующий хром»). В 1910 г. на основе математической модели, предложенной А.Д.Лотка /Alfred James Lotka/ (1880-1949), была предсказана возможность периодических реакций в химических системах, но они не были найдены. В 1921 г. У.Брей приступил к своим более чем двадцатилетним исследованиям открытых им колебательных реакций, но... никто ему не верил,

несмотря на публикации. В 1939 г. специалист по физике плазмы Д.А.Франк-Каменецкий (1910-1970) наблюдал периодические пульсации при окислении высших углеводов (Франк-Каменецкий, 1987). Пульсации холодного пламени изучал в сороковые годы также И.Е. Сальников (1914) (Сальников, 1949). Резюме было стандартным: «Нам это не нужно. Нам это не интересно». (Печёнкин, 2005, с. 24). В 1951 г. обнаружил удобную для лабораторных исследований чисто химическую колебательную реакцию военный химик Борис Павлович Белоусов (1893-1970), получивший химическое образование в Цюрихе (см. Рис. 1). И ... снова никто не поверил в её существование, и он долго не мог даже опубликовать свою статью (Белоусов, 1959; 1982): всё ещё давила неправильно понятая трактовка II закона термодинамики (Муштакова, 1997). В 1950-е гг. Симон Эльевич Шноль (1930) исследовал периодические процессы в биохимии (Шноль, 1958).



Рис. 1. Б. П. Белоусов, 1930 г., (Википедия).

Через 10 лет к работе подключился аспирант С.Э.Шноля - А.М.Жаботинский (1938-2008) (Жаботинский, 1964; 1974; 1985). К этому времени изменился подход к проблеме в научной среде и в настоящее время эту реакцию стали называть «реакция Белоусова-Жаботинского» и она широко известна в научном мире, как «BG-reaction» (под этим названием объединяется целый класс родственных химических систем, близких по механизму, но различающихся используемыми катализаторами / Ce^{3+} , Mn^{2+} и комплексы Fe^{2+} , Ru^{2+} /, органическими восстановителями /малоновая кислота, броммалоновая кислота, лимонная кислота, яблочная кислота и др./ и окислителями /броматы, иодаты и др./).

А.А.Андронов (ученик Л.И.Мандельштама), базируясь на качественной теории дифференциальных уравнений, созданной А.Пуанкаре, выдвинул строгое математическое определение автоколебаний (так называемый предельный цикл Пуанкаре) и предложил соответствующую теорию (Андронов, 1937). А.М.Жаботинский же с соавторами показал, что в реакции Белоусова реализуются именно автоколебания и довёл изучение механизма этой реакции до понимания на физико-математическом уровне.

Исследование

«Необходимо признать, что задача школы
вовсе не в том, чтобы преподавать ту или
другую
отрасль знания, а в том, чтобы научить научному
методу»

Г.Армстронг, 1911

При имеющем место уменьшении объёма преподавания физики в средней школе изучение колебательных движений остаётся по-прежнему, благодаря распространённости этих явлений. Например, урок, предлагаемый в § 62 учебника по естествознанию для 10 класса, так и называется «Движение как качественное изменение. Химические реакции» (Алексашина, 2008). В базовом курсе физики колебательные движения изучаются дважды: в 9-м классе - 7 уроков (Пёрышкин, 2010) и в 11-м классе - 20 уроков (Мякишев, 2012).

Несомненно привлекательной в любом случае остаётся связь физики с химией. Оказывается, имеются такие химические реакции, которые обнаруживают колебательный характер. Одна из таких реакций - реакция Бриггса-Раушера («йодные часы», или «химические часы») - автоколебательная химическая реакция («мерцающая» реакция) (Иванова, 1984). Она относится к группе реакций Белоусова-Жаботинского. При взаимодействии пероксида водорода, йодноватой кислоты, сульфата марганца (II), серной и малоновой кислот, а также крахмала возникает колебательная реакция с переходами бесцветный-золотой-синий. В 9-м классе эту реакцию можно показать дважды. Первый раз - в качестве примера для иллюстрации колебательных движений наряду с грузом на нити, маятником в часах, с грузом на пружине, колебанием ветки дерева... На этом этапе мы можем использовать видеоматериалы. Вполне доступна для выполнения и колебательная реакция взаимодействия лимонной кислоты и бромата калия с цветовыми переходами: фиолетовый-коричневый-светло жёлтый.

Вводим понятие периода колебаний, подчеркивая, что суть периода колебаний не зависит от конкретного механизма явления.

Второй раз - при рассмотрении понятия гармонических колебаний (в этом случае желательно уже демонстрировать реальную реакцию «химические» часы-I или «химические» часы-II).

Для осуществления реакции «химические» часы-I используются следующие компоненты:

раствор А. 100 мл 30 % перекиси водорода в мерной колбе довести объём до 250 мл дистиллированной водой;

раствор Б. 1,1 мл концентрированной H_2SO_4 смешать с 50 мл воды и растворить в этом растворе 3,52 г йодноватой кислоты HIO_3 , затем довести объём раствора до 250 мл дистиллированной водой;

раствор В. При нагревании растворить в 20 мл дистиллированной воды 0,08 г крахмала, 3,9 г малоновой кислоты $/CH_2(COOH)_2/$ и 0,85 г сульфата марганца (II), после охлаждения довести объём в мерной колбе до 100 мл;

Большой стакан затем ставим на магнитную мешалку и наливаем в него 100 мл раствора Б, затем по 100 мл раствора А и В. Наблюдаем изменения цвета (Иванова, 1984).

Реакция «химические» часы-II выполняется следующим образом:

шаг 1. Навеску лимонной кислоты массой 2 грамма следует растворить в 6 мл дистиллированной воды;

шаг 2. В полученный раствор добавить 0,2 г бромата калия и долить 0,7 мл концентрированной серной кислоты;

шаг 3. Внести 0,04 г перманганата калия и довести суммарный объём полученного раствора дистиллированной водой до 10 мл.

Полученный раствор тщательно перемешать до полного растворения реактивов. Наблюдаем изменения цвета (Петрянин, 2004).

Рассматриваемые изменения окраски раствора можно также анализировать с помощью датчика освещённости.

При рассмотрении гармонических колебаний учебник (Пёрышкин, 2010) рекомендует сделать развёртку колебаний с помощью колеблющегося флюмастера или ведёрка с песком над листом бумаги. Приводим лист в движение и наблюдаем развёртку колебаний в виде синусоиды. Делаем вывод, что эти колебания гармонические.

Можно продемонстрировать развёртку и другим способом. Мы используем LabPro Interface System (оборудование Flinn Scientific), которое представляет из себя датчик расстояния (ультразвуковой датчик) подключённый через коммутатор к компьютеру (Рис. 2).

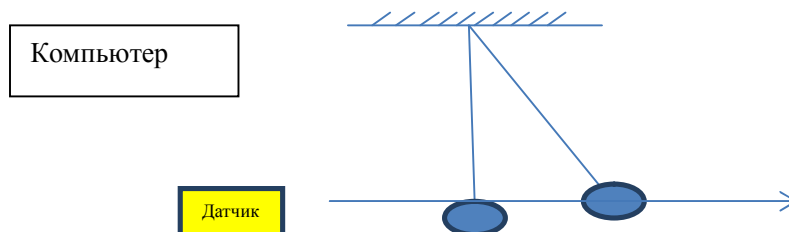


Рис. 2. Датчик расстояния и компьютер.

На экране компьютера наблюдаем одновременно два графика: временную зависимость координаты тела на одном графике и скорости - на втором. В 9-м классе мы используем только первый график. Используя полученную зависимость, уточняем понятие амплитуды, периода, частоты и фазы колебаний. Затем, заменяем ультразвуковой датчик на датчик освещённости. Смешиваем растворы и наблюдаем на мониторе график зависимости освещённости от времени. Периодические изменения во времени физической величины (координаты тела или освещённости раствора), происходящие по закону синуса или косинуса, называются гармоническими колебаниями. Опять подчёркиваем, что математическое описание не зависит от разновидности этого явления.

Если продолжать наблюдения, то мы обнаруживаем, что колебания и для маятника на нити, и при смешивании растворов являются затухающими. Чем больше сопротивление движению, тем быстрее прекращается движение. Так мы говорим про движение механических систем. Ответить же на вопрос: «Какие факторы влияют на прекращение колебаний в реакции Бриггса-Раушера?», нам с учащимися пока не удалось. Мы рассматриваем эти колебания как свободные. Поэтому при изучении в дальнейшем вынужденных колебаний, мы говорим, что

реакция Бриггса-Раушера не может привести к возникновению другого явления - явления резонанса.

В 11 классе на первом уроке по физике колебаний аналогично сначала приводятся примеры колебаний и даётся уточнённое определение: механическими колебаниями называют движения тел, повторяющиеся точно (или приблизительно) через одинаковые промежутки времени. Закон движения тела, совершающего колебания, задается с помощью некоторой периодической функции времени $x = f(t)$. Затем переходим к рассмотрению свободных и вынужденных колебаний. На данном этапе имеет смысл показать ещё одну разновидность колебаний: упомянутую выше химическую реакцию Бриггса-Раушера (или аналогичную ей). Колебания цвета раствора являются свободными колебаниями. Свободные колебания совершаются под действием внутренних сил системы после того, как система была выведена из положения равновесия.

Параметрами для математического маятника являются длина нити (l) и ускорение свободного падения (g), а для пружинного маятника - коэффициент жёсткости пружины (k) и масса груза (m). Начинаем выводить дифференциальные уравнения для математического маятника: $x'' = - (g/l) \cdot x$ и для пружинного маятника: $x'' = - (k/m) \cdot x$. Естественно возникает вопрос: «Существуют ли какие-либо параметры для вывода дифференциального уравнения химической реакции?» Можно, конечно, ввести значение освещённости с датчика. Но это будет внешний параметр, не отражающий суть внутренних процессов. На следующем уроке решаем это уравнение: $x = \cos \omega_0 t$, где $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ для пружинного маятника и $\omega_0 = \sqrt{g/l}$ для математического маятника. Затем обращаемся к экспериментальной установке. С помощью ультразвукового датчика получаем на экране компьютера зависимость координаты от времени и смещённую по фазе на $\pi/2$ зависимость скорости от времени. Этот момент мы рассматривали, когда брали первую производную от координаты при решении дифференциального уравнения ($x'' = - (g/l) \cdot x$). Устанавливаем датчик освещённости и проводим реакцию Бриггса-Раушера. На экране монитора наблюдаем аналогичные графики. Следовательно: данные явления, несмотря на различные механизмы, описываются одинаковыми математическими функциями. Этот факт через несколько уроков подтверждается решением дифференциального уравнения для электромагнитных колебаний: $q = \cos \omega_0 t$, где $\omega_0 = 1/LC$. (Хорошо бы только понять, что представляет из себя ω_0 для химической колебательной реакции). Во всяком случае доступный для хорошо владеющего математическим аппаратом школьника подход рассмотрен в работе доктора физ.-мат. наук В.В.Ерёмина (Ерёмин, 2011, с. 42-46).

Математическая теория колебаний в системах, аналогичных химическим реакциям, была опубликована ещё в 1910 г. американским математиком и физико-химиком А.Д.Лотка (поляком по происхождению), который записал систему дифференциальных уравнений, из которой следовала возможность периодических режимов (на примере динамики популяций). Однако он так и не построил математическую модель автоколебаний.

В школах и домах творчества в системе дополнительного образования в настоящее время появились наборы по робототехнике NXT Mindstorms. В них имеются оба названных датчика. Можно проделать перечисленные опыты с таким набором. Можно выполнить лабораторную работу, если в образовательном учреждении имеется несколько таких наборов. К этим наборам мы подсоединяем датчики к микропроцессору (блоку управления) NXT и на LCD-экране блока

управления наблюдаем точечные графики зависимости координаты и освещённости от времени.

Заключение

«Действительное знание заключается
не в знакомстве с фактами, что создаёт только педанта,
а в использовании фактов, что производит
философа»

Генри Томас Бокль
(Henry Thomas Buckle, 1821-1862)

Весьма значимым с нашей точки зрения является тот факт, что Л.М.Мандельштам как ученик физика и химика, лауреата Нобелевской премии Фердинанда Брауна /Ferdinand Braun/ (1850-1918), известного формулировкой принципа (Ле Шателье-Брауна), перенёс идеи учения о колебаниях (Schwingungslehre) немецкой школы на российскую почву.

Изучение колебательных (пульсирующих, периодических, мерцающих) реакций, ока-залось весьма важным. Например, реакция Белоусова-Жаботинского имеет значение не только в области теории активных сред. Эта реакция используется как модель для исследования грозного нарушения работы сердца - аритмии и фибрилляций. Уже ведутся эксперименты со светочувствительной модификацией этой реакции, когда динамика в этой системе зависит от интенсивности света. Оказалось, что такую реакцию можно использовать как вычислительную машину для хранения и обработки изображения. Светочувствительная модификация реакции Белоусова-Жаботинского может служить прототипом вычислительного комплекса, который возможно, придёт на смену ЭВМ.

Одновременно, колебательные химические реакции являются ярким примером самоорганизации в неживой природе, и в этом смысле имеют не только естественно-научное, но и философское значение (Печёнкин, 1986; 2005). Словом, истории периодических процессов не заканчивается (Скоробогатов, 2005).

Благодарности

Авторы приносят свои благодарности доктору физико-математических Герману Александровичу Скоробогатову из СПбГУ который детально ввёл нас в мир истории колебательных химических реакций и дал ценные рекомендации. Также мы благодарны доктору физико-математических наук Вадиму Владимировичу Ерёмину из МГУ за его книгу «Математика в химии», в которой реально воплощён метаметодический подход, о котором многие говорят, но мало кто делает.

Литература

- Алексашина И. Ю., Галактионов К. В., Дмитриев И. С., Лящев А. В., Соколова И. И., Ванюшкина Л. М. (2008). *Естествознание: 10 класс*. Москва: Просвещение.
Андронов А. А., Хайкин С. Э. (1937). *Теория колебаний*. Москва.

- Белоусов Б. П. (1959). Периодически действующая реакция и её механизм. *Сборник рефератов по радиационной медицине за 1958 г.* Москва: Медгиз.
- Белоусов Б. П. (1982). Периодически действующая реакция и её механизм. *Химия и жизнь, № 7.*
- Битюцкая Л. А., Ерёмин В. С., Чесноков В. С., Дементьева О. Б. (1999). *Естествознание: Для учащихся 10-х классов школ и средних учебных заведений с гуманитарным профилем.* Москва: АСТ-ПРЕСС.
- Ерёмин В. В. (2011). *Математика в химии.* Москва: МЦНМО.
- Жаботинский А. М. (1964). Периодический ход окисления малоновой кислоты в растворе (Исследование реакции Белоусова). *Биофизика, т. 9, вып. 3, 306-311.*
- Жаботинский А. М. (1974). *Концентрационные автоколебания.* Москва: Наука.
- Zhabotinsky A. M. (1985). *Oscillations and travelling waves in chemical systems.* Ed. By R. J. Field and M. Burger.
- Иванова М. А., Кононова М. А. (1984). *Химический демонстрационный эксперимент.* Москва: Высшая школа.
- Комаров Б. А. (2006). *Теория и практика согласованного обучения.* Санкт Петербург: изд-во БАН.
- Метаметодика как перспективное направление развития предметных методик обучения* (2012). Материалы 9-й Всероссийской научно-практической конференции 8-11 декабря 2011. Санкт Петербург.
- Мустафин Д. И., Сиванова О. В., Орлов С. Б. (2002). Периодические процессы - всеобщая закономерность природы. *Фундаментальные исследования, № 5, 70-73.*
- Муштакова С. П. (1997). Колебательные реакции в химии. *Соросовский образовательный журнал, № 7, 31-36.*
- Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. (2012). *Физика. 11 класс.* Москва: Просвещение.
- Перышкин А. В., Гутник Е. М. (2010). *Физика. 9 класс.* Москва: Дрофа.
- Петрянин А. В. (2004). *Колебательные химические реакции - как пример самоорганизации в неживой природе.* Новосибирск.
- Печёнкин А. А. (1986). *Взаимодействие физики и химии (философский анализ).* М.: Наука.
- Печёнкин А. А. (2005). Мировоззренческое значение колебательных химических реакций. *Вестник Московского государственного университета, Серия 7, Философия, № 6, 20-35.*
- Подходова Н. С. М. Титова И. М. (2004). *Метаметодика как новое научное направление. Сборник научных трудов по непрерывному образованию.* Вып. 4. «Метаметодики: продуктивный диалог предметных методик обучения». Санкт Петербург, 5-15.
- Сальников И. Е. (1949). О теории гомогенных периодических реакций. *Журнал физической химии, Т. 23, 258-272.*
- Скоробогатов Г. А., Каменский А. В. (2005). Механизм пространственно-периодических реакций (колец Лизеганга). *Вестник Санкт Петербургского Государственного университета, серия 4, вып. 1, 109-111.*
- Фомин С. А. (2006). Периодические процессы в природе. *Естествознание в школе, № 1, 9.*
- Франк-Каменецкий Д. А. (1987). *Диффузия и теплопередача в химической кинетике.* Москва.
- Шемякин Ф. М., Михалёв П. Ф. (1938). *Физико-химические периодические процессы.* Москва; Ленинград.

Шноль С. Э. (1958). О самопроизвольных переходах препаратов актомиозина из одного состояния в другое. *Вопросы медицинской химии*, Т. 4, 433-440.

Summary

NATURAL PERIODIC PROCESSES IN SCHOOL SCIENCE COURSES: THE METAMETODIC ASPECTS

Anatoly V. Turlov

St. Petersburg City Palace of Youth Creativity, Russia

Sergei V. Teleshov

State school № 635, St.-Petersburg, Russia

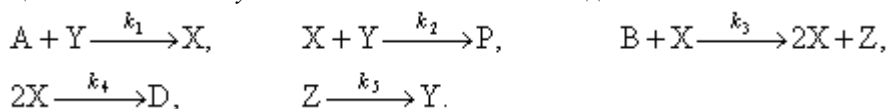
This article presents the history of the study of various periodic processes, related to physics and chemistry. A significant contribution to the study of oscillatory processes have made by German scientists from the 19th century. Then, the initiative passed to the scientists of other countries. For a long time it was thought that the vibrational response - it's just only a figment of the imagination. The greatest scientists have denied the possibility of their existence. Unfortunately, this was due to an incorrect interpretation of the second law of thermodynamics. The situation changed dramatically after the work of A.Zhabotinsky and his colleagues. Now, the reaction of this type is called «BG-reaction». Oscillatory movements even as physics course is replaced by natural sciences, are there proper place. This article deals with the review of different types of oscillating processes on metametodic level. Modern computer technologies allow graphic images of oscillatory processes. However, students need to make sense of the image according to mathematical calculations and try to make the right conclusions. Use the metametodic approach is the way to success. We are of the view that the task of the school is not to teach one or the other branch of knowledge, but to teach the scientific method.

Key words: integration, oscillatory processes, metametodics.

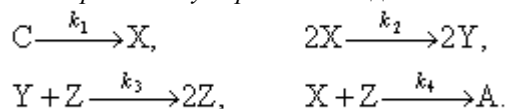
Дополнение

Выражения для производной второй вариации энтропии

Реакционная схема Белоусова-Жаботинского имеет вид:



Реакционная схема Бриггса-Раушера имеет вид:



Приведём производную термодинамической функции Ляпунова (второй вариации энтропии) для реактора периодического действия с мешалкой, в котором

осуществляются эти реакции (учитываются вариации по концентрациям реагентов X, Y, Z и по температуре):



- для реакционной схемы *Белюсова-Жаботинского*

$$\begin{aligned} \frac{1}{V} \int \delta w \delta \frac{A_w}{T} dV = & \left[R(w_2 - w_3 + 4w_4) \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 + R(w_1 + w_2) \left(\frac{\delta y}{y} \right)^2 + \right. \\ & \left. + R w_5 \left(\frac{\delta z}{z} \right)^2 + R(-w_1 + w_2) \frac{\delta x}{x} \frac{\delta y}{y} - R w_3 \frac{\delta x}{x} \frac{\delta z}{z} - f w_5 \frac{\delta y}{y} \frac{\delta z}{z} \right] + \\ & + \left\{ [-w_1 E_1 + w_2(E_2 - Q_2) - w_3(E_3 + Q_3) + 2w_4(E_4 - Q_4)] \frac{\delta x}{x} \frac{\delta T}{T^2} + \right. \\ & \left. + [w_1(E_1 - Q_1) + w_2(E_2 - Q_2) - w_5 f E_5] \frac{\delta y}{y} \frac{\delta T}{T^2} + [-w_3 E_3 + \right. \\ & \left. + w_5(E_5 - Q_5)] \frac{\delta z}{z} \frac{\delta T}{T^2} \right\} + \left[\left(-\sum_{i=1}^5 \frac{w_i E_i Q_i}{RT^2} + \frac{K_T F_S}{V} + \rho C_T \frac{v_q}{V} \right) \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 \right]; \end{aligned}$$

- для реакционной схемы *Бриггса-Раушера*

$$\begin{aligned} \frac{1}{V} \int \delta w \delta \frac{A_w}{T} dV = & \left[R(4w_2 + w_4) \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 + R w_3 \left(\frac{\delta y}{y} \right)^2 + R(w_4 - w_3) \left(\frac{\delta z}{z} \right)^2 - \right. \\ & \left. - 4R w_2 \frac{\delta x}{x} \frac{\delta y}{y} + 2R w_4 \frac{\delta x}{x} \frac{\delta z}{z} \right] + \left\{ [-2w_2 E_2 + w_3(E_3 - Q_3)] \frac{\delta y}{y} \frac{\delta T}{T^2} + \right. \\ & \left. + [-w_1 E_1 + 2w_2(E_2 - Q_2) + w_4(E_4 - Q_4)] \frac{\delta x}{x} \frac{\delta T}{T^2} + [-w_3(E_3 + Q_3) + \right. \\ & \left. + w_4(E_4 - Q_4)] \frac{\delta z}{z} \frac{\delta T}{T^2} \right\} + \left[\left(-\sum_{i=1}^4 \frac{w_i E_i Q_i}{RT^2} + \frac{K_T F_S}{V} + \rho C_T \frac{v_q}{V} \right) \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (6.10)$$

Received 21 September 2013; accepted 10 November 2013

	<p>Sergei Teleshov Teacher, State school № 635, St.-Petersburg, Russia E-mail: hismetodik@mail.ru</p>
	<p>Anatoly V. Turlov St. Petersburg City Palace of Youth Creativity, Nėvskij av. 39, St. Petersburg, Russia. E-mail: tavsui@mail.ru</p>