

Keywords:

instability, nonlinear phenomena, Hamiltonian, traveling wave, soliton, tsunami, Ferhulst – Perl equation, Hamiltonian population dynamics, separatrix, COVID-19, traveling wave type model of COVID-19 pandemic, ethnogenesis, expression of dependence of periods of maximum development of ethnogenesis and pandemic, generation time, population growth rate

Нелинейная физика в практике флота – рекуперация энергии при остановке

Часть 2

DOI 10.37663/0131-6184-2022-2-81-87

Д-р техн. наук, профессор
Н.Д. Гайденок – Сибирский
федеральный университет,
г. Красноярск

@ ndgay@mail.ru

NONLINEAR PHYSICS IN THE NAVY. PART 2

Doctor of Technical Sciences, Professor **N.D. Gaidenok** – Siberian Federal University, Krasnoyarsk

The paper considers two nonlinear phenomena studied in the framework of the theory of catastrophes, which are present in the practice of the fleet and relate to various aspects of logistics - energy recovery due to the "soliton" thrust of the body and the formal image of the current impact of the covid-19 coronavirus pandemic. Their correspondence to the catastrophes of folding and assembly is shown.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В первой части данной работы [2] приводится интерпретация процесса рекуперации энергии воды при движении плавающего тела – Солитонная тяга тела – увеличение скорости на стадии торможения, как результат действия явлений природной неустойчивости, имеющих нелинейную природу – нелинейных стационарных волн [4], которые происходят не только и не столько в водной среде, хотя именно в ней были впервые обнаружены, а во множестве совершенно иных явлений природы – от физики плазмы [4] до эпидемий [7], включая, еще продолжающуюся с трендом затухания, пандемию COVID-19 [2].

Указанное разнообразие событий, релевантных примене-

нию формального аппарата стационарных волн [4; 6], было отмечено в первой части данной работы [2] в виде классической фразы известного физика Ф.Р. Фейнмана: «Одинаковые уравнения – одинаковые решения», которую он раскрывает в монографии [9].

Другой известный математик Бертран Рассел, в работе [1], более основательно говорил о математике: «Математику можно определить, как науку, в которой мы никогда не знаем, о чем говорим, и истинно ли то, о чем мы говорим», где неопределенность, естественно, необходимо понимать, как широту ее приложений, а, отнюдь, не как незнание и неразбериху или неспособность понять суть вещей. Ибо, высказывание Ле-

Ключевые слова:

неустойчивость, нелинейные явления, гамильтониан, бегущая волна, солитон, цунами, уравнение Ферхюльста-Перла, гамильтонова динамика популяции, сепаратриса, пандемия COVID-19, модель типа бегущей волны пандемии коронавируса, этногенез, выражение зависимости периодов максимального развития этногенеза и пандемии, время генерации, скорость роста популяции

онардода Винчи гласит: «В каждой науке столько истины, сколько в ней математики!»

Для иллюстрации широты приложения одного и того же математического объекта будет продолжено описание использования формального аппарата стационарных волн [4; 6], использованного для изучения присоединенной массы движущегося тела и, близких по физической природе, океанографического цунами и пандемии COVID-19 – «пандемического цунами», к исследованию таких внешне далеких, но феноменологически тождественных явлений, как этногенез, теорию которого мы находим у Л.Н. Гумилева [3], на основании которой можем уверенно анонсировать практически одну и ту же сукцессию фаз развития этногенеза и пандемии COVID-19. Кроме того, форма кривых динамики смертности во время пандемии COVID-19 и этногенеза практически эквивалентна (рис. 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве экспериментальной базы используются данные по динамике пандемии COVID-19 [10; 11]. К числу методов относятся результаты исследований по теории стационарных волн [4; 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прежде чем переходить к дальнейшему анализу формальной общности «Одинаковые уравнения — одинаковые решения» [9], необходимо рассмотреть, как феноменологию, так и формальную специфику описания этногенеза и ее параллелизм с пандемией COVID-19, вызванной вирусами семейства *Coronaviridae* и, в частности, штаммом SARS-CoV-2 относящимся к подроду *Sarbecovirus* рода *Betacoronavirus*.

Что касается точного определения, как этноса, так и этногенеза, то здесь скорее приходится руководствоваться расплывчатыми формулировками, самыми релевантными здесь являются: этнос – народ, народность, нация; этногенез – историко-культурный путь развития этноса. Это в аналогичном виде сказано в [5]: «Этногенез – это появление, развитие, угасание и исчезновение этноса, т.е. народа».

Однако наиболее феномено-концептуальным определением будет, данное Л.Н. Гумилевым, где этнос представим в виде объекта двух областей

В статье продолжается исследование нелинейных явлений, которые присутствуют в практике флота. Показанная в первой части исследования, возможность применения формального аппарата стационарных волн, определяющего особенности динамики присоединенной массы для описания динамики пандемии COVID-19, применима также для описания динамики этногенеза. В свою очередь, основные положения теории этногенеза – фазовая декомпозиция его динамики – полностью приложима к характеристике эпидпроцессов. Более того, скорость и продолжительность, как пандемии коронавируса, так и этногенеза, соответствуют классической зависимости «Время генерации – Скорость роста».

знаний: гуманитарной и естественно-научной, а именно – с гуманитарной, которая представляет объект исследования истории, лингвистики, культурологии, экономики, социологии, демографии; а с естественной – биологии (экология, генетика, психология), географии и математики (кибернетики).

Поэтому, будучи объектом исследования как минимум 12 научных дисциплин, этнос и этногенез действительно являются трудно определяемыми понятиями. Поэтому, в контексте выше изложенных фактов относительно этноса, он и этногенез будут рассматриваться в свете определений Л.Н. Гумилева [3]: «...этнос – специфическая форма существования вида *Homo sapiens*, а этногенез – локальный вариант внутривидового формообразования, определяющийся сочетанием исторического и хрономического (ландшафтного) факторов. Условившись понимать под этногенезом не только его пусковой момент – появление этноса на арене истории, но весь процесс развития до превращения этноса в реликт и исчезновения, о котором будет рассказано ниже, можно дать следующую дефиницию: любой, непосредственно наблюдаемый этнос – та или иная фаза этногенеза, а этногенез – глубинный процесс в биосфере, обнаруживаемый лишь при его взаимодействии с общественной формой движения материи».

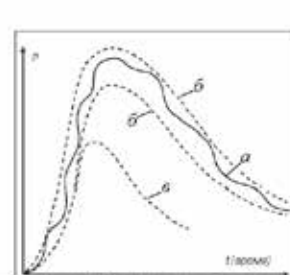


Рис. 1. Идеализированный ход функции P , характеризующий процесс этногенеза
Условные обозначения: a – сплошная линия – пределы вариаций уровня P ; b – вариации уровня P в аномальной фазе; c – резкое снижение уровня P вследствие внешнего смещения

Рисунок 1. Динамика смертности

в пандемии KB19 [10; 11] и агрегированной динамики этногенеза [3]

Figure 1. Dynamics of mortality in the KV19 pandemic [10; 11] and aggregated dynamics of ethnogenesis [3]

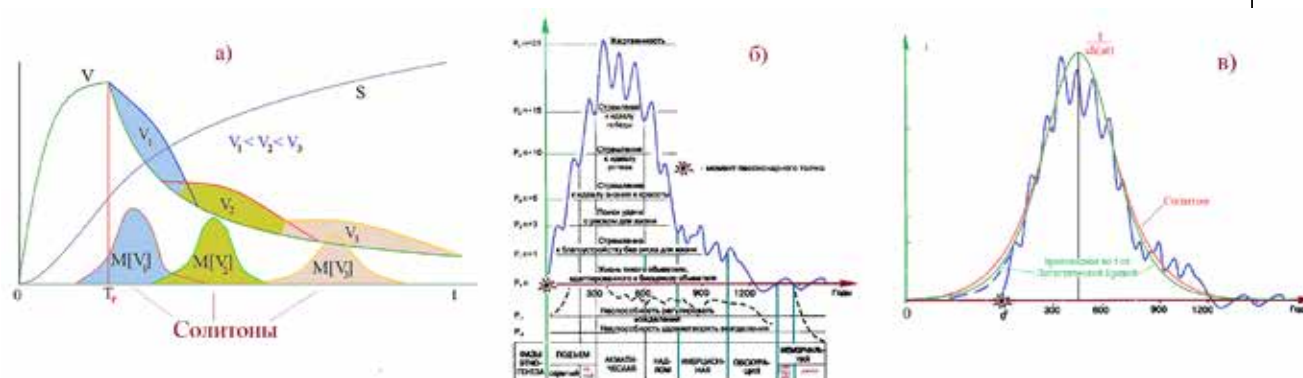


Рисунок 2. Солитоны (а) и кривая динамики этногенеза [3] (б)

и сопоставление их с производной по времени от Логистической Кривой (в)

Figure 2. Solitons (a) and the curve of the dynamics of ethnogenesis [3] (б) and their comparison with the time derivative of the Logistic Curve (в)

Таким образом, этнос – экологический объект, а именно – некоторый фрагмент планетарной гиперпопуляции вида *Homo Sapiens*, являющейся носителем аналогичной гиперпопуляции семейства вирусов COVID-19, т.е. популяция классическая со всеми присущими ей экологическими законами. В качестве этноидентифицирующих факторов, в плане отношения к пандемии COVID-19, будем рассматривать его эпиддиагностику и симптоматику, а не историко-культурологический контент.

Однако, тем не менее, здесь стоит вспомнить сопряженность распространения штаммов COVID-19 и путей португальских каравелл в XIV в., отмеченную в первой части исследования [2] на рисунке 3.

Кроме того, отражение миграций в период этногенеза подчиняется законам сохранения вещества, импульса и энергии – уравнения (2) – (8) в работе [2].

Вернемся к анализу взаимосвязи динамики цунами кривой развития этногенеза (рис. 2). Фено-

менологическая общность двух типов цунами, особенно «пандемического» и этногенеза, отчетливо проявляется при сравнении их агрегированной динамики наиболее адекватного показателя пандемии COVID-19 – смертности (число заболеваний не столь корректно – многие больные на появляются в поликлиниках) – синяя линия на рисунке 1.а и сплошной линии «а», показанной на рисунке 1.б, представляющим собой копию рисунка 3, заимствованный с рядом изменений положения маркеров а, б и в из монографии Л.Н. Гумилева [3].

Здесь можно также наблюдать тот факт, что, как на реальной огибающей «пилы суточной смертности» (рис.1.а) коричневая линия, так и даже на «идеализированном ходе» (рис.1.б), не говоря уже о более реальном (рис.2.б) – наблюдаются последовательности «горбов и впадин» – локальных минимумов и максимумов, обусловленные, как это показано в работе [2], вовсе не сезонными колебаниями, биологическими параметрами COVID-19.

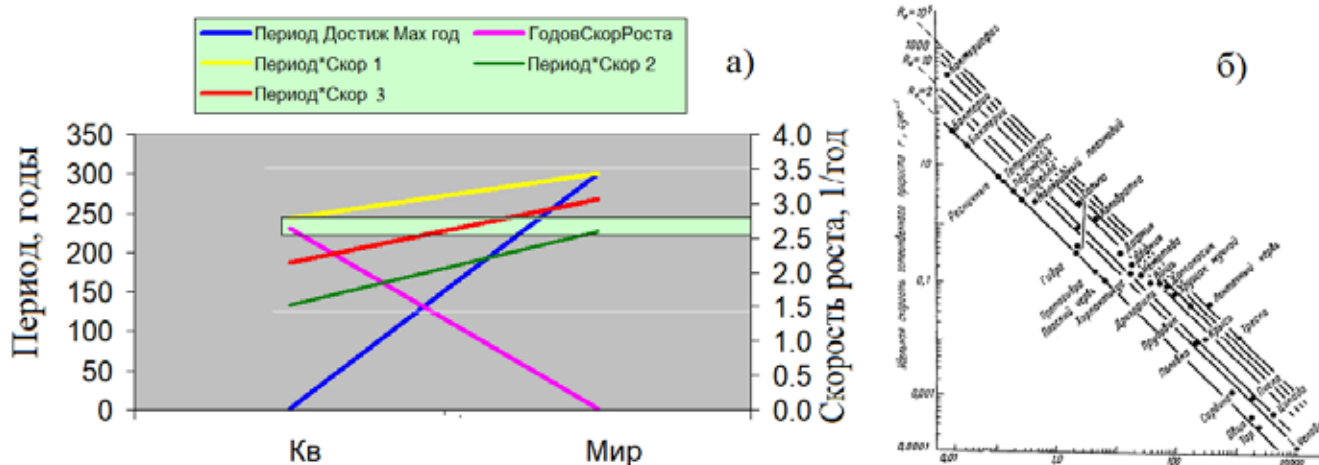


Рисунок 3. Иллюстрация соотношения параметров этногенеза и динамики семейства вирусов KB19 (а) и зависимость время генерации T_g и экспоненциальной скорости роста популяции r_m [12] (б)

Figure 3. Illustration of the correlation between the parameters of ethnogenesis and the dynamics of the KB19 virus family (а) and the dependence of the generation time T_g and the exponential growth rate of the r_m population [12] (б)

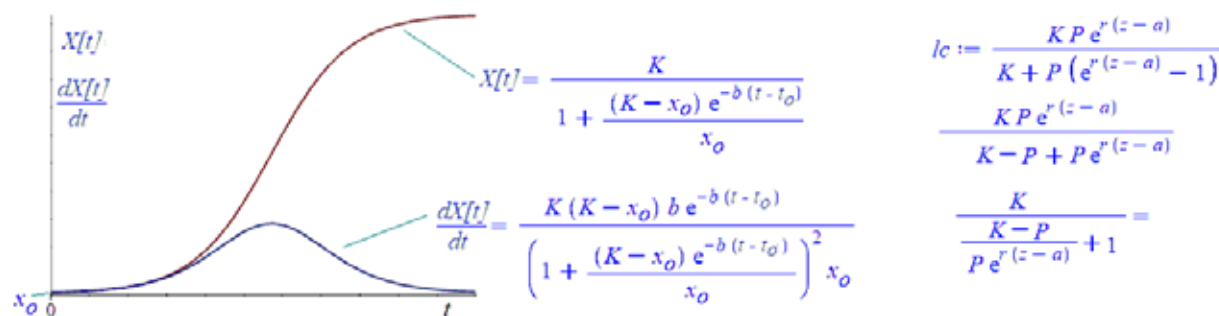


Рисунок 4. Аналитическое решение уравнения (1) и его производной по времени
Figure 4. Analytical solution of equation (1) and its time derivative

Дальнейшая общность кривых этногенеза и стационарных волн обнаруживается сразу, когда внимание переходит на изучение уединенных волн – солитонов, которые с феноменологических позиций, в необходимой для исследования степени, описаны в первой части данной работы [2, рис. 1.6] при исследовании присоединенной массы и изображенных ниже на рисунке 1.а.

Интересным, в плане соотношения параметров этногенеза человечества (вид *Homo Sapiens*) и динамики семейства вирусов COVID-19 является тот факт, что, если взять такие показатели как средние значения скорости увеличения количества смертей в течение пандемии и роста численности населения мира и средние периоды достижения максимального развития COVID-19 и этногенеза (рис.2.б), и далее рассмотреть производения периода и скорости, то получим величины одного порядка, имеющие, в качестве среднего ~ 2.7 (светло-зеленая полоса), несмотря на весьма существенные различия (рис. 3), о чем говорит наклон прямых Период·Скорость, отражающий более высокую интенсивность жизненных процессов COVID-19.

Далее на рисунке 3. показаны всего 2 точки для зависимости (0), являющейся гиперболой, которая в логарифмическом масштабе для фундаментальных классических показателей (время генерации T_g и экспоненциальной скорости роста популяции gm аналогов показателей «Период» и «Скорость» изображается в виде прямой линии) – Инварианта, отражающего факт: «во сколько раз увеличится gm или Скорость, во столько раз упадет величина T_g или Период».

$$\text{Период} \cdot \text{Скорость} = \text{const} \quad (0)$$

$$\text{alg}T_g + \text{blgr}_m = \text{const}$$

Для наших исследований не столь актуальна глубина историко-культурологических и биогеографических характеристик фаз этногенеза, изложенная в вербальном виде в монографии [3] на 300 страницах, сколь сам факт детерминации фаз и наличия их принципиальной взаимосвязи, позволяющей, как переносить качественные закономерности фаз на динамику пандемии COVID-19,

так и применять к вербальному описанию гуманитарных аспектов количественный аппарат сферы естественных дисциплин.

В этом плане на первый взгляд может показаться, что выражение кривой динамики этногенеза, в виде вербальной шкалы фаз этногенеза, формально эквивалентно детерминации диапазонов величин производной от функций, показанных на рисунке 2.в.

Однако здесь кроется более глубокий феноменологический смысл. Например, последовательность фаз этногенеза начинается с подъема, скрытого или явного; далее следует, через акматическую или стационарную фазу максимального развития, выход на плато; затем следует целая серия фаз падения величин максимального развития – надлом или спад, инерция, обскурация – прекращение внешних контактов и переход в реликт – мемориальность.

В плане пандемии COVID-19, в данном случае, или гриппа – испанки, происходившего практически 100 лет назад, просматриваются те же самые фазы (рис. 1.а и рис. 2.б) – от скрытого подъема (COVID-19 начали регистрировать, как минимум в начале «нулевых» этого миллениума) (SARS-CoV, 2002); затем максимум на Дельта-штамме; падение смертности, вследствие появления низколетального, но более вирулентного (подвижного) штамма Омикрон, резко увеличивающего число заболеваний при скором выздоровлении, мировое сообщество уже как бы переводит COVID-19 в статус банальной ОРВИ и строит планы на возвращение мировой экономики к допандемическому уровню, что практически соответствует реликтовому статусу вируса или мемориальной фазе.

Теперь, когда имеется в определенной степени конкретное описание эндогенеза и его параллельности с пандемией COVID-19, перейдем к анализу формального образа стационарных волн.

Приведем аналитическое решение, как классического уравнения Ферхюльста (1) [8] – Логистическая кривая, так и его производной по времени, графический образ которых показан на рисунке 4.

$$dX(t)/dt = bX(t)[K - X(t)], x[0] = x_0, \quad (1)$$

где $X(t)$, x_0 , b и K – численность в моменты времени t и 0 , скорость роста и емкость среды.

Теперь перейдем к анализу гомеоморфности аналитических решений и графических образов, производных по времени решений следующих классических уравнений Ферхюльста и математического маятника, позволяющего получить аналитическое выражение для динамики скорости уединенной стационарной волны – Солитона.

Для этих целей вначале надо показать ряд формальных свойств солитона, что будет представлено на примере нелинейного – математического маятника. Это наиболее удобно сделать путем сравнения физического – линейного – и математического маятников. Прежде всего, четко определим их свойства. Положение дел здесь заключаются в том, что внешне один и тот же объект исследования называется двумя наименованиями – физическим или математическим маятником, то есть более простой объект – шарик на нити или на тонком невесомом стержне без момента инерции изучался в курсе общей физики, а более сложный, представляющий объемное тело уже с достаточным моментом инерции – в более поздних курсах теоретической механики или вариационного исчисления (рис. 5).

Формально и феноменологически физический и математический маятники различаются лишь структурой потенциала (потенциальной энергии), определяющего особенности их динамики – для простого физического это функция $1/2x^2$; сложного математического – например, $\cos(x)$ (рис. 5).

Дальнейшие различия в динамике физического и математического маятников заключаются в том, что физический, при всех значениях потенциальной энергии, имеет лишь одно положение равновесия в точке $x = 0$ (рис. 6.а), математический – уже обладает значительно сложной картиной динамики (рис. 6.б). Кроме того, что здесь

имеется несколько положений, расположенных через период, здесь имеется еще одна траектория динамики – удаление в бесконечность, которое реализуется при очень высоких значениях энергии, вращаясь вокруг точки подвеса, как спутник вокруг своей планеты.

Для повышения восприятия физики динамики рассмотрим пространственный вид гамильтониана H , представляющего собой полную энергию математического маятника, динамика которого описывается уравнением (2). Он показан на ри-

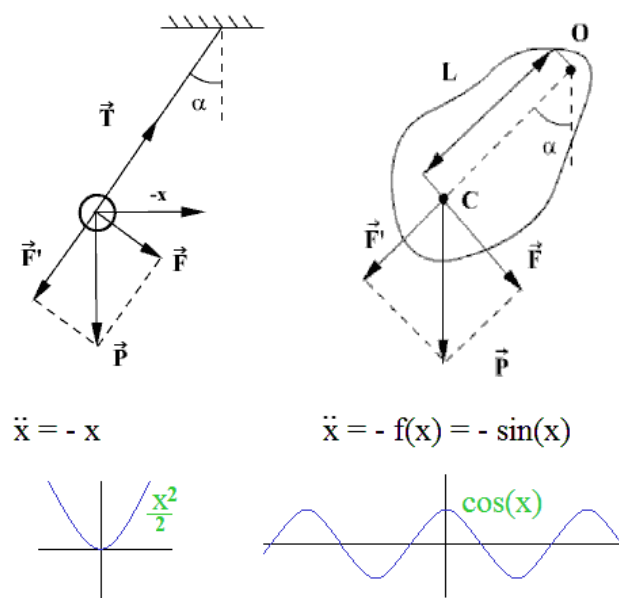


Рисунок 5. Иллюстрация физического и математического маятников

Figure 5. Illustration of physical and mathematical pendulums

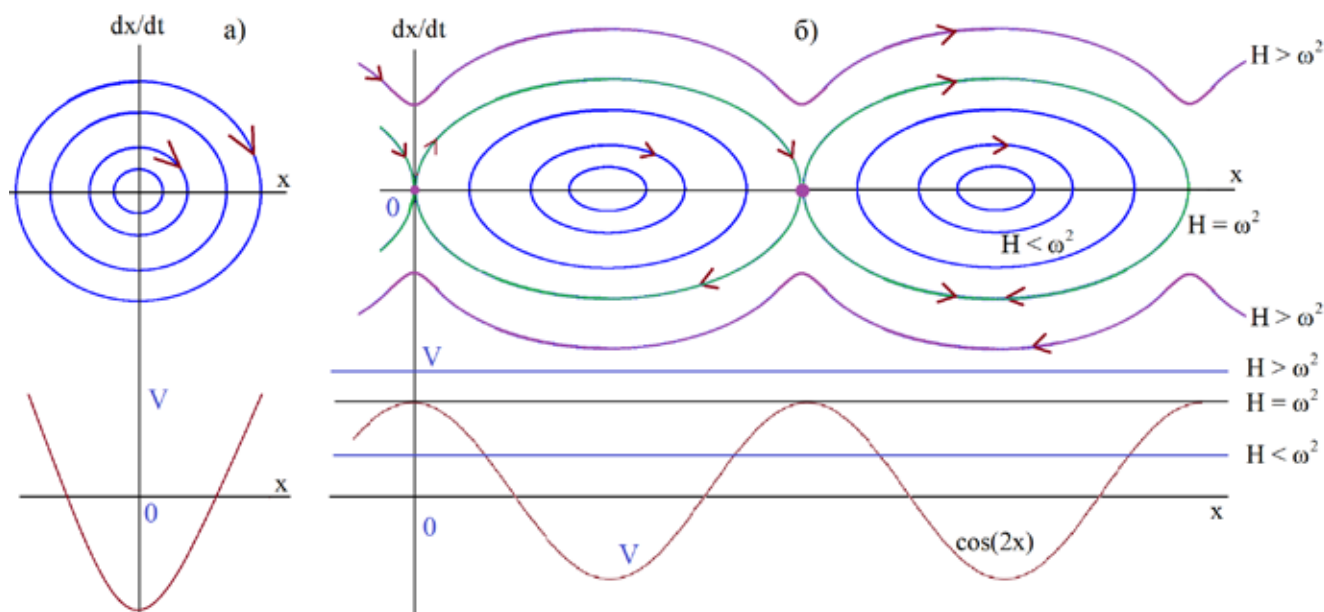


Рисунок 6. Потенциалы и соответствующие им фазовые портреты физического (а) и математического (б) маятников

Figure 6. Potentials and corresponding phase portraits of physical (a) and mathematical (b) pendulums

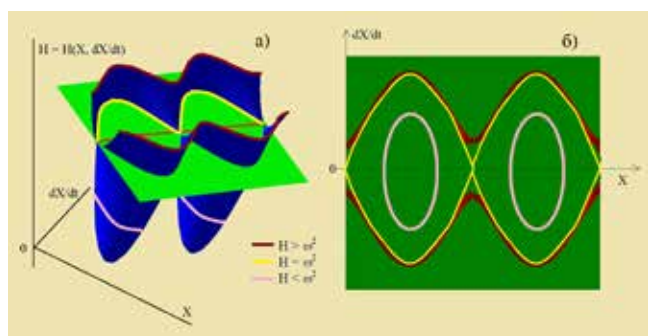


Рисунок 7. Пространственный образ полной энергии (а) и соответствующие им фазовые портреты и математического маятника (б)

Figure 7. Spatial image of the total energy (a) and their corresponding phase portraits and mathematical pendulum (b)

сунке 7, который гомеоморфен совокупности квазиэллиптических параболоидов.

$$H = \omega^2 = \frac{1}{2}[dx/dt]^2 + \omega^2 \cos(2x) = T + V, \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{2}[dx/dt]^2; \quad V = \omega^2 \cos(2x)$$

где T и V – его кинетическая и потенциальная энергия.

Вид динамики математического маятника определяется величиной полной энергии H при: $H < \omega^2$ будут периодические колебания; $H > \omega^2$ – траектория удаляющаяся в бесконечность (рис.6, 7).

Однако самая интересная динамика, соответствующая как уединенной волне, так и кривой этногенеза (рис. 2) и уравнению Ферхюльста-Перла (1) будет при $H = \omega^2$ – движение по сепаратрисе (зеленая линия на рис.6.б и желтая на рис.7). Покажем это. Из (2) оставим (3) и, произведя аналитические преобразования, получим (3.1).

Затем обратимся к рисунку8.а, иллюстрирующему практическую близость правой части (1), выраженную для детального отражения экологических механизмов через полином 2-го порядка, и образа отражения рассматриваемой кривой через функцию $1/4bK^2 \sin(\pi/Kx)$. Это поможет выразить величину ω через экологические параметры b и K – (3.2).

$$\omega^2 = \frac{1}{2}[dx/dt]^2 + \omega^2 \cos(2x) \quad (3)$$

$$[dx/dt]^2 = 4\omega^2 \sin^2 x \leftrightarrow dx/dt = \pm 2\omega \sin x$$

$$\omega = bK^2/8$$

Проинтегрируем выражение (3.1) по x и получим трансцендентное выражение для x (4) и, продифференцировав его по времени t , получим выражение для dx/dt – скорость уединенной волны.

$$\ln |tg[x/2]| = 2\omega t + C \quad (4)$$

$$x[t] = \arctan[\exp[2\omega t + C]]$$

Их графический вид показан на рисунке 9, из которого отчетливо видна одинаковая форма – «колокол» кривых этногенеза (рис. 2), производной по времени для уравнения Ферхюльста-Перла

ла (рис. 4), пандемии COVID-19, виду того, что все они по своей глубинной природе представляют стационарные волны.

ВЫВОДЫ

Итак, мы получили уединенную стационарную волну – Солитон, которая относится к типу «Цунами», отражающую динамику, как океанографического цунами, так и Логистическую кривую – уравнение (5.3) (рис. 10.2).

$$\beta \partial v^3 / \partial \xi^3 + v \partial v / \partial \xi = v \partial^2 v / \partial \xi^2 + \lambda \partial v / \partial \xi$$

$$\partial v / \partial t + v \partial v / \partial x + \beta \partial^3 v / \partial x^3 = v \partial^2 v / \partial x^2 \quad (5)$$

$$\partial v / \partial t + v \partial v / \partial x = v \partial^2 v / \partial x^2$$

$$\partial v / \partial t + v \partial v / \partial x + \beta \partial^3 v / \partial x^3 = 0$$

$$\xi = x - \lambda t$$

Феноменологический смысл параметров v и β в уравнениях Бюргерса (5.3) и Кортевега – Де Вриза (5.4) и их аналогах: v – вязкость среды или степень потерь; β – дисперсия или степень дробления. Поэтому, член $v \partial^2 v / \partial \xi^2$ отражает величину

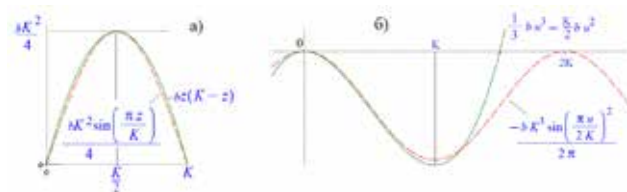


Рисунок 8. Выражение правой части уравнения Ферхюльста - Перла и определяющие ее потенциалы (б) при $bz[K - z]$ и $b[K/2]^2 \sin[Piz/K]$

Figure 8. Expression of the right side of the Ferhulst-Pearl equation and its determining potentials (b) at $bz[K - z]$ and $b[K/2]^2 \sin[Piz/K]$

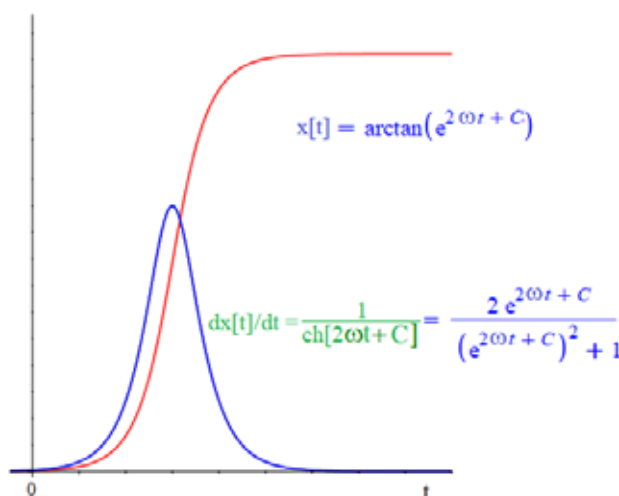


Рисунок 9. Графический вид dx/dt и x уравнения (3.1)

Figure 9. Graphical view of dx/dt and x equations (3.1)

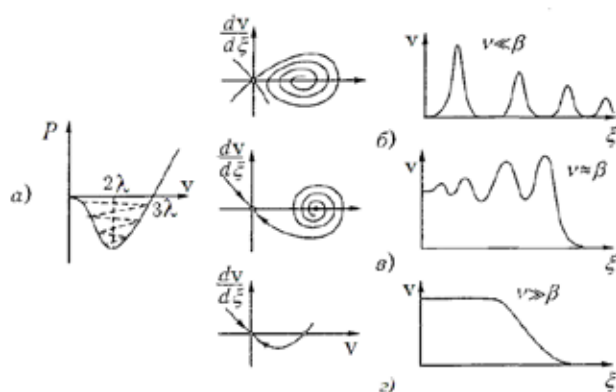


Рисунок 10. Виды «потенциальной ямы P »: а) фазовые портреты и картины распространения ударных волн для различных значений ν и β ; б) $\nu \ll \beta$ – в волне нелинейных осцилляций; в) $\nu \approx \beta$; г) – $\nu \gg \beta$ – ударная волна без осцилляций [6] для уравнения (5.1), получающегося из линейной комбинации (5.2) уравнений Бюргерса (5.3) и Кортевега – Де Вриза (5.4), при замене (5.5)

Figure 10. Types of "potential pit P ": а) phase portraits and pictures of the distribution of shock waves for different values of ν and β ; б) $\nu \ll \beta$ – in a wave of non-linear oscillations; в) $\nu \approx \beta$; г) – $\nu \gg \beta$ is a shock wave without oscillations [6] for equation (5.1) obtained from a linear combination (5.2) of the Burgers equations (5.3) and the Cortevaga – De Vries equations (5.4), when replaced by (5.5)

ну потерь, а $\beta \partial^3 \nu / \partial x^3$ – интенсивность дробления целого на фрагменты. Более важную интерпретацию β , для решаемых в данном исследовании, можно получить обратившись к магнито-электро динамике, где β несет смысл индуктивности или учета состояния предистории и взаимоокружения, в бытовом понимании «оглядки по сторонам».

Примером последнего могут служить кинематические волны [6], представляющие собой «бегущую» структуру из совокупности разрежений и сгустков в потоке машин на автотрассе (рис. 10.б). Рассматриваемые структуры являются неотъемлемым фактом при движении не только по линии одномерное пространство, но и на плоскости 2D и в 3D пространствах, когда движение вперед происходит уже не равномерно, а дискретными актами, с учетом окружающей обстановки.

Поэтому описание второго типа стационарных волн «тип КВ» (рис. 10.б, в), куда попадает динамика пандемии COVID-19 и этногенез (рис. 1,2) уже невозможно на основе уравнения Бюргерса (5.3) или Ферхюльста-Перла (1) – они дают только агрегированную динамику. Здесь необходимо привлечь уравнение Кортевега – Де Вриза (5.4) или его аналоги.

Это и было сделано при моделировании динамики пандемии COVID-19 [2], где в процессе вычислительного эксперимента было подтверждено

условие наличия колебаний: мягкий вариант $\nu \leq \beta$ и $\nu \ll \beta$ – строгий (рис. 10.б, в).

Здесь, при моделировании динамики COVID-19, было использовано уравнение (6.1), представляющее собой трансформацию (6.2) уравнения (5.1 или 5.2) при $C = 0$ и указанных величинах параметров β , ν и λ .

$$\partial \nu^2 \partial \xi^2 + 0.029 \partial \nu / \partial \xi = 0.159 \nu [1 - [\nu / 555]^{0.9}] \quad (6)$$

$$\partial / \partial \xi [\beta \partial \nu^2 \partial \xi^2 + \frac{1}{2} \nu^2] = \nu \partial \nu / \partial \xi + \lambda \nu + C$$

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Библиотека Мудрости > Рассел Бертран. Афоризмы о математике: сайт. – 2020. – URL: <https://wisdomlib.ru/story/2986> (дата обращения: 11.03.2022)
1. Wisdom Library > Russell Bertrand. Aphorisms about mathematics: website. – 2020. – URL: <https://wisdomlib.ru/story/2986> (accessed: 03/11/2022)
2. Гайденок Н.Д. Определение коэффициента сопротивления тра- лов гидравлично-математическим методом // Рыбное хозяйство. – 2021. – № 2. – С 70-76. DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
2. Gaidenok N.D. Determination of the drag coefficient of trawls by the hydraulic-mathematical method // Fisheries. – 2021. – No. 2. – Pp. 70-76. DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
3. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли – М.: Наука, 1977, 540 с.
3. Gumilev L.N. Ethnogenesis and the biosphere of the Earth – M.: Nauka, 1977, 540 p.
4. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса – М.: Наука, 1988 – 308 с.
4. Zaslavsky G.M., Sagdeev R.Z. introduction to nonlinear physics: from the pendulum to turbulence and chaos – M.: Nauka, 1988 – 308 p.
5. Немцов Э. Ф. Кривые Гумилева и кривые этнических достижений : сайт. – 2009. – URL: <https://nemtsov.ners.ru/articles/krivye-gumileva-i-krivye-etnicheskikh-dostizheniy.html> – обр 16 марта 2022
5. Nemtsov E. F. Gumilev curves and curves of ethnic achievements : website. – 2009. – URL: <https://nemtsov.ners.ru/articles/krivye-gumileva-i-krivye-etnicheskikh-dostizheniy.html> – January 16, 2022
6. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
6. Rabinovich M.I., Trubetskov D.I. Introduction to the theory of vibrations and waves. – M.: Nauka, 1984– 432 p.
7. Свиричев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии – М.: Наука, 1987. – 360 с.
7. Svirezhev Yu.M. Nonlinear waves, dissipative structures and catastrophes in ecology – M.: Nauka, 1987. – 360 p.
8. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология – М.: изд-во МГУ, 1980 – 464 с.
8. Fedorov V.D., Gilmanov T.G. Ecology – M.: Publishing house of Moscow State University, 1980 - 464 p.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Электричество и магнетизм // пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – т.5. – 608 с.
9. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. Electricity and magnetism // trans. from English – M.: Mir, 1980. – vol.5. – 608 p.
10. COVID Live – Coronavirus Statistics – Worldometers : официальный сайт. –Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries> (дата обращения: 19.11.2021)
10. COVID Live - Coronavirus statistics - World indicators : official website. -Updated during the day. - URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries> (accessed: 11/19/2021)
11. COVID – 19 – Our World in Data: официальный сайт. –Обновляется в течение суток. – URL: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer...> (дата обращения: 19.11.2021)
11. COVID - 19 - Our world in data: official website. -Updated during the day. – URL: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer...> (date of notification: 19.11.2021)
12. Heron A.C. Population ecology of a colonizing species: the pelagic tunicate *Thalia democratica*. – Oecologia, 1972, – vol.10. – Pp.91-97.