

Нелинейная физика в практике флота – рекуперация энергии при остановке

DOI 10.37663/0131-6184-2022-1-75-81

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

@ ndgay@mail.ru

Ключевые слова:

неустойчивость, кошель,
рекуперация энергии,
нелинейные явления,
катастрофа складки,
лагранжеан, га-милтониан,
бегущая волна, солитон,
цунами, лагранжевая динамика
пандемии коронавируса – 19,
модель типа бегущей волны
пандемии коронавируса – 19

Keywords:

instability, energy recovery,
nonlinear phenomena, fold
catastrophe, lagrangean,
hamiltonian, running wave,
soliton, tsunami, lagrangian
dynamics of the covid-19
coronavirus pandemic, a running
wave model of the covid-19
coronavirus pandemic

NONLINEAR PHYSICS IN FLEET PRACTICE – ENERGY RECOVERY AT STANDSTILL

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

Изучение проблемы нелинейных физических явлений на флоте, ряд из которых был уже исследован ранее [1; 2], обусловлен вопросами логистики, в частности – оптимизации процесса транспортировки кошель с грузом, наиболее оптимальным образом начать не с ее формализма – что впереди, а с анонса классической фразы известного физика Ф.Р. Фейнмана: «Одинаковые уравнения – одинаковые решения», которую он раскрывает в монографии [7].

Не приводя всех аспектов объяснения, кратко ограничимся лишь следующим: если явления действительности описываются одними и теми же матема-

тическими конструкциями, то они имеют близкую природу.

Актуальность проводимых исследований вызвана тем фактом, что, при обработке результатов прогона моделей различных тел в бассейне, особенно на массивных вариантах, было обнаружено расхождение экспериментальной траектории, как функцией от скорости, с траекторией, описываемой классической системой уравнений (1) – выделенные заливкой области на рисунке 1.

$$dS/dt = V,$$

$$(M+m(t,F))dV/dt = F - C_x V^2, \quad (1)$$

$$m(t,F) = m_0 + \Delta m(t)(1 - \text{Heaviside}(F))$$

$$\Delta m(t) = a/(1 + b(t - c)^n)$$

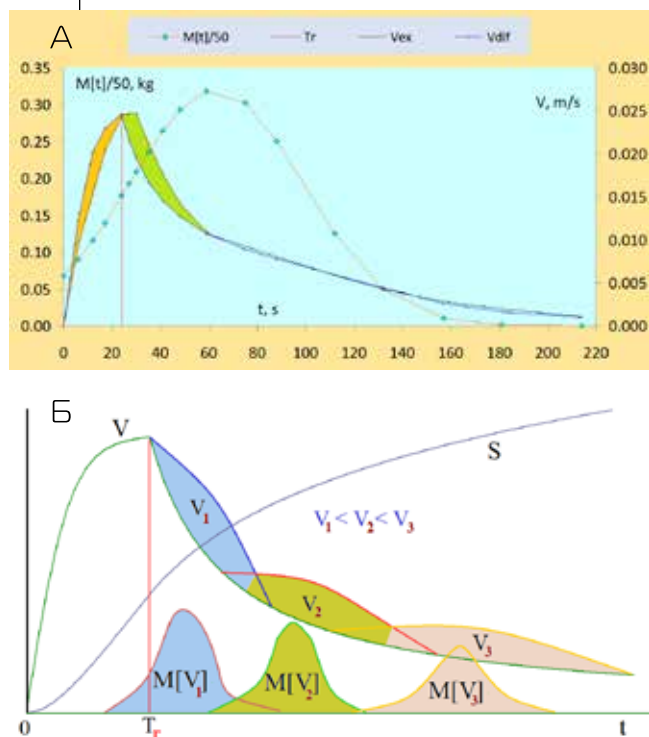


Рисунок 1. Результаты мониторинга, показывающие факт отклонения скорости движения тела от классического решения (а) и динамики присоединенной массы (б)

Figure 1. Monitoring results showing the fact of deviation of the body movement speed from the classical solution (a) and the dynamics of the attached mass (b)

где S , V , M , m , m_0 , $\Delta m(t)$, F , C – путь, скорость движения, масса и присоединенная масса кошеля, зависящая от характера действия силы F , присоединенная масса на стадии разгона, увеличение присоединенной массы на стадии инерции, сила и коэффициент силы сопротивления воды движению кошеля.

Отмеченная особенность привела к ассоциации с историей обнаружения солитона, которая, в соответствии с дайджестом «Доклада о волнах» шотландского физика Джона Скотта Рассела, заимствованного из свободного доступа в инете, имеет следующие основные черты.

В 1834 г. Рассел, наблюдая за перевозками небольших барж на конной тяге по каналу, соединяющему Эдинбург и Глазго, неожиданно

В работе рассмотрены два нелинейных явления, исследуемых в рамках теории катастроф, которые присутствуют в практике флота и относятся к различным сторонам логистики – рекуперация энергии, как «солитонная» тяга тела, и формальный образ актуального для настоящего времени влияния на все стороны функционирования флота пандемии Ковид – 19. Показано их соответствие катастрофам складки.

столкнулся с совершенно необычным явлением «Я следил за движением баржи, которую быстро тянула по узкому каналу пара лошадей, когда баржа неожиданно остановилась. Но масса воды, которую баржа привела в движение, собралась около носа судна в состоянии бешеного движения, затем неожиданно оставила его позади, катясь вперед с огромной скоростью и принимая форму большого одиночного возвышения – округлого, гладкого и четко выраженного водяного холма. Он продолжал свой путь вдоль канала, несколько не меняя своей формы и не снижая скорости. Я последовал за ним верхом и когда нагнал его он по-прежнему катился вперед со скоростью примерно 8-9 миль в час, сохранив свой первоначальный профиль возвышения длиной около тридцати футов и высотой от фута до полутора футов. Его высота постепенно уменьшалась – диссипация энергии – и после одной или двух миль погони я потерял его в изгибах канала».

Для проверки возможности аналогии явления, для объяснения дисбаланса скоростей в бассейне был поставлен натурный эксперимент аналогичный наблюдениям Рассела – модель, подобно барже, совершала перемещение, а затем останавливалась, упираясь в преграду. Поплавки, поставленные на кильватере, продолжали двигаться вслед за моделью, догнав ее, огибали с бортов и продолжали двигаться дальше. Естественно, что движение воды под дном модели было подобным таковому в случае баржи.

При этом результаты моделирования динамики присоединенной массы имели следующий вид, представляющий собой волну, проходящую вдоль модели – $M[t]/50$ (рис. 1).

Действительно, пока, по словам Рассела, «масса воды, которую баржа привела в движение, соберется около носа судна в состоя-

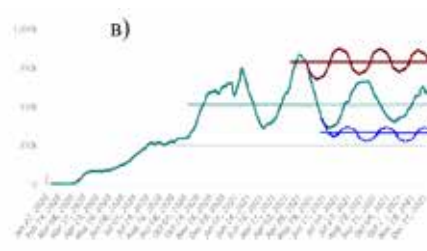
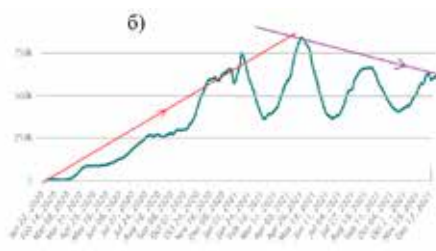
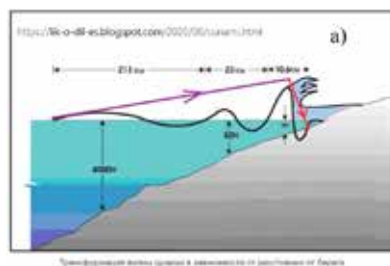


Рисунок 2. Сравнение параметров цунами и динамики инфицированных КВ-19 [10; 11]

Figure 2. Comparison of Tsunami parameters and dynamics of infected KV-19 [10; 11]

нии бешеного движения, затем неожиданно оставит его позади, катясь вперед с огромной скоростью и принимая форму большого одиночного возвышения», она должна пройти всю баржу по ее длине. Причем, баржа будет двигаться вперед по инерции, а вовсе не стоять на швартовах.

В связи с этим, целью данной работы, для иллюстрации последнего заключения, является исследование, из обширного списка явлений природной неустойчивости, имеющих нелинейную природу, на флоте, включая, как практику судовождения, так и другие стороны флотской действительности, попадающие под формальный образ теории катастроф и объекта ее исследований [4]: катастрофы сборки, которой описывается остойчивость корабля, двух феноменов:

1. Солитонная тяга тела – увеличение скорости на стадии торможения;

2. Инфекционное цунами, также имеющее природу бегущей волны, как и солитонная тяга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве экспериментальной базы используется прогон моделей в бассейне. К числу методов относятся результаты исследований по гидромеханике, теории катастроф.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ввиду того, что решение задачи (1) о влиянии бегущих волн, как цуга, так и уединенных – солитонов, на скорость тела в воде невозможно без представления их природы, перейдем к их более детальному феноменологическому, а затем и формальному описанию.

Реальной природной реализацией бегущих волн являются следующие, к сожалению, всемирно печально известные волны – океанологические цунами, широко известные даже на бытовом уровне. Их схема показана на рисунке 2.а и инет содержит множество их иллюстраций в свободном доступе, правда, в основной массе гротесковых [9].

Ко второму типу природной реализации бегущих волн можно с полной уверенностью отнести, также к сожалению, всемирно, но уже не печально, а трагически известные в последние 2 года 4 волны пандемии КВ-19, называемые в СМИ не иначе как инфекционное цунами, которое радикальным образом повлияло, как на логистику, так и на кадровое обеспечение флота и не только – всей Планеты. Его формальная иллюстрация, заимствованная в свободном доступе интернета из [10; 11], показана на рисунке 2.б.

Здесь интересными фактами, которые будут полезны для понимания особенностей формального описания, как КВ-19, так и самих бегущих волн, являются не только влияние пандемии на логистику флота, но также и обоюдное влияние логистики на КВ-19, имеющее исторические аналоги. Действительно, на рисунке 3 показана сопряженность путей португальских каравелл

XVI в. к Островам Пряностей, современная логистика в Индийском и Атлантическом океанах не столь значимо отличается от них, и сукцессии доминирующих штаммов КВ-19.

Обозрение иллюстраций, показанных на рисунках 2.а, 2.б и 2.в, вызывает внешне законный вопрос об отношении рисунка 2.а к рисунку 2.б. Ответом служат результаты обстоятельного мониторинга того и другого типа цунами, показывающие следующую картину распределения амплитуды волн – рисунок 2.а [9]. Здесь много обратной в плане направления движения аналогии с динамикой инфицированных КВ-19 (рис. 2.б) [10].

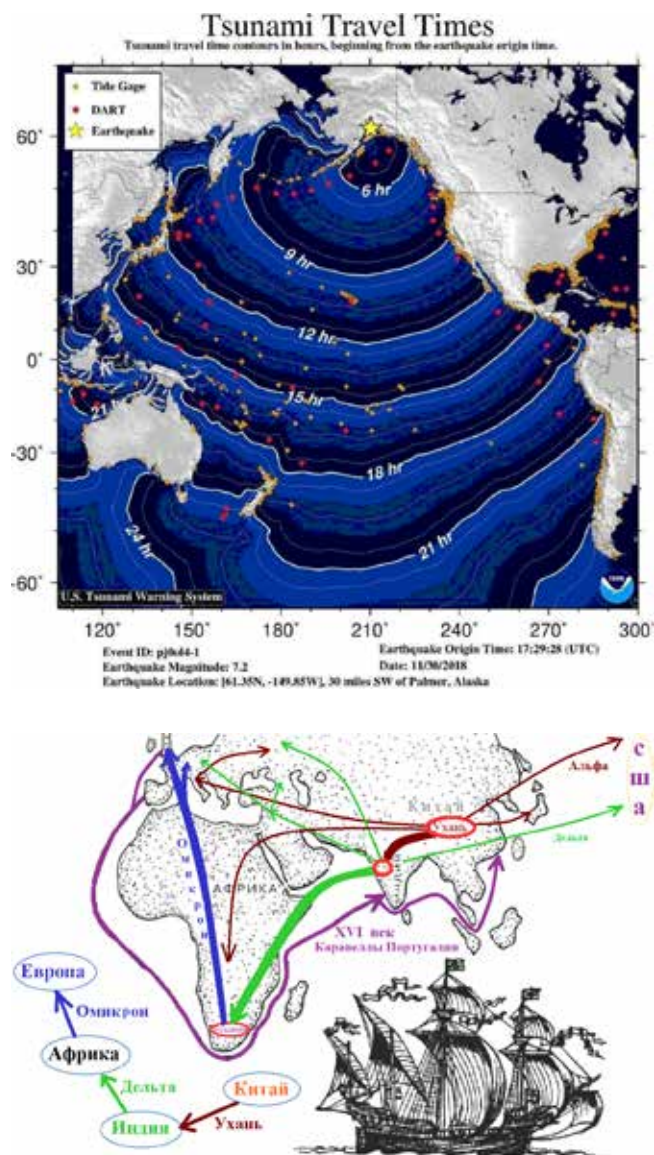


Рисунок 3. Сопряженность масштабов распространения океанологического цунами [12], путей португальских каравелл, сукцессии и пути распространения доминирующих штаммов КВ-19 [инет свободный доступ]

Figure 3. Correlation of the scale of the oceanological tsunami spread [12], the paths of Portuguese caravels, succession and the path of distribution of the dominant strains of KV-19 [Internet free access]

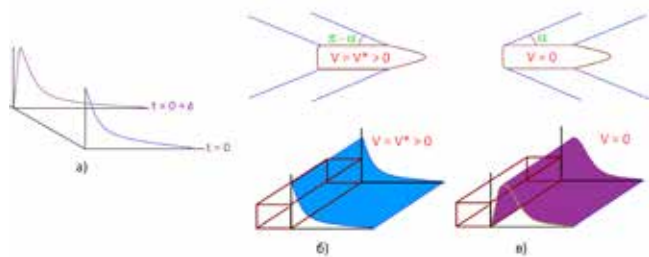


Рисунок 4. Гидродинамическая картина событий образования солитона

Figure 4. Hydrodynamic picture of soliton formation events



Рисунок 5. Интерпретация психологических феноменов в рамках теории катастроф (инет свободный доступ)

Figure 5. Interpretation of psychological phenomena within the framework of the theory of catastrophes (Internet free access)

Действительно, нарастание амплитуды цуга волн, движущихся от начальной точки – фиолетовая линия – и резкий обвал после достижения максимума – красная линия – океанологического и полная противоположенность инфекционного – практически линейный без значимых колебаний подъем – красная линия – и стабильные или медленно затухающие колебания – фиолетовая линия.

Далее, имеется следующий факт: волны океанологического цунами относительно безопасны в открытом море и страшны на мелководье; инфекционного – во время выхода эпидемии на плато.

Кроме того, аналогичные феномены, подобных перечисленным типам бегущих волн, возникают и в других областях физики, например, бесстолкновительные ударные волны в теории разреженной плазмы [3], которые показывают как возможность, так и экспериментальное наличие более сложных вариантов динамики амплитуд – два уровня (рис. 2.в), чем представленное на рисунке 2.б.

Здесь необходимо упомянуть следующее. Д.Ж. Рассел, по неизвестным причинам, не отражает наличие более мелкого цуга волн, которые весьма вероятны для феномена бегущих волн позади фронта передней доминирующей волны (рис. 2.а). По всей вероятности, это произошло из-за того, что его внимание было сосредоточено только на 4-х метровом участке локализации, так называемом переводчиком, холма.

Гидродинамическая картина событий, происходящая в ситуации, представленной Д.Ж. Расселом, полученная также на модельном эксперименте показана на рисунке 4. В момент времени $t = 0$, когда тело движется со скоростью $V^* > 0$, наблюдается распределение скоростей вдоль его борта, показанное в нижней части рисунка 4.б; при остановке тела за очень короткий, но все же не нулевой интервал времени Δ (рис. 4.а), что полностью соответствует распределению скоростей в пограничном слое [1]. Получается совершенно иное распределение скоростей (рис. 7.в), где образуется пик скорости, для динамики которого в одномерном случае справедливо уравнение Бюргерса, а в двухмерном – уравнение Кадамцева-Петвиашвили [3].

При сравнении направления волн на рисунке 4.б и рисунке 4.в обнаруживается полная тождественность, как катастрофическому переходу на рисунке 5, так и уравнению (7.2), описывающему потенциал катастрофы складки.

Отмеченная структура бегущих волн и особенно феномен обрушения волны входит в широкий класс явлений и процессов, являющихся объектами изучения теории катастроф или теории особенностей дифференцируемых отображений, восходящей еще к А. Пуанкаре.

Теория катастроф в современном понимании имеет своей целью вовсе не прикладное построение экзотических геометрических образов и привязки их к тем или иным жизненным процессам (рис. 5), что, впрочем, имеет не только несомненный познавательный аспект, но также и дает вектор направления исследований.

Например, для иллюстрации, с помощью геометрического образа, поверхности, перевернутой на 90° катастрофы складки, того факта, что для достижения высоких успехов одной увлеченности недостаточно, необходим и определенный талант (рис. 5).

Реальной целью теории катастроф является нечто совсем иное – детерминация и анализ необходимого и достаточного образа тех энергетических поверхностей – потенциалов, которые определяют динамику ряда исследуемых практических процессов, где движение может идти только так и не иначе. Причем, сложность динамики заключается в том, что реакция объекта уже не пропорциональна приложенной силе.

Обратимся к формальному описанию бегущих волн. Как будет показано ниже, общность формального описания солитонной тяги тела инфекционного цунами, на основе феномена бегущих волн, обусловлено тем конкретным фактом, что, при использовании уравнения

Кортевега – де Вриза [3; 5] для описания бегущих волн, появляется потенциал, аналогичный правой части выражения (6.13) и, тем самым, определяется эквивалентность катастрофе складки.

Кроме того, использование формального аппарата, касающегося описания бегущих волн, позволяет отразить более фундаментальные и глубокие механизмы реальных процессов, чем специальные частные методы, примером которых является конструктивное решение задачи (1), касающееся определения параметров a, b, c, n , входящих в (1.4) и описывающих динамику присоединенной массы, представляющую, в нашем случае, как минимум солитон, по словам Рассела, а по всей вероятности – и весь цуг волн, подобный таковому на рисунке 6. а, в виде решения задачи минимизации неувязки расчетной и экспериментальной траекторий динамики модели.

Естественно, у автора работы имеется полное понимание того факта, что влияние остаточного кильватерного течения, определяющего солитон, на скорость тела при торможении, в строгой форме необходимо определять путем совместного решения системы (1) и уравнения (3.10) или (4.11), где выражение (1.2) задает граничные условия для (3.10) – (4.11) на левом конце. Однако данный подход является весьма ресурсоемким и поэтому целесообразность его использования является не актуальной, в сравнении с вышеупомянутым решением задачи минимизации.

Продолжим анализ общности океанологического и инфекционного цунами. Здесь, подобно введению, вновь оказывается полезным классическое высказывание Ф.Р. Фейнмана: «Одинаковые уравнения – одинаковые решения» [7], и в качестве подтверждения этого приведем обобщенное уравнение (2), представляющее собой линейную комбинацию двух других классических уравнений – Бюргерса (3) и Кортевега – де Вриза (4) [3; 5].

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

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

$$\partial v / \partial t + v \partial v / \partial x + v \partial^3 v / \partial x^3 = 0, \quad (4)$$

где $t, x, v = v(t, x)$, v, β – время, путь, скорость волн, коэффициенты вязкости (аналог диффузии) и дисперсии среды.

Рассмотрим феноменологический смысл, введенных выше, независимых переменных t и x и параметров v и β . Наиболее актуальным здесь является путь x . Его наглядной иллюстрацией является рисунок 3, где показана планетарная соизмеримость протяженностей океанологического цунами и КВ-19.

Далее, смысл параметров v и β сильно зависит от области решаемой задачи. Например, v в гидродинамике отражает вязкость, а при выравнивании концентраций субстанции – это коэффициент диффузии вещества. В теории электрических цепей v характеризует потери на нагрев проводов

от сопротивления, β – потери на электромагнитную индукцию.

Формальная суть коэффициентов v и β к сглаживанию при диффузии v произвольных кривых второго порядка до горизонтальных прямых – констант, а при дисперсии β – кривых третьего порядка до горизонтальных прямых.

Кроме того, при выводе уравнения (5) β приобретает смысл v , а v отражает сдвиг, а не разравнивание.

Далее, вводя переменную $\xi = x - \lambda t$, отражающую единство пространства и времени, из (2) получим

$$\partial / \partial t [\beta \partial v^2 \partial \xi^2 - v \partial v / \partial \xi - \lambda v + 1/2 v^2] = 0$$

или, что эквивалентно,

$$\beta \partial v^2 \partial \xi^2 - v \partial v / \partial \xi - (\lambda v - 1/2 v^2) = A = \text{const} \quad (5)$$

Если в (5) положить, без потери общности, $A = 0$ – отсутствие постоянного источника, то получим классическое уравнение типа «реакция = λ – конвекция = v – диффузия = β », которое полностью включает все процессы распространения эпидемии [6]: «конвекция – односторонние местные и международные перемещения» и «диффузия – перекрестные и встречные перемещения, как внутри зданий, так и местные и международные»

$$\beta \partial v^2 \partial t^2 - v \partial v / \partial t - \lambda v (1 - v/2\lambda) = 0 \quad (6)$$

$$\beta \partial v^2 \partial t^2 - v \partial v / \partial t + \lambda v (1 - v/2\lambda) = 0$$

Причем, отличие в формальном описании для океанологического и инфекционного цунами за-

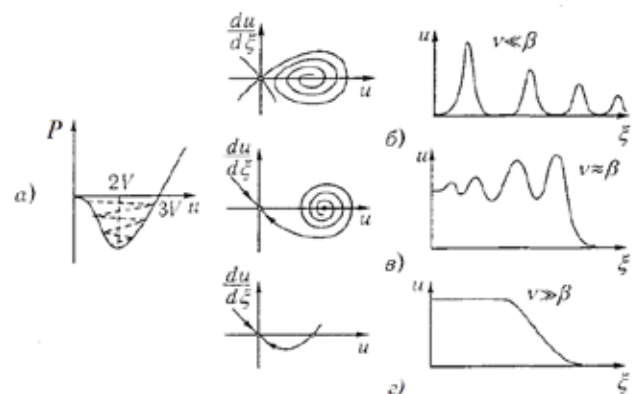


Рисунок 6. Вид «потенциальной ямы Р»:

а) фазовые портреты и картины распространения ударных волн для различных значений v ; б) $v \ll \beta$ – в волне нелинейных осцилляций; в) $v \approx \beta$; г) $v \gg \beta$ – ударная волна без осцилляций [5] для уравнения (6.1) при заменах $V = \lambda$ и $u = v$

Figure 6. View of the "potential pit P": а) phase portraits and patterns of shock wave propagation for various values of v ; б) $v \ll \beta$ – in a wave of nonlinear oscillations; в) $v \approx \beta$; г) $v \gg \beta$ is a shock wave without oscillations [5] for equation (6.1) with substitutions $V = \lambda$ and $u = v$

ключаются только в противоположенности знака λ или направления движения волны – выражения (6.1) и (6.2), что уже было отмечено при описании рисунка 2 и ярко проявляется на фазовых портретах двух типов цунами (рис. 9).

Для уравнения (5) или (6), если уподобить ξ времени t [3] и положить диссипативную функцию $F = f(\partial v / \partial \xi)$, которая, в нашем случае, имеет вид $2F = v(\partial v / \partial t)^2$, равной 0, то существует вариационная форма выражения в виде Лагранжа L (7), представляющего собой разность кинетической E и потенциальной энергии P , графический образ которого для океанического цунами показан на рисунке 6.а, заимствованном из [5]. Для анализа инфекционного цунами, в связи с изложенным выше, необходимо обратить по горизонтали правые части (рис. 6.б, 6.в, 6.г), а на левых частях направить движение в обратную сторону.

$$2L = 2E - 2P = \beta(\partial v / \partial \xi)^2 - (v^3/36 - \lambda v^2) \quad (7)$$

$$E = 1/2\beta(\partial v / \partial \xi)^2, P = v^3/6 - \lambda v^2/2$$

При $|F| > 0$ уравнение (6) можно представить в виде уравнения Лагранжа второго рода (8).

$$\partial L / \partial v - d/dt\{\partial L / \partial [\partial v / \partial \xi]\} = \partial F / \partial [\partial v / \partial \xi] \quad (8)$$

Кроме лагранжиана (7) для уравнений (6), при $F = 0$, можно предложить гамильтониан $H = E + P$, представляющий собой полную энергию обоих типов цунами.

В уравнении (6) вместо переменной ξ , отражающей принятую в теоретической физике концепцию единства «пространства x – времени t » и оказывающуюся весьма полезной при решении более реальных проблем, связанных с пандемией КВ-19, использована переменная t – временная.

Это вполне оправдано для описания, как мировой динамики КВ-19, так и внутригосударственной – авиация, морской, железнодорожный и автомобильный транспорт, практически нивелируют расстояние x , начиная от межконтинентальных перемещений и кончая распо-

странением в миллионах населенных пунктов статуса сельсовета.

Рассмотрим эпидемиологический смысл уравнения (6.2). Член, стоящий в левой части, отражает диффузию – разравнивание по пространству (в нашем случае – это прямая) при коэффициенте диффузии β ; первый член в правой части описывает перемещение с одного конца области в другой со скоростью v ; второй член в правой части – интенсивность инфицирования со скоростью λ и емкостью среды $1/2\lambda$.

Кроме того, при $\beta = 0$ и $v < 0$ или при $\beta = v \neq 0$ уравнение (6.2) представляет собой классическое уравнение Ферхюльста (9) [6], решением которого является логистическая кривая (9.2), отражающая число инфицированных $v(t)$ (рис. 7), кривая Ferh.

$$dv/dt = bv(1 - v/K), \quad (9)$$

$$v(t) = KV_0 e^{bt} / [K + V_0(e^{bt} - 1)] = K[1 + \text{th}(b(t - t_0)/2)]/2$$

где b , K – скорость роста численности популяции, емкость среды.

ВЫВОДЫ

Здесь мы не будем приводить как результаты конкретного моделирования КВ-19, так и их анализ. Это специальный вопрос, требующий как более продолжительного мониторинга, так и отдельного, развернутого исследования, а ограничимся только следующими замечаниями:

1. Все, выше рассмотренные, результаты, включая колебания на рисунке 6, были получены для постоянных значений β , v и λ ; моделирование реальной пандемии (рис. 7) показало необходимость использования переменных во времени значений β , v и λ для отдельных ее стадий, которые рассмотрим ниже;

2. Как видно из рисунка 8, принципиальное различие океанологического и инфекционного цунами состоит, помимо иных феноменологических особенностей, относящихся к различным областям науки, только в направлении процесса. Что реализуется как в зеркальном отражении по вертикали, так и в положении начальной и конечной точек динамики; на рисунке 6 на всех фазовых портретах направление движения необходимо изменить на обратное, а картины распространения ударных волн отразить по горизонтали (рис. 7);

3. В начальный период пандемии, до 41 недели, определяющими процессами была конвекция и диффузия, и процесс шел практически по уравнению Ферхюльста (9); Зависимость динамики КВ-19 от β -интенсивности хаотического перемещения между странами явственно следует из уравнения (7), если в нем положить $\beta \rightarrow \infty$, которое преобразуется в (10), имеющее своим решением прямую линию:

$$\beta \partial^2 v / \partial t^2 = 0 \leftrightarrow v = kt + c, c = v(0) \quad (10)$$

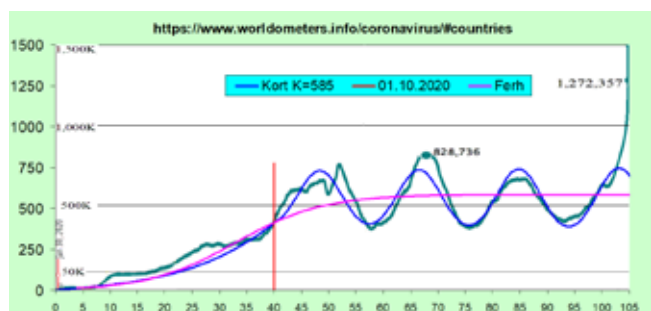


Рисунок 7. Иллюстрация адекватности модели КВ-19 результатам мониторинга [10; 11]

Figure 7. Illustration of the adequacy of the KV-19 model to monitoring results [10; 11]

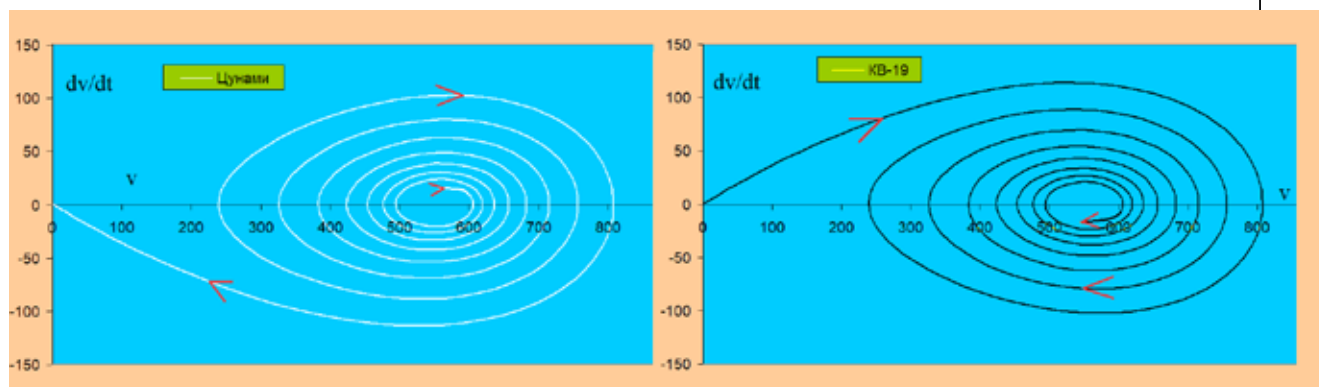


Рисунок 8. Фазовые портреты океанологического и инфекционного цунами

Figure 8. Phase portraits of oceanological and infectious tsunamis

4. После 41 недели повысился вклад «реакции» – член β , v и $\lambda v(1 - v/2\beta, v$ и $\lambda)$ и начались вовсе не сезонные колебания, а автономные, аналогичные математическому маятнику при постоянных значениях β , v и λ , говорящих о квазипостоянной скорости мутаций KB-19;

5. До 100 недели динамика KB-19 (рис. 7) шла по типу обратному, показанному на рисунке 6.в, и соответствовала фазовому портрету рисунка 8. После появления штамма Омикрон тип динамики KB-19 изменился на тип, обратный показанному на рисунке 6.б. На 31.12.21 г. сглаженное количество заражений превысило прежний максимум от 29.04.21 в 828735 практически в 3/2 раза, достигнув 1 млн 272 тыс.357.

Использование нелинейной физики имеет значимую эффективность для объяснения сложных практических явлений. Причем ее основная задача состоит не в том, чтобы «до последнего листочка посчитать число листьев на дереве», для этого есть другие области математики, а для того, чтобы «увидеть лес за деревьями» – основной фрейм проблемы.

Вся сложность проблемы, рассмотренных выше примеров, заключается в том, что реакция объекта уже не пропорциональна приложенной силе, что ярко показано, как для двух типов цунами, так и для увеличения скорости тела при торможении. Последний феномен, путем сокращения времени буксировки, приносит известную экономию топлива и позволяет более эффективным образом построить перевозки.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Гайденок Н.Д. Определение коэффициента сопротивления тралов гидравлично-математическим методом // Рыбное хозяйство. – 2021. – № 2. – С 70-76. DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
1. Gaidenok N.D. Determination of the drag coefficient of trawls by the hydraulic-mathematical method // Fisheries. - 2021. - No. 2. - 70-76 p. / DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
2. Гайденок Н.Д. Об использовании геометрии и механических особенностей в алгоритме расчета упора гребных винтов корабельных движителей // Рыбное хозяйство. – 2021. – № 5. – С 107-113. DOI 10.37663/0131-6184-2021-5-107-113
2. Gaidenok N.D. On the use of geometry and mechanical features in the algorithm for calculating the propellers of ship propellers // Fisheries.

- 2021. - No. 5. - 107-113p. DOI 10.37663/0131-6184-2021-5-107-113

3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса – М.: Наука, 1988 – 308 с.

3. Zaslavsky G.M., Sagdeev R.Z. introduction to nonlinear physics: from the pendulum to turbulence and chaos - M.: Nauka, 1988 - 308 p.

4. Постон Г., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения // пер. с англ. – М.: Мир, 1980 – 608 с.

4. Poston G., Stewart I. The theory of catastrophes and its applications // trans. from English - M.: Mir, 1980 - 608 p.

5. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984. – 432 с.

5. Rabinovich M.I., Trubetskov D.I. Introduction to the theory of vibrations and waves. - M.: Nauka, 1984 - 432 p.

6. Свиричев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии – М.: Наука, 1987. – 360 с.

6. Svirezhev Yu.M. Nonlinear waves, dissipative structures and catastrophes in ecology - M.: Nauka, 1987. - 360 p.

7. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Электричество и магнетизм // пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – т.5. – 608 с.

7. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. Electricity and magnetism // trans. from English - M.: Mir, 1980. - vol.5. - 608 p.

8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Физика сплошных сред // пер. с англ. – М.: Мир, 1980 – т.7. – 300 с.

8. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. Physics of continuous media // trans. from English - M.: Mir, 1980 - vol. 7. - 300 p.

9. Тайна Природы сайт про природные явления и интересные места на земле > Главная > В гидросфере > Цунами: сайт. – 2020. – URL: <https://tainaprirody.ru/gidrosfera/tsunami> (дата обращения: 19.11.2021).

9. The Mystery of Nature website about natural phenomena and interesting places on earth > Home " In the hydrosphere " Tsunami: website. - 2020. - URL: <https://tainaprirody.ru/gidrosfera/tsunami> (accessed: 11/19/2021).

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...> (accessed: 19.11.2021)

12. Tsunami Warning System United States Department of Commerce - from site: <https://www.tsunami.gov/NOAA/> / National Weather Service U.S. Tsunami Warning System (дата обращения: 19.11.2021)