© Е.С. Ткаченко, А.Е. Ткаченко, 2008

УДК 531: 534

Е.С. Ткаченко, А.Е. Ткаченко

ДВОЙСТВЕННАЯ ПРИРОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

Семинар № 4

Русским физиком – теоретиком Н.А. Умовым [1] были впервые сформулированы представления относительно движения энергии в средах, скорости этого движения, вектора плотности потока энергии упругих волн. Важнейший вывод из этих исследований заключается в том, что передача механической энергии от одного тела к другому осуществляется механическими волнами.

«Механическими (упругими) волнами называются механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде. Упругие волны называются звуковыми или акустическими, если в упругой среде распространяются слабые возмущения, т.е. соответствующие им механические деформации среды имеют малые амплитуды» [2].

«Все реальные твердые тела даже при малых деформациях в большей или меньшей степени обладают пластическими свойствами. При некоторых условиях пластическими свойствами тел можно пренебречь, как это делается в теории упругости» [3]. На наш взгляд, упругими свойствами обладает не волна, а материал, по которому она распространяется. Кроме того, в действительности механическая волна распространяется во всех материалах независимо от их физико-механических свойств, поэтому в настоящей работе будет рассматриваться движение волн в реальных средах. По указанным причинам ниже будет использоваться термин «механическая волна».

Принимая результаты исследований [1] по передаче механической энергии волнами за основу, нами экспериментально было выявлено, что при распространении механическая (материнская) волна каждый период колебаний совершает пульсацию, а в процессе пульсации рождает дочернюю механическую волну [5-7]. Дочерние механические волны производят в материалах необратимые деформации, а при достижении определенных условий разрушают его [4, 5], осуществляют массоперенос частиц жидкости, и их изучение позволяет объяснить ряд других явлений [4-8].

Волновые уравнения занимают весьма важное место в теории волновых процессов. Путем анализа простейших волновых зависимостей покажем ту роль, которую играют дочерние возмущения в волновом процессе.

1. Волновые уравнения. Стоячие волны. Любая функция от аргумента ($t - x/\upsilon$) выражает распространение возмущения со скоростью υ

$$\xi(x, t) = f(t - x/\upsilon), \qquad (1)$$

где ξ - смещение частиц среды; x и t – координата и время; υ - фазовая скорость возмущения.

Важную роль среди различных волн играет гармоническая волна, которая имеет амплитуду а и циклическую частоту ω

$$\xi (x, t) = a \cos \omega (t - x/\upsilon). \qquad (2)$$

Гармоническую волну в более удобном и простом виде принято записывать

$$\xi = a\cos(\omega t - кx), \qquad (3)$$

где $к = \omega/\upsilon = 2\pi/ T\upsilon = 2\pi \lambda$ - волновое число; T - период; λ - длина волны.

Запишем дифференциальные уравнения в частных производных, связывающие изменения функций, характеризующих волну во времени и пространстве для волны типа (1), где ее фаза $\varphi = (t - x/\upsilon)$. Тогда

$$\partial\xi/\partial t = \xi'_{\varphi}; \qquad (4)$$

$$\partial \xi/\partial x = - \xi'_{\varphi}/\upsilon. \qquad (5)$$

Затем, сопоставив полученные выражения (4) и (5), можно записать [9]

$$\partial \xi/\partial x = (- 1/\upsilon) \cdot \partial \xi/\partial t \qquad (6)$$

$$\text{или } \varepsilon = - \upsilon_x /\upsilon, \qquad (7)$$

где $\partial \xi / \partial x = \varepsilon$ - относительная деформация среды; $\partial\xi/\partial t = \upsilon_x$ – колебательная скорость движения частиц среды, которая на основании исследований [5-7] приравнивается к скорости распространения дочерней механической волны υ_d ,т. е. ($\upsilon_x = \upsilon_d$). Тогда

$$\varepsilon = - \upsilon_d / \upsilon, \qquad (8)$$

а для волн, распространяющихся как в положительном, так и в отрицательном направлении оси x, можно записать

$$\partial \xi/\partial x = (\pm\varepsilon/\upsilon_d) \cdot \partial \xi/\partial t. \qquad (9)$$

Уравнение (9) является простейшим волновым уравнением. Физический смысл уравнений (8) и (9) заключается в следующем. Механическая волна обладает двумя движениями, создающимися материнским (υ) и дочерним (υ_d) возмущениями, причем из зависимостей следует, что деформация переносится дочерними возмущениями. Поскольку фазовая скорость механической волны (υ) принимается константой для каждого конкретного материала, то тогда (9) является простейшим дифференциальным уравнением дочерней продольной механической волны.

Отмеченный факт можно подтвердить, например, при анализе стоячей волны, образованной бегущими навстречу друг другу механическими волнами. Пусть две гармонические волны с такими же характеристиками частоты и амплитуды распространяются навстречу друг другу по оси x

$$\xi_1 = a \cos (\omega t - к x)$$

и $\xi_2 = a \cos (\omega t + к x)$.

При наложении возмущений получаем

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = A \text{ сщы } кx \text{ сщы } \omega \text{ еб} \qquad (10)$$

где A = 2 a.

Выражение (10) есть уравнение дочерней стоячей механической волны, что следует исходя из следующего. «Упругие волны не возмущают друг друга: колебания частиц среды оказываются векторной суммой колебаний, которые совершали бы частицы при распространении каждой из волн в отдельности» [9]. Механические волны не взаимодействуют между собой, следовательно, и создать стоячую волну они не могут. В работах [4-8] показано, что колебания частиц среды осуществляют дочерние волны, поэтому зависимость (10) следует относить к дочерним волнам, поскольку величины ξ и а являются параметрами дочернего возмущения, при этом частота у материнской и дочерней волн одинакова.

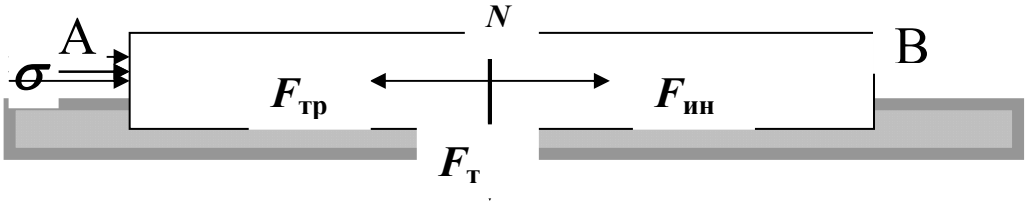

Рис. 1. Силы, действующие на брус при устранении внешнего давления σ: $F_{тр}$ - сила трения; $F_{ин}$ - сила инерции; $F_т$ - сила тяжести; N - сила реакции опоры

При анализе явления образования стоячей волны нетрудно видеть, что появление у встречных механических волн многочисленного ряда пучностей и узлов возможно только в том случае, если механические волны каждый период колебаний совершают пульсации [6-7]. Поэтому явление образования стоячей волны бегущими механическими волнами является неопровержимым доказательством факта, что механическая волна в каждый период колебаний пульсирует, а в процессе пульсации рождает дочернюю механическую волну.

Полученные в работах [4-7] результаты предоставляют возможность использовать дочерние волны для изучения природы сил инерции и рассмотрения формулировки второго закона Ньютона в волновом виде.

2. О природе сил инерции «Явление сохранения движения тела при отсутствии внешних воздействий называется инерцией» [10]. Рассмотрим влияние сил инерции на движущийся прямоугольный брус из песчаника, имеющего плотность ρ = 2600 кг/м^3, с размерами 0,3*0,3*100 м по стальной поверхности. На рис. 1 показано, как равномерно распределенная нагрузка прикладывается к торцу бруса по направлению его движения. Брус массой 23400 кг разгоняется до определенной скорости, и затем нагрузка убирается.

Для того чтобы сдвинуть брус требуется приложить усилие F, равное или превышающее силу трения $F_{тр}$. Основной закон динамики для бруса с массой m и ускорением a запишется

$$ma = F_т + N + F_{тр} + F_{ин}, \qquad (11)$$

где $F_т$ - сила тяжести; N – сила реакции опоры; $F_{ин}$ – сила инерции.

В проекции сил на оси координат получим

$$ma = F_{ин} - F_{тр}.$$

$$0 = N - F_т \qquad (12)$$

Величина модуля силы трения будет

$$F_{тр} = \mu N = \mu\, m\, g = 48{,}2 \cdot 10^3\ H, \quad (13)$$

где g - ускорение свободного падения; μ - коэффициент трения скольжения (μ = 0,21).

Прежде чем приступить к выявлению природы сил инерции, произведем оценку скорости дочерних механических волн, распространяющихся по брусу. Для достижения этой цели следует приложить к брусу такое усилие, которое позволило бы для решения задачи применять уравнения из механики деформируемого тела. Поэтому, увеличив величину рассматриваемого усилия, например, в 100 раз, получим $F = 48{,}2 \cdot 10^5\ H$.

Величина давления равномерно распределенной нагрузки на торец бруса составит

$$\sigma = \frac{F}{S} = 53{,}5 \cdot 10^6 \text{ Па}, \qquad (14)$$

где S – площадь торца бруса; σ - равномерно распределенная нагрузка (предел прочности песчаника на сжатие равен 24 $\cdot 10^7$ Па). Значение модуля Юнга (E) для бруса, скорость распространения механической волны (υ) в котором равна 3500 м/с, будет

$$E = \upsilon^2 \rho = 3{,}2 \cdot 10^{10} \text{ Па}. \qquad (15)$$

Величину относительной деформации бруса перед моментом устранения нагрузки получим из выражения

$$\varepsilon = \sigma/E = 16{,}7 \cdot 10^{-4}. \qquad (16)$$

Определение средней скорости движения дочерних волн υ_d можно производить по зависимостям (8) и

$$P_{изб} = \rho \cdot \upsilon \cdot \upsilon_d, \qquad (17)$$

где $P_{изб}$ – избыточное давление, производимое дочерними возмущениями; ρ - плотность материала.

Работоспособность зависимости (8) для твердых тел проверена на образцах из различных материалов в условиях одноосного сжатия от начала незначительного пригружения образцов до их разрушения [4, 5]. В жидкой среде (воде) зависимостью (17) можно пользоваться в диапазоне давлений от 0,347 до 600 МПа [6, 7].

Для нашего случая результирующую скорость движения дочерних механических волн (υ_d) по брусу оценим по зависимости (8), откуда получим υ_d = 5,9 м/с.

Далее покажем, каким образом кинетическая энергия $W_к$ и потенциальная энергия упругой деформации $W_п$ будут реализовываться в виде дочерних волн нагрузки и разгрузки, принимая во внимание результаты работ [4-8]: механические волны при переходе из одной среды в другую (от одного тела к другому), при отражении от преград и в каждый полный период колебаний пульсируют и генерируют дочерние механические волны.

При получении импульса от внешней нагрузки по брусу от торца А к торцу В будет распространяться механическая волна со скоростью 3500 м/с. Пусть брус получает нагрузку от привода, работающего от сети переменного тока, тогда энергия на образец должна поступать с частотой (ν) 50 Гц. Фактически энергия будет поступать с частотой ~ 36 Гц (причина снижения частоты будет рассмотрена ниже). Механическая волна за время 0,029 с пройдет расстояние, равное 100 м, и произведет две пульсации: одну – у торца А, другую – на расстоянии 97,2 м от торца А. В местах пульсации возникнут дочерние механические волны. После устранения внешней нагрузки последняя дочерняя волна нагрузки, отошедшая от торца А, при средней скорости υ_d = 5,9 м/с и длине волны $\lambda_d = \upsilon_d / \nu$ = 0,16м может распространяться по образцу в течение 17,2 с. Следует иметь в виду, что в это же время по брусу еще будут продолжать продвигаться дочерние возмущения, образованные предыдущими волнами.

Кроме того, от торца А в направлении торца В за последней волной нагрузки начинают двигаться со скоростью звука механические волны разгрузки. Происходит упругое восстановление длины бруса, близкое к первоначальному размеру. Волновой процесс разгрузки связан с выделением восстанавливающимися слоями материала механической энергии. Эта энергия и служит движущей силой волн разгрузки. Механические волны разгрузки отличаются от волн нагрузки тем, что головной

частью волн в этом случае будут не полуволны сжатия, а полуволны разряжения. В процессе своего распространения волны разгрузки также пульсируют и генерируют дочерние волны разгрузки.

Так как разгрузка бруса осуществляется порциями, то вслед за первой разгрузочной дочерней волной, отошедшей от торца А, будут следовать и другие аналогичные дочерние волны, пока не закончится разгрузка. Из соображений симметрии можно утверждать, что частота дочерних волн разгрузки будет соответствовать частоте распространения дочерних волн нагрузки.

Для пояснения действия дочерних волн разгрузки приведем следующий пример. Стальной шарик массой 0,014 кг сбросим, например, на плитку кафельного пола с высоты 1 м. Шарик отскочит от пола на высоту ≈ 0,8 м. Кинетическая энергия шарика в результате соприкосновения его с полом трансформируется в потенциальную энергию упругой деформации. Реализация последней энергии осуществляется в виде механических волн разгрузки. За счет реализации упругой энергии, накопленной шариком, он должен бы подняться от пола на высоту 0,8 м со скоростью 5600 м/с, что не реально. На отметку 0,8 м шарик поднимается со средней расчетной скоростью υ_p = 4,5 м/с, что нетрудно определить по зависимостям $W_п = mgh$ и $W_к = m\upsilon_p^2/2$. По экспериментальной оценке скорость движения шарика от момента удара до его перемещения на высоту 0,8 м получилась $\upsilon_э \approx 4{,}5$ м/с. Поскольку нами показано, что результирующая скорость массопереноса частиц дочерними волнами равна скорости движения тела ($\upsilon_d = \upsilon_p$), следует признать факт перемещения шарика вверх дочерними волнами разгрузки.

Из приведенного примера напрашивается вывод о том, что энергия дочерних волн разгрузки и у бруса должна значительно превышать энергию дочерних волн нагрузки на момент, когда брус начал двигаться свободно. В действительности, при ударе шарика интенсивность волн всегда является выше, чем при статическом нагружении бруса. При ударе частота передачи энергии изменяется от 20 до 70 Гц [11]. Частота передачи энергии в брусе, равная 36 Гц, близка или может быть равна частоте, которая присутствует при ударе. При ударных процессах значения амплитуд у дочерних волн выше, чем при статическом нагружении.

Более подробно указанное явление здесь не рассматривается, поскольку на первоначальном этапе нас интересует принципиальное решение вопроса. В работе так же не рассматриваются отраженные дочерние волны нагрузки и разгрузки, которые имеют незначительную интенсивность вследствие большого значения коэффициента затухания волн в песчанике, равном 0,204 $м^{-1}$ [12], и поэтому ими на данном этапе можно пренебречь.

Произведем оценку расстояния ($L_и$), на которое переместится брус за счет сил инерции. На основании вышеприведенного можно установить связь между работой $A_и$, затраченной на перемещение бруса после прекращения действия внешних сил, и полной энергией, которой обладает брус в процессе движения по инерции

$$W_к + W_п = m\upsilon_d^2/2 + E\varepsilon^2 V/2 = A_и = F L_и, \qquad (17)$$

где V – объем бруса.

По уравнению (17) вычисляем значение $L_и$= 0,17 м.

Таким образом, совместное действие дочерних волн нагрузки и разгрузки заставляет двигаться брус по инерции,

причем природа возникновения сил инерции в твердых телах заключается в существовании распространяющихся в материалах дочерних механических волн. Следует особо отметить одно важное следствие из представленных исследований: **если дочерние механические волны производят перемещение тела после прекращения действия внешних сил, то нетрудно видеть, что указанные волны осуществляют перемещение тела и во время приложения внешних сил.**

3. Формулировка второго закона Ньютона в волновом виде. Предположим, что возникновение дочерних волн связано с импульсом силы и количеством движения. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Импульс – толчок, побуждение, стремление; побудительная причина. В физике используется определение «импульс» как: мера механического движения (количество движения); мера действия силы (импульс силы); однократное возмущение, распространяющееся в среде (импульс волновой)… [13]. Для системы соударяющихся тел мгновенные силы являются внутренними силами, их импульсы за время τ (продолжительности удара) называются мгновенными импульсами [14]. Кроме того, следует заметить, что существуют импульсы и при взрывных работах, на которые указывают многие исследователи [15]. На наш взгляд, все указанные импульсы являются сутью одного и того же явления, связанного с пульсацией механической волны.

В одном из вариантов второй закон Ньютона формулируется как первая производная по времени от импульса (P_i) материальной точки (количества движения), равная действующей на нее силе

$$\frac{d\boldsymbol{P}_i}{dt} = \boldsymbol{F}_i \qquad (18)$$

или $$\frac{d}{dt}(m_i \cdot \upsilon_i) = F_i\,, \qquad (19)$$

где вектор P_i, равен произведению массы m_i точки на ее скорость υ_i ; F_i - элементарный импульс силы (элементарным импульсом силы F_i за время dt называется вектор $F_i \cdot dt$). Импульс силы за конечный промежуток времени Δt равен $\int_0^{\Delta t} \boldsymbol{F}_i\, dt$. Если сила F_i постоянна, то ее импульс за время Δt равен $F_i \cdot \Delta t$ [14].

Поскольку механическая энергия во всех вышеуказанных процессах передается механическими волнами, а время импульса (однократного возмущения) известно, нами предлагается использовать в зависимостях (18) и (19) конкретный промежуток времени, равный периоду колебания Т. Тогда рассматриваемые зависимости представим как

$$P_i \;/\; T_i = F_i \qquad (20)$$

или $$m_i \cdot \upsilon_i \,/ T_i = F_i, \qquad (21)$$

где P_i - элементарный однопериодный импульс дочернего возмущения; F_i – элементарный импульс силы, производимый дочерним возмущением; m_i – масса, заключенная в области материала, где распространяется дочернее возмущение; υ_i – скорость дочернего возмущения.

Для импульса тела и импульса силы запишем

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n, \qquad (22)$$

$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n, \qquad (23)$$

где n – число импульсов.

На основании сказанного записанное в скалярном виде уравнение

$$F \cdot t = m \cdot \upsilon \qquad (24)$$

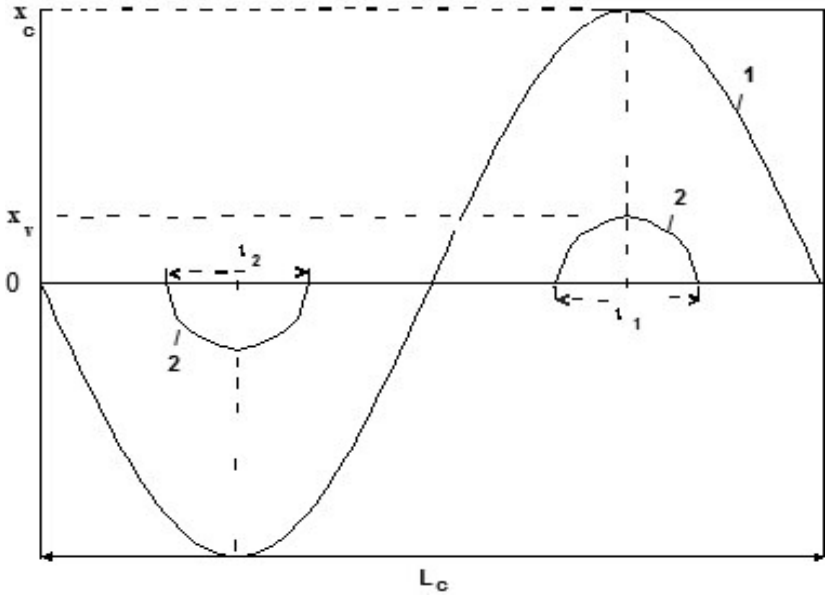

Рис. 2. Модель однократного продольного возмущения механической волны: *1* – однократное возмущение механической (материнской) волны (L_c - длина однократной механической волны), *2* – длина однократной дочерней механической волны $L_v = \iota_1 + \iota_2$, где ι_1 - длина элементарного дочернего возмущения сжатия; ι_2 - длина элементарного дочернего возмущения разряжения

можно представить в виде

$F \cdot T = m \cdot \upsilon$

или $F = m \cdot \upsilon / T.$ (25)

Поскольку на практике, как правило, используется не период колебания, а частота, то выражение (25) примет вид

$F = m \cdot \upsilon \cdot \nu = P \cdot \nu.$ (26)

Выражение (26) представляет второй закон Ньютона, записанный в волновом виде, который может быть сформулирован следующим образом: сила, действующая на тело, равна количеству импульсов механической волны, проходящих по этому телу за секунду. Преимущество выражения (26) по сравнению с уравнением

$F = m\,a$ (27)

заключается в том, что определение F по (26) можно производить и при отсутствии ускорения, т.е. когда a = 0. Кроме того, уравнение (26) позволяет наглядно объяснить волновую природу механического движения тел.

Из зависимости (26) легко определить частоту колебаний механической волны в брусе, которая в момент прекращения действия внешних сил составляла 36 Гц. Промышленная же частота электрического тока равна 50 Гц. Несовпадение величин частот заключается в следующем. Сила тока ротора зависит от относительной скорости вращения поля и ротора. Чем больше нагрузка двигателя, тем сильнее должен быть ток в роторе и тем меньше будет число оборотов ротора [16]. Из-за увеличения величины нагрузки число оборотов асинхронного электродвигателя уменьшилось, а его частота снизилась до 36 Гц.

4. Модель однократного продольного возмущения механической волны. Поскольку волновой процесс является важнейшей формой движения материи, поэтому рассмотрение поведения одного элемента бегущей механической волны представляется основополагающим. На рис. 2 изображены два графика однократных волновых механических возмущений: однократное механическое возмущение (ОМВ) и однократное дочернее возмущение (ОДВ), формы которых в целях упрощения приняты гармоническими. Форма графика ОМВ (1) является общепринятой, а форма ОДВ показана условно в виде отдельных двух графиков - сжатия и разряжения (2). В действительности, дочерние возмущения сжатия и разряжения имеют форму, аналогичную графику ОВМ. В представленном на рис. 2 схематическом виде график (2) дает возможность явно наблюдать взаимосвязь между двумя рассматриваемыми возмущениями. Все параметры возмущений находятся в тесной взаимосвязи между собой, а их анализ на модели (рис. 2) позволяет глубже познать волновые процессы и другие явления, например, сущность деформации и разрушения материалов.

Для подтверждения сказанного произведем анализ, например, влияния интенсивности действия механического возмущения на изменение таких параметров возмущений как:

υ, υ_d, L_c, L_v, x_c, x_v, ν,

где υ – скорость движения ОМВ; υ_d – скорость движения ОДВ; L_c, L_v – соответственно длины ОМВ и ОДВ; x_c ,x_v –соответственно амплитуды ОМВ и ОДВ; ν - частота.

Скорость распространения механических волн, а, следовательно, и скорость ОМВ в образцах из различных горных пород в процессе статического сжатия (от начала нагружения до их разрушения) повышается не более, чем на 30 % [11]. Скорость же движения υ_d в рассматриваемом случае возрастает на порядок и выше, при этом значительно увеличиваются величины L_v и x_v [5-7]. При более мощных интенсивных возмущениях (взрывах) скорость пластических (дочерних) волн может равняться или даже превосходить скорость рас-пространения механических возмущений [15].

Здесь следует отметить, что ранее в работах [4, 5] дочерние волны нами назывались пластическими волнами, так как экспериментальные исследования проводились только на твердых телах. Позднее пластические волны были обнаружены в жидкости [6, 7] и тогда использование термина «пластическая волна» стало некорректным. Поэтому распространяющиеся в твердых телах и жидкостях рассматриваемые возмущения были названы нами дочерними волнами, поскольку в этом наименовании заключена суть рассматриваемого физического явления. Дочерние волны имеют место и в газовой среде, так как именно они инициируют колебательную скорость движения частиц среды, которая отмечена в газовой среде многими исследователями.

Частота колебаний возмущений у ОМВ и ОДВ является одинаковой. Влияние интенсивности на изменение параметров ОМВ по рис. 2 не производилось, так как на нем представлено одно колебание. Однако, на основании вышеприведенного примера по анализу движению бруса видно, что даже при значительном увеличении интенсивности действия механической волны (давление на торец бруса возросло от 0 до $53{,}5\cdot 10^6$ Па) частота механической волны снижается незначительно - на 28 %.

В процессе пульсации от ОМВ направляется определенная порция энергии на рождение ОДВ. На основании проведенного анализа можно утверждать, что при увеличении интенсивности действия возмущения основная часть этой порции сосредоточена в амплитуде возмущения, следовательно, от величины порции энергии, передаваемой ОМВ к ОДВ, зависит интенсивность действия ОДВ.

Длину ОДВ ($L_v = \iota_1 + \iota_2$) определяем по зависимости (8) при замене $\upsilon_d = L_v/T$, а $\upsilon = L_c / T$

$L_v/ T = \varepsilon L_c / T$

или $L_v = \varepsilon L_c$, (28)

где T – период колебания возмущения.

Смещение, производимое ОДВ, определяется по зависимости

$\xi_d = x_v (- \sin \omega t)$. (29)

Дифференцируя (29) по t, получаем уравнение для определения скорости распространения дочернего возмущения

$d\xi_d /dt = x_v \omega (- \cos \omega t) = \upsilon_d$ (30)

Максимальное значение амплитуды ОДВ при ($\cos \omega t = 1$) составит

$x_v = \upsilon_d/\omega$. (31)

Рассмотрим механизм взаимодействия материнских и дочерних возмущений между собой. При воздействии внешней силы на брус у торца А возникает ОМВ (рис. 2), которое сразу пульсирует и генерирует ОДВ. ОДВ может двигаться только в одном направлении: от торца А к торцу В, так как следующее за ним второе ОДВ, образованное следующим ОМВ, сдвигает первое ОДВ от торца А, чтобы занять его место. Последующие ОДВ аналогичным образом отодвигают от торца А предыдущие ОДВ.

В работах [4-8] было показано, что механические возмущения не взаимодействуют между собой, поэтому появившееся второе ОМВ не может проталкивать первое ОМВ. После пульсации первое ОМВ должно произвести вторую пульсацию, однако место, куда оно должно генерировать второе ОДВ уже занято первым ОДВ, а впереди него место свободно. ОМВ энергетически выгодно генерировать ОДВ на свободное место, а для этого первому ОМВ следует оттолкнуться только от рожденного им первого ОДВ, с которым оно в данный промежуток времени находится в тесном взаимодействии. С другой стороны, пульсация - есть толчок, поэтому первое ОМВ совершает толчок и отделяется от первого ОДВ. В результате получается, что именно за счет пульсации (толчка) происходит перемещение ОМВ, при этом часть энергии ОМВ затрачивается еще и на совершение толчка.

5. Заключение Основные достижения, изложенные в настоящей работе и исследованиях [4-7], состоят в том, что впервые показаны новые представления о двойственной природе механических волн, а также излагается механизм взаимодействия между механическими (материнскими) волнами и открытыми нами дочерними механическими волнами, а также дочерними волнами между собой и окружающей средой. Проведенные исследования показали, что структура механических волн едина для всех сред, где способны распространяться механические волны [8]. Механические волны, распространяющиеся в жидкой или газовой среде, как и в твердом теле, всегда имеют в своем составе как продольные, так и поперечные составляю-

щие, причем каждая составляющая рождает свою дочернюю волну [7].

Механические волны – возмущения, распространяющиеся в твердых телах, жидкостях или газообразных средах с конечной скоростью. Распространение механических волн связано с переносом ими энергии и импульса. Каждый период времени механические волны совершают пульсации, сопровождающиеся рождением дочерних механических волн и генерацией импульса. При этом возможны явления отражения, преломления, поглощения и рассеивания волн.

Дочерние механические волны – возмущения, распространяющиеся в твердых телах, жидкостях или газообразных средах с переменной скоростью, и осуществляющие необратимый массоперенос частиц той среды, в которой они движутся. При этом возможны явления отражения, преломления, интерференции, поглощения и рассеивания волн. Явления же дисперсии и дифракции для рассматриваемых возмущений требуют отдельного детального изучения.

Исследования показали, что дочерние волны имеют место и при распространении электромагнитных волн, причем установлено, что именно дочерние электромагнитные волны приводят в движение электрически заряженные частицы. Поэтому исследования в области изучения дочерних волн являются чрезвычайно актуальными.

По поводу практического применения разработок можно сказать следующее: самым большим практическим выходом является достоверная теория дочерних волн. Дочерние волны позволяют глубже понять явления, связанные с различными формами движения материи. Развитие исследований в области теории дочерних волн приведет ко многим научным открытиям, которые послужат базой для формирования нового научного мировоззрения.

Таким образом, в представленной работе на основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- разработана модель однократного продольного возмущения механической волны;
- аналитически определено, что дочерние механические волны нагрузки, совместно с дочерними механическими волнами разгрузки, перемещают движущееся с определенной скоростью тело после устранения внешних воздействий, а это позволило распознать волновую природу сил инерции;
- показано, что перемещение твердых тел под воздействием внешних сил в действительности осуществляется непосредственно дочерними механическими волнами;
- изложено представление о пульсации механического возмущения и показано, как за счет пульсации приводится в движение механическая волна;

представлено уравнение, выражающее второй закон Ньютона, в универсальном волновом виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Умов Н.А.* Уравнения движения энергии в телах. Изб. Соч. М - Л.: ГИИТЛ, 1950 - С. 151-226 .

2. *Яворский Б.М., Селезнев Ю.А.* Физика. Справочное руководство. М.: Физматлит, 2004. 591 с.

3. *Физический* энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия. 1983. 928 с.

4. *Ткаченко Е.С., Хмара О.И.* К вопросу о механизме разрушения угольных образцов (брикетов) из выбросоопасных пластов. Аэрология: Научн. Сообщ. / ИГД им. А А Скочинского М.: 1997. с. 56-66.

5. *Ткаченко Е.С.* О некоторых характеристиках пластической волны. Записки Горного института т. 148 (1). С-Петербург, РИЦ СПГГИ, 2001 с. 155 – 159. [Материалы 2-ой Международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород»].

6. *Ткаченко Е.С., Постоев И.Л., Ткаченко А.Е.* К движению неупругих продольных механических волн в воде. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 11. – М.: Изд. МГГУ, 2003. - С. 176-180.

7. *Ткаченко Е.С., Ткаченко А.Е.* О механических возмущениях, распространяющихся в воде. Горный информационно-аналитический бюллетень, №6. – М.: Изд. МГГУ, 2005. - С. 246-250.

8. *Ткаченко Е.С., Ткаченко А.Е.* К вопросу о структуре механической волны. Горный информационно-аналитический бюллетень, №5. – М.: Изд. МГГУ, 2006. - С. 98-103.

9. *Иродов И.Е.* Волновые процессы. Основные законы. Москва – Санкт–Петербург. Физматлит, 1999. - 253 с.

10. *Кабардин О.Ф.* Физика. Справочные материалы. – М.: Просвещение, 1988. - 367 с.

11. *Ямщиков В.С.* Волновые процессы в массиве горных пород. – М.: Недра, 1984. - 271 с.

12. *Ржевский В.В., Новик Г.Я.* Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. - 391 с.

13. *Российский* энциклопедический словарь. Книга 1. – М.: Большая Российская энциклопедия. 2001. - С. 572.

14. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. Изд. 5 стереотипное. М.: Наука, 1971. - 939 с.

15. *Лин Э.Э.* Импульсное нагружение объектов при сильном расширении продуктов взрыва твердых взрывчатых веществ (обзор). Физика горения и взрыва, № 2. Новосибирск. Сибирское отделение РАН, 2005. - С. 3-28.

16. *Калашников С.Г.* Электричество. – М.: Физматлит. Изд. 6. 2004. - 624 с.

Коротко об авторах

Ткаченко Е.С., Ткаченко А.Е. – Альпин-Трейд.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*