

# О ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ В ОБОЗНАЧЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПЕРВОМ КРИТИЧЕСКОМ УГЛЕ

Е. А. ДАВЫДОВ, В. П. ДЯДИН, А. Л. ШЕКЕРО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Целью данной работы является исследование сложившейся практики применения терминов «головная волна», «боковая волна», «ползущая волна», которая на данный момент является достаточно неоднозначной и противоречивой. Библиогр. 21, табл. 2, рис. 3.

*Ключевые слова:* акустическая волна, головная волна, боковая волна, ползущая волна, скользкая волна, ультразвуковой контроль

В последнее время при чтении литературы по ультразвуковому контролю (УЗК) специалисты часто сталкиваются с нечеткой или двусмысленной терминологией в обозначении акустических волн, образующихся при первом критическом угле: головная, боковая, ползущая. Ранее в широкой практике отечественного УЗК использовался только термин «головная волна» и, несмотря на уже существовавшее различие в определении головной волны в УЗК и сейсморазведке (акустике), это не причиняло существенных неудобств. В настоящее время в УЗК появились новые методы: TOFD, метод конверсионных (трансформированных) волн и др. В этих методах используются различные типы волн и, поэтому из-за их терминологической неоднозначности усложняется понимание текстов. Казалось бы, разобраться в этих трех терминах не так и сложно. Достаточно для прояснения сути вопроса внимательно ознакомиться с определениями этих волн в каком-нибудь «толкователе», например, техническом словаре, энциклопедии и пр. Однако такой формальный подход мало что проясняет, т. к. проблема и проистекает из терминологической неоднозначности в самой литературе. Проиллюстрируем сказанное конкретными материалами из нормативной и специальной литературы.

1. ГОСТ 16821-91 Сейсморазведка. Термины и определения [1]:

*«Волна головная – сейсмическая волна, возбуждаемая в геологической среде, покрывающей преломляющую границу, при распространении вдоль нее скользкой волны. Скользящая волна – сейсмическая волна, образующаяся на преломляющей границе при подходе к ней падающей волны под критическим углом. Преломленная (сейсмическая) волна; проходящая волна – сейсмическая волна, преломившаяся на границе раздела двух геологических сред».*

2. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. Справочник. Ю. В. Ланге, В. А. Воронков. [2] (то же самое в книге - Серия 28. Неразрушающий контроль. Выпуск 4. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения. Справочное пособие [3]):

*«4.3.2.21. Головная волна (Head wave, creeping wave):*

*1. Волна, распространяющаяся вдоль свободной поверхности твердого тела со скоростью объемной продольной волны, но отличающаяся от последней более быстрым уменьшением амплитуды вследствие непрерывного переизлучения в среде в виде поперечной волны. В сейсмоакустике и в зарубежной литературе ее называют ползущей волной.*

*2. Волна, возбуждаемая при первом критическом угле падения и распространяющаяся вдоль поверхности как продольная волна. Ее распространение не зависит от состояния поверхности, причем ультразвуковой луч не повторяет волнистость последней.*

*4.3.2.22. Боковая волна (Lateral wave) – поперечная волна, переизлучаемая в среду распространяющейся вдоль поверхности головной волной. Боковая поперечная волна распространяется под третьим критическим углом».*

3. ГОСТ Р ИСО 5577-2009 Неразрушающий контроль – Ультразвуковой контроль – Словарь терминов [4]:

*«2.2.3 Головная волна (creeping wave): Продольная волна, распространяющаяся вдоль поверхности среды».*

4. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова [5]:

*«Головная волна. Решение задачи о возбуждении упругих волн на ограниченном участке по-*

верхности твердого тела [14] показывает, что вдоль поверхности распространяется волна со скоростью, практически равной скорости продольной волны. В [14] эту волну называют квази-однородной, поскольку амплитуда вдоль фронта этой волны изменяется медленно. В отечественной дефектоскопической литературе ее называют головной (в дальнейшем используется это название), а в иностранной – ползущей».

5. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах [6].

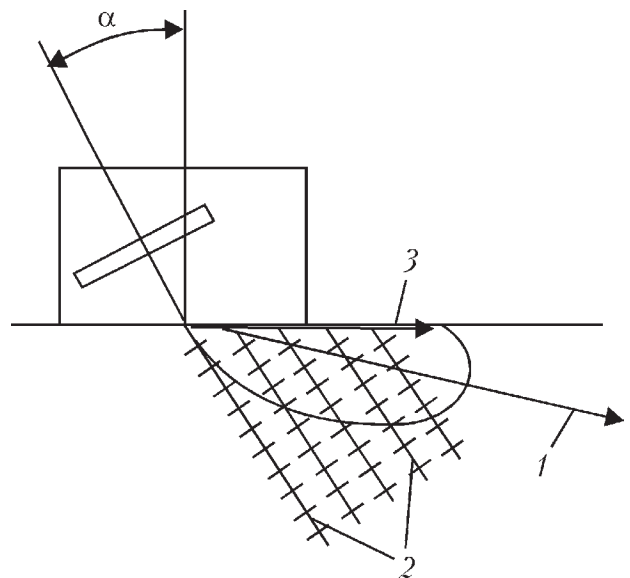
На стр. 181: «В сейсмике боковую волну называют обычно головной».

6. ISO 5577:2017 Неразрушающий контроль – Ультразвуковой контроль – Словарь терминов (Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary) [7]:

«2.3.5 Ползущая волна – волна, генерируемая при первом критическом угле и распространяющаяся вдоль поверхности как продольная волна (creeping wave – wave generated at the first critical angle of incidence and propagated along the surface as a longitudinal wave)».

7. ISO 22825:2012. Неразрушающий контроль сварных швов. Ультразвуковой контроль. Контроль сварных швов в аустенитных сталях и сплавах на основе никеля (Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys) [8]:

«A.5 Способ ползущих волн. Ползущие волны распространяются вблизи поверхности сканирования и генерируются преобразователями, предназначенными для излучения волн сжатия с углами ввода, близкими к 90°. Ползущие волны имеют скорость звука равную скорости волн сжатия, и распространяются на глубину равную приблизительно одной длине волны от поверхности сканирования. Ползущие волны не огибают криволинейные поверхности. (Creeping waves propagate close to the scanning surface, and are generated by probes designed for compression waves with beam angles close to 90°. Creeping waves have sound velocities equal to those of compression waves and propagate at a depth of approximately one wavelength below the scanning surface. Creeping waves do not follow curved surfaces)... Ползущие волны непрерывно генерируют сдвиговые волны (также называемые головными волнами), что является следствием взаимодействия с поверхностью [рис. A.5 a)]. Эти головные волны способны генерировать вторичную ползущую волну на донной поверхности, которая может быть использована для обнаружения поверхностных или подповерхностных дефектов на донной поверхности [рис. A.5 b)]. (Creeping waves continuously generate shear waves (also called head waves), as a consequence of interaction with the surface [Figure A.5 a)].

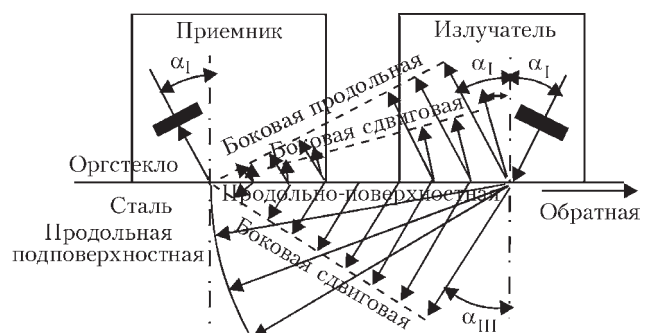


ISO 22825:2012, рис. A.5 a) Возбуждение ползущих волн. (Generation of creeping waves): 1 – продольные волны (compression waves); 2 – поперечные волны (shear waves); 3 – первичная ползущая волна (primary creeping wave)»

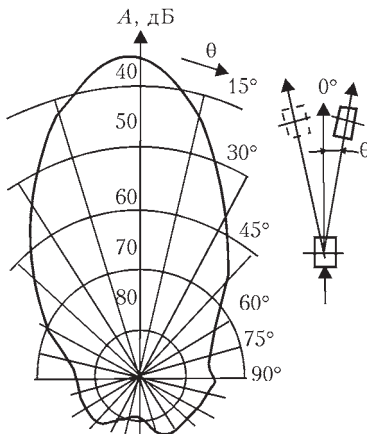
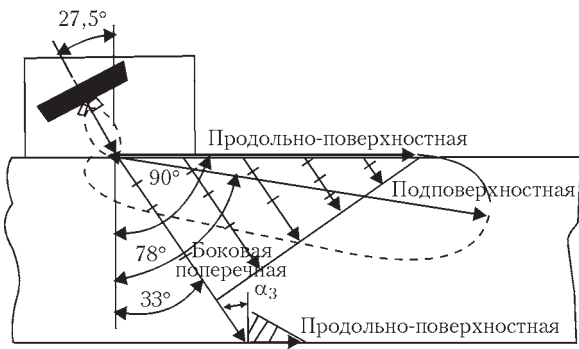
These head waves are able to generate a secondary creeping wave at the back wall, which can be used to detect surface or near-surface defects at the back wall [Figure A.5 b)].»

8. Дефектоскопия, № 9, 2004 [9], стр. 31:

«Учитывая особенности акустического поля излучателя с углом падения, равным первому критическому углу, как-то: наличие неоднородной продольно-поверхностной и подповерхностной волн, образование боковых волн в контролируемой и прилегающих средах, быстрое ослабление неоднородной продольно-поверхностной волны с расстоянием, а также то, что продольные волны распространяются с максимальной скоростью звука, всей совокупности этих волн присвоили специфический для УЗ дефектоскопии материалов термин «головные волны», по аналогии с головными волнами в сейсмоакустике. Этот термин подчеркивает, что импульсы рассматриваемой головной волны распространяются с максимальной скоростью и первыми достигают приемника, что во многих случаях весьма благоприятно для интерпретации сигналов и расшифровки результатов контроля...»

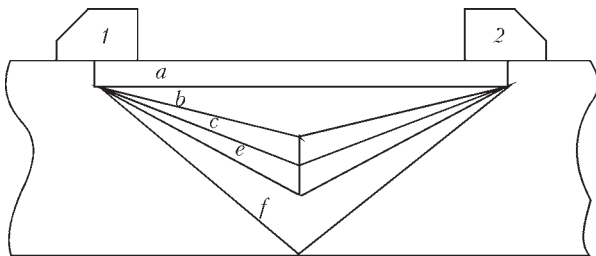


Дефектоскопия, № 9, 2004, стр. 31, рис. 1. Распространение головной волны

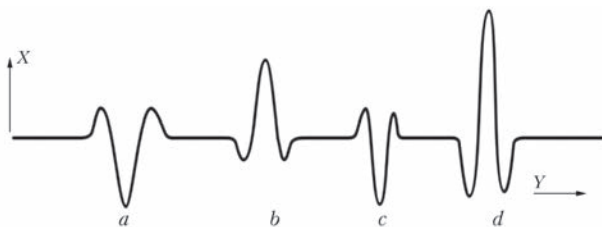


Дефектоскопия, №9, 2004, стр. 31, рис. 3. Поле головной волны в контролируемой среде»

9. ДСТУ ENV 583-6:2005 Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 6: Дифракційно-часовий метод для виявлення і визначення розмірів несущільностей [10]: «



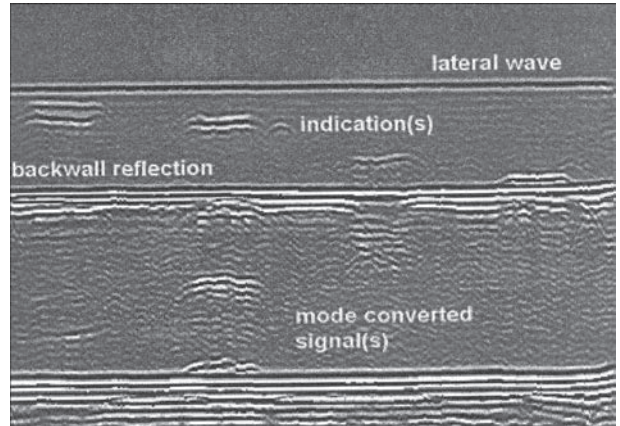
ДСТУ ENV 583-6:2005, рис. 2. Основна схема методу TOFD: 1 – випромінювач; 2 – приймач; d – несущільність; a – поверхнева хвиля; b – верхній кінчик; c – кут введення; e – нижній кінчик; f – відбиття від донної поверхні



ДСТУ ENV 583-6:2005, рис. 3. Схематичний А-скан штучно створених несущільностей: X – амплітуда; Y – час; a – поверхнева хвиля; b – верхній кінчик; d – луна-сигнал від донної поверхні; c – нижній кінчик»

10. ДСТУ CEN/TS 14751:2008 Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів [11]:

«безперервна головна хвиля (амплітуда в діапазоні від 40 до 80 % висоту FSH);  
– чотири індикації від пазів на різних глибинах;  
– рівна індикація донного відбиття;  
– конвертовані за модою сигнали від пазів і донної поверхні»



ДСТУ CEN/TS 14751:2008, рис. В.1 – Задовільне TOFD-зображення

11. Из книги «Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications» (Введение в применение технологии ультразвуковых фазированных решеток) компании «Olympus» [12]:

«При TOFD используют волны четырех типов:  
– продольная подповерхностная волна (lateral wave). Подповерхностные продольные волны, распространяющиеся вдоль поверхности по кратчайшему пути от излучающего преобразователя к приемному.

– донный сигнал. Продольная волна, отражающаяся зеркально от донной поверхности.

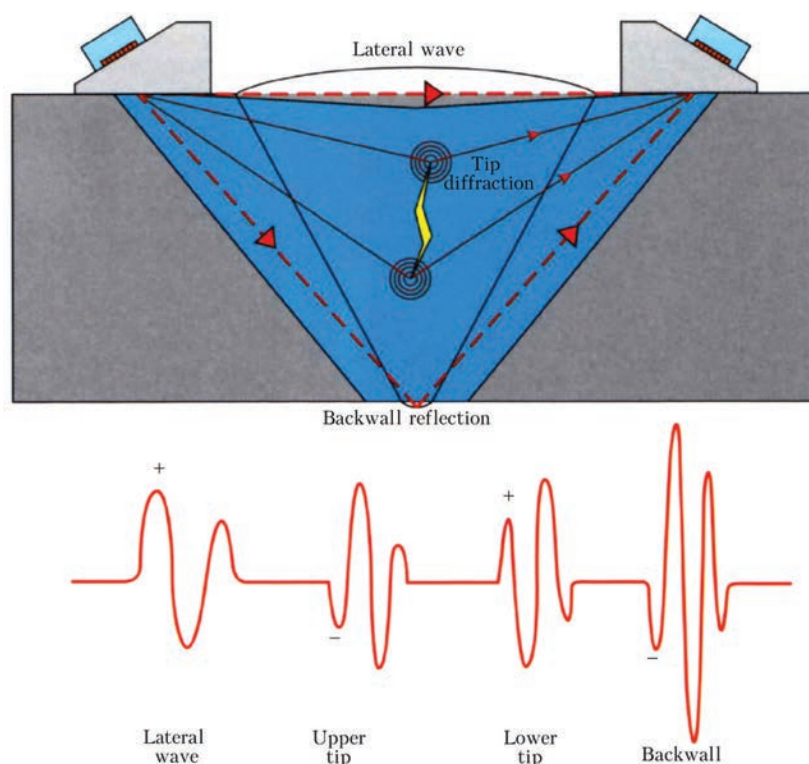
– отраженный сигнал. Продольная волна, отраженная зеркально плоским дефектом.

– дифрагированный сигнал. Волна со сферическим фронтом, рассеянная на краю дефекта. При этом генерируются как продольные, так и поперечные волны, но в методе TOFD обычно используют продольные.

Прим. пер.: разница между понятиями «lateral wave» и упоминавшейся ранее «creeping wave» неясна. Косвенно их свойства указывают на то, что обе эти волны продольные и распространяются вдоль поверхности почти горизонтально. Представляется наиболее вероятным, что оба типа волн близки по смыслу к отечественному термину «головная волна». При этом понятие «lateral» авторы данной книги используют только при работе с методом TOFD, а понятие «creeping» – во всех остальных случаях.

Если это мнение переводчика ошибочно, большая просьба разъяснить истинное положение дел.»

Необходимо обратить внимание, что перевод книги выполнил высококвалифицированный



ского угла, существенно разнятся между собой.

**1. Анализ существующей терминологии**

Для некоторой определенности попробуем систематизировать все указанные типы волн и сопоставить их между собой. Возьмем за основу определение волн из фрагмента 7 и сопоставим по физическим характеристикам волны из других фрагментов (табл. 1).

Итак, если внимательно проанализировать изложенную информацию, то мы неизбежно приходим к неутешительному выводу, что никакой однозначности в рассматриваемых материалах нет: один и тот же тип волны называется по разному и, наоборот, одно и то же название волны обозначает разные типы волн. Смысловое содержание терминов также требует некоторого уточнения. Так, в работе [9] (фрагмент 8) разъясняется, что под головными волнами в УЗК пони-

Книга «Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications» [12], рис.2.40. Принцип метода TOFD и полярность наблюдаемых сигналов»

специалист по ультразвуковому контролю канд. техн. наук С. В. Реука.

Даже беглый анализ текстов представленных здесь фрагментов 1-11 показывает, что ясного и однозначного соответствия между терминами и определениями типов волн нет. Например, трактовки головных волн в работах [5] (фрагмент 4) и [9] (фрагмент 8), авторы которых имеют совместные публикации, посвященные рассмотрению особенностей распространения ультразвуковых полей преобразователя вблизи первого критиче-

скается некая совокупность волн, каждая из которых была известна и определена ранее. Поэтому определение головной волны в работе [9] не эквивалентно определению ползущей волны (creeping wave) как, например, это изложено в работах [2, 4, 7]. В работе [2, 3] головная и ползущая волна являются синонимами, а из работ [1, 6, 8] следует, что головная волна (head wave) является волной совершенно иного типа, чем ползущая волна (creeping wave) определенная в работах [2, 3].

**Таблица 1. Соответствие между типами волн по фрагментам 1-11**

Номер фрагмента	Термин волны из фрагмента	Физическое соответствие между описанием волн из фрагментов 1-11 и волнами из фрагмента 7		
		Обозначение волны из фрагмента 7		
		Продольная волна (compression wave)	Поперечная волна под критическим углом (head wave) или боковая (lateral wave)	Продольная волна под критическим углом (creeping wave)
1	Волна головная	-	×	-
	Скользящая волна	-	-	×
2	Головная волна (head wave, creeping wave)	-	-	×
	Боковая волна (lateral wave)	-	×	-
3	Головная волна (creeping wave)	-	-	×
4	Головная волна (квазиоднородная, ползущая)	-	-	×
5	Боковая волна (то же, что и головная волна)	-	×	-
6	Ползущая волна (creeping wave)	-	-	×
8	Головные волны	×	×	×
9	Поверхностная волна	-	-	×
10	Головная волна	-	-	×
11	Lateral wave (продольная подповерхностная волна)	-	-	×

Не все понятно и с боковой волной (lateral wave). Приведенное по этому поводу замечание переводчика и редактора работы [12] (фрагмент 11) как нельзя лучше это подтверждает. Например, боковая волна на рис. А.5а фрагмента 7, на рис. 1 фрагмента 8 и боковая волна на рис. 2.40 фрагмента 11 имеют разный физический смысл. Кроме того, в работе [2] боковая волна определяется как волна сдвиговая, а исходя из рис. 1 в работе [9] она представлена не только поперечной но и продольной модами.

Конечно, все эти нестыковки не носят принципиального характера. Физические свойства акустических волн хорошо изучены и обычно достаточно подробно рассматриваются в учебниках по акустике. Поэтому тем обиднее, что в области ультразвукового контроля наблюдается ярко выраженная не только терминологическая, но иногда и смысловая путаница. Очевидно, что причиной этой путаницы является недостаточное понимание различий в природе волн.

Для более полного и связного изложения кратко рассмотрим, как физически образуются все три указанные волны и как они соотносятся между собой.

## 2. Трансформация волн при падении на границу раздела

Имеется две граничащих между собой твердых среды (рис. 1). В некоей точке *A* первой среды находится точечный источник волн напряжения. В общем, это может быть источник объемных и (или) сдвиговых волн, однако для простоты изложения будем полагать, что в точке *A* находится источник продольных сферических волн. Результатом распространения волн от источника *A* будет следующая волновая картина.

От точки *A* волны распространяются по сферическим фронтам. Фронт волны, дошедший до границы раздела возбуждает волны в первой и во второй средах (рис. 1). Образование или трансформация волн описывается законом Снеллиуса:

$$\frac{\sin(\beta_{L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\beta_{L1L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\beta_{L1T1})}{C_{T1}}$$

(волны в среде 1),

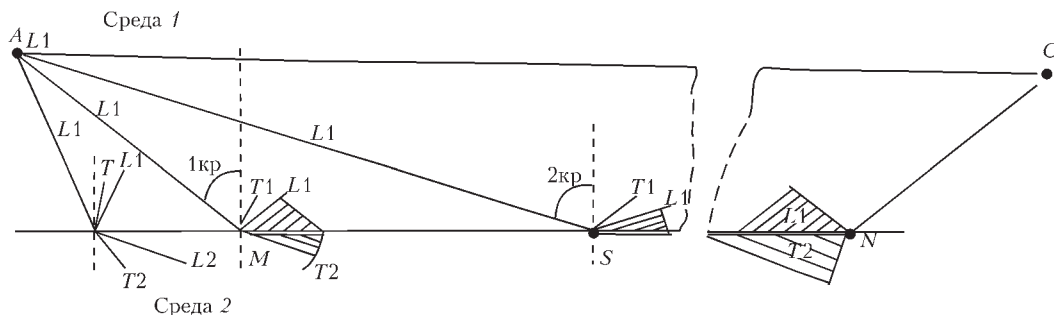


Рис. 1. Трансформация волн на границе раздела сред:  $1кр = \beta_{L1L2кр}$ ;  $2кр = \beta_{L1T2кр}$ . В т. *N* приходит скользящая (ползущая) волна, которая возникла в т. *M* (первый критический угол) и через некоторое время достигла т. *N*

$$\frac{\sin(\beta_{L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\alpha_{L1L2})}{C_{L2}} = \frac{\sin(\alpha_{L1T2})}{C_{T2}}$$

(волны в среде 2),

здесь  $\beta_{L1}$  – угол падения первичной волны от источника *A* на поверхность раздела сред;  $\beta_{L1L1}$  – угол отражения продольной волны от границы раздела сред;  $\beta_{L1T1} = \beta_{L1}$ ;  $\beta_{L1T1}$  – угол отражения поперечной волны от границы раздела сред;  $\alpha_{L1T2}$  – угол преломления продольной волны во второй среде;  $\alpha_{L1T2}$  – угол преломления поперечной волны во второй среде;  $\beta_{L1L2кр}$  – первый критический угол;  $\beta_{L1T2кр}$  – второй критический угол;  $C_{L1}$  – скорость продольной волны в первой среде;  $C_{L2}$ ,  $C_{T2}$  – соответственно скорости продольной и поперечной волны во второй среде.

Критические углы определяются по формулам:

$$\sin(\beta_{L1L2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}},$$

$$\sin(\beta_{L1T2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}.$$

Для того, чтобы дальнейшее рассмотрение имело смысловое продолжение предположим, что соотношения скоростей в средах подчиняются условию:  $C_{L2} > C_{T2} > C_{L1} > C_{T1}$ . Если под первой средой понимать материал призмы преобразователя (пластик), а под второй средой объект контроля (сталь), то указанное соотношение скоростей является обычным для практики УЗК.

Прямая волна, падающая на границу раздела под критическим углом  $\beta_{L1T2кр}$  (первый критический угол, точка *M* на границе сред), возбуждает во второй среде преломленную продольную волну с углом  $90^\circ$ . Фронт этой волны будет перпендикулярен границе раздела сред. Фактически волна скользит по поверхности границы второй среды, распространяясь во второй среде со скоростью  $C_{L2}$ . Аналогично для точки *S* на границе раздела сред, где падение происходит под критическим углом  $\beta_{L1T2кр}$  (второй критический угол) во второй среде возникнет поперечная волна с углом  $90^\circ$ . Фронт этой волны также перпендикулярен границе раздела и волна скользит по поверх-

Таблица 2. Варианты образования боковых волн

Типы рассматриваемых волн и их трансформация	Стилистическое изображение пути от А к С. В случаях когда во второй среде образуется ползущая продольная волна, то она порождает боковую волну под третьим критическим углом	Критический угол падения волны в первой среде	Критический угол входа волны в первую среду
L1L2L1		$\sin(\beta_{L1L2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$	$\sin(\beta_{L1L2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$
L1L2T1			$\sin(\beta_{L1L2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$
L1T2L1		$\sin(\beta_{L1T2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$	$\sin(\beta_{L1T2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$
L1T2T1			$\sin(\beta_{L1T2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$
T1T2T1		$\sin(\beta_{T1T2кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$	$\sin(\beta_{T1T2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$
T1T2L1			$\sin(\beta_{T1T2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$
T1L2L1		$\sin(\beta_{T1L2кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$	$\sin(\beta_{T1L2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$
T1L2T1			$\sin(\beta_{T1L2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$

ности границы второй среды, распространяясь в ней со скоростью  $C_{T2}$ . У этих волн есть общее название – скользящие (ползущие) волны. По закону Гюйгенса скользящие волны вызовут в первой среде волны, фронты которых будут являться прямыми линиями. Именно эти волны называются боковыми волнами. На рис. 1 показаны точки  $M$  и  $S$ , в которых возникают скользящие волны, при

распространении которых вдоль границы образуются боковые волны в первой и второй средах. В первой среде возникнет четыре боковых волны – поперечная и продольная боковые волны, образованные продольной скользящей волной (первый критический угол, точка  $M$ ) и поперечная и продольная боковые волны, образованные поперечной скользящей волной (второй критический

угол, точка  $S$ ). Кроме формы колебания, эти волны будут отличаться между собой углами распространения, которые будут соответствовать закону Снеллиуса. Во второй среде, в соответствии с заданным выше соотношением скоростей, сможет образоваться только одна боковая поперечная волна как следствие продольной скользкой волны, образованной в точке  $M$ . Поперечная скользкая волна не может создавать боковых волн во второй среде. Это можно понять из физического принципа распространения волн или, формально, из закона Снеллиуса.

В точке  $N$  показана скользкая волна, которая возникла в точке  $M$  (первый критический угол) и через некоторое время достигла точки  $N$ .

Из рис. 1 можно понять, что в относительно удаленную точку  $C$  первой придет сигнал от возмущения по пути  $A-M-N-C$ , а не прямая волна по кратчайшему геометрическому пути  $A-C$ . Это происходит по той причине, что большую часть пути возмущение во второй среде распространяется со скоростью большей, чем скорость возмущения в первой среде по прямой от точки  $A$  до  $C$ . Следует также обратить внимание, что возмущение (или сигнал) из точки  $A$  прежде чем попасть в точку  $C$  по пути  $A-M-N-C$  должно совершить несколько волновых трансформаций.

Поэтому здесь возникает вопрос как назвать этот пришедший в точку  $C$  сигнал, т. е. с каким типом волны его связать. Например, для сигнала по прямой  $A-C$  все достаточно просто и однозначно – это сигнал продольной объемной волны, которая распространяется в первой среде без трансформаций. В то время, как для сигнала по пути  $A-M-N-C$  есть варианты. Этот сигнал можно назвать следствием прихода боковой волны, что формально является правильным, т. к. именно боковая волна приходит в точку наблюдения  $C$ . А можно сделать упор на скользкой (ползущей) волне, т. к. благодаря именно этой волне сигнал достигает точки  $C$  первым, обгоняя прямую волну, которая распространяется по кратчайшему пути. Кроме того, боковая волна является производной от скользкой.

С точки зрения УЗК первая среда – это призма преобразователя. Поскольку призма не имеет каких-либо особенностей для распространения волн или, точнее, все особенности призмы имеют конструктивный характер и сделаны так, чтобы минимизировать непредсказуемое влияние на распространение волн в ней, то, обычно распространение волн в призме не рассматривают. К примеру, обычной практикой УЗК является работа за первым критическим углом, т. е. предполагается, что в металле объекта контроля всегда распространяется поперечная волна, а в призме – продольная. Поэтому при анализе схем контроля

все пришедшие сигналы интерпретируются как сигналы поперечных волн, которые приходят к преобразователю и дальше их путь в преобразователе из-за тривиальности не рассматривают. При анализе удобно считать, что наблюдаемые сигналы принадлежат волне дошедшей от источника до преобразователя, а не до пьезопластины. Трансформацию поперечных волн в продольные, происходящую в призме, опускают, как само собой разумеющееся. В какой-то степени это логично для УЗК, поскольку все интересующие особенности волна приобретает во второй среде при прохождении по объекту контроля и активно взаимодействуя с ним.

Поэтому сигнал, прошедший по пути  $A-M-N-C$ , можно назвать сигналом от боковой волны (lateral wave) как это исторически принято в методе TOFD, а можно «исключить» призмы преобразователей из рассмотрения, сосредоточить внимание только на волнах в объекте контроля и тогда пришедший по пути  $A-M-N-C$  сигнал будет следствием волны скользкой по границе раздела, которая носит название ползущей волны (creeping wave).

По этим причинам сигнал возмущения, пришедший по пути  $A-M-N-C$ , в разных источниках называют по-разному: иногда lateral wave (волна пришедшая на пьезопластину), а иногда creeping wave (волна пришедшая к преобразователю).

Как же все-таки будет правильно? Скорее всего, такой вопрос можно отнести к разряду риторических. Когда в методе TOFD говорят про сигнал «lateral wave», то имеют ввиду волну, пришедшую к пьезопластине, и при этом опускают, что перед этим часть пути сигнал прошел как «creeping wave» (одно есть следствие другого). Если же говорят про сигнал «creeping wave», то подразумевают волну, пришедшую к преобразователю, и опускают процесс трансформации волны на границе объект контроля-призма. Наверное имеют право на существование оба эти подхода. Однако будет неправильным называть термином «lateral wave», волну показанную на рис. 2.40 из фрагмента 11, на котором изображена продольная скользкая волна или, что то же, «creeping wave». Такой же завуалированный элемент неоднозначности присутствует во фрагментах 9 и 10. На рис. 3 фрагмента 9 сигнал «а» называют поверхностной волной, а на рис. В.1 из фрагмента 10 тот же сигнал назван «lateral wave» (боковая волна), т. е. имеют ввиду сигнал пришедший к пьезопластине. Если рассматривать работы [10 и 11] как документы не связанные между собой, то вопросов не возникает. Однако с учетом того, что эти НД связаны ссылками и должны являть общую систему, то получается эклектический подход к изложению связанных текстов, что необходимо исключать, т. е. требования к четкости и однозначности исполь-

зуемых терминов надо проследивать и соблюдать более жестко.

Итак, в процессе распространения возмущения от точки *A* (рис. 1), возникают две ползущие волны, которые порождают пять боковых волн: две продольные боковые и две поперечные боковые в первой среде и одну поперечную боковую волну во второй среде. Как уже отмечалось, эти волны возникают при критических углах. Распространение боковых волн в первой среде происходит под углами:

$\beta_{L1L2кр}$  – первый критический угол, когда прямая продольная волна трансформируется в продольную ползущую волну во второй среде;  $\beta_{L1T2кр}$  – второй критический угол, когда прямая продольная волна трансформируется в поперечную ползущую волну во второй среде.

Во второй среде боковая волна образуется от продольной ползущей и распространяется под третьим критическим углом

$$\alpha_{3кр} = \arcsin \frac{C_{T2}}{C_{L2}}$$

Если источник *A* будет излучать поперечные волны, то также возникнут ползущие волны и, соответственно, будут возбуждаться боковые. В таблице 2 рассмотрены все возможные варианты образования боковых волн.

### 3. Особенности использования терминов «головная волна» и «боковая волна» в УЗ контроле и сейсмоакустике

Термин «головная волна» исторически закрепился в сейсморазведке [1] и по сути является синонимом термина «боковая волна». Объясняется это тем, что в сейсморазведке при использовании метода преломленных волн боковая волна при некотором удалении точки наблюдения от источника волн всегда приходит первой, обгоняя прямую волну. На рис. 2 представлены годографы различных волн (см. [13], стр. 76). Как следует из рис. 2, начиная с некоторого расстояния, определяемого точкой пересечения кривых 1 и 2, боковая волна будет всегда регистрироваться первой, чем и объясняется присвоенный ей термин «головная волна». Хотя изначально головные волны назывались минтроповскими по имени немецкого геофизика Людгера Минтропа (Ludger Mintrop), который является основоположником метода сейсморазведки – метода преломленных волн. В настоящее время в сейсморазведке минтроповские волны называют головными, что характеризует их особенности в методе преломленных волн.

В УЗК головные волны в своем классическом понимании используются в методе TOFD. Однако исторически так сложилось, что в методе TOFD головные волны называют боковыми волнами (lateral wave), что, как уже отмечалось, по

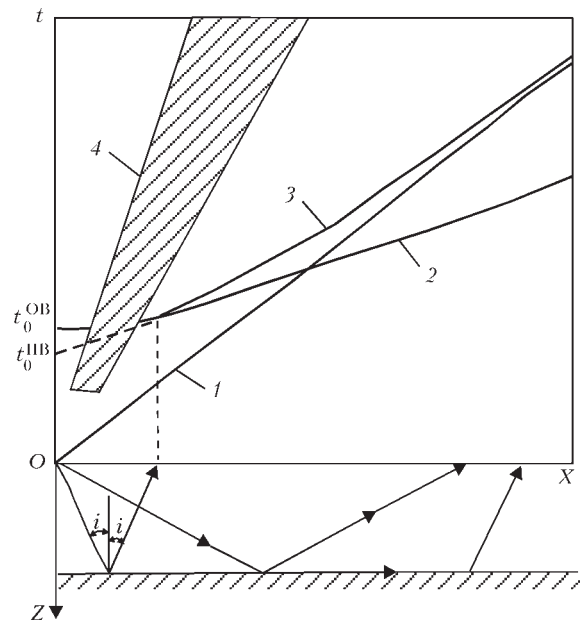


Рис. 2. Сравнительное положение годографов сейсмических волн: 1 – прямой; 2 – головной; 3 – отраженной; 4 – релейского типа

существу одно и то же. И скорее всего это правильно, так как термин головная волна имеет хоть и широкое распространение в сейсморазведке (сейсмоакустике), но в целом имеет «региональное» происхождение. Хотя для схем TOFD сигнал, обозначенный как «lateral wave» (рис. В.1 из фрагмента 10, рис. 2.40 из фрагмента 11, рис. 3 из фрагмента 9), можно назвать сигналом головной волны по тем же самым соображениям, по которым в сейсморазведке боковую волну назвали головной: сигнал боковой волны в схеме TOFD всегда будет первым сигналом из всех возможных, и если бы преобразователи в методе TOFD имели общую призму, то распространение волн полностью соответствовало бы рис. 1. С другой стороны, нужно понимать, что в УЗК схемы типа приведенных на рис. 1 обычно не используются, сигнал из точки *A* не может попасть в точку *C* непосредственно по прямой *A-C* из-за фрагментарности среды 1. Кроме того, задачи и соответственно этому схемные решения в УЗК не имеют прямых аналогий с сейсморазведкой. Поэтому термин «головная волна» в УЗК не имеет такого содержательного значения, как в сейсморазведке, и используется в УЗК по большей части формально (например, в стандарте [8]). Чем же можно объяснить использование термина «головная волна» (head wave) для боковой волны во второй среде (в объекте контроля) в стандарте [8]? На наш взгляд – исключительно формальной эквивалентностью терминов «головная волна» и «боковая волна». В определении головной волны по стандарту сейсморазведки [1] (фрагмент 1) ничего не говорится о первичности регистрации этой волны, а только о способе ее возникновения, поэтому



имеем два названия одной и той же волны, эквивалентных по определению.

Об особенностях термина «головная волна» в УЗК уже немного упоминалось выше. Тот факт, что термин «головная волна» в УЗК и в сейсмо-разведке существенно отличаются между собой, конечно ясности не добавляет, но такая терминологическая трансформация относительно часто происходит с терминологическими заимствованиями и переносом их в специализированные области деятельности. В УЗК все несколько сложнее. Так получилось, что здесь термин «головная волна» одновременно означает два разных явления. Например, в специализированном издании [2] (фрагмент 2) и в работе [5] (фрагмент 4) под головной волной понимают ползущую волну из рис. 1 (creeping wave), в то время как в работе [9] (фрагмент 8) под головными волнами понимается не элементарная волна, а целая совокупность волн. Фактически речь идет о поле ультразвукового преобразователя в районе первого критического угла.

Таким образом, в области ультразвукового контроля существует не только терминологическая, но и смысловая путаница в отношении термина «головная волна». Ситуация еще более усугубляется, когда во время перевода пытаются адаптировать иностранный термин «head wave» переводом типа: «квазиоднородная», «неоднородная», «продольно-поверхностная», «подповерхностная». Но даже в том случае, когда перевод звучит, как «головная волна» всегда возникает вопрос, а какая это головная волна: как она понимается в стандарте [1] или как в работе [2]?

#### 4. Проблемы терминологической неоднозначности в НД по ультразвуковому контролю

В принципе любую волну из трех (head wave, creeping wave, lateral wave) можно назвать головной и это будет соответствовать какому-либо действующему НД или определению в специальной литературе по методам УЗК, но в то же время ни одна из этих трех волн не является головной волной в смысле стандарта [1].

С введением в действие в Украине международных стандартов по УЗК указанная путаница только усугубляется и расширяется. Это можно легко обнаружить на информационных сайтах по НК в интернете. Авторы статьи с некоторым удивлением обнаружили ряд новых, креативных определений термина «головная волна» или «головные волны». Безусловно все понимают, что к достоверности информации в интернете следует относиться с определенной осторожностью, но тем не менее это очень доступная и часто полезная информационная среда, чтобы от нее отказываться.

Вот, например, учебный курс лекций по УЗК [14] от известных авторов вызывает определен-

ные вопросы в части изложения понятия головных волн (параграф «3.4. Головные волны»). Для предметного обсуждения кратко изложим содержание данного параграфа:

*«В реальных условиях УЗ контроля наклонным преобразователем фронт УЗ волны излучающего пьезоэлемента имеет неплоскую форму. От излучателя, ось которого ориентирована под 1-м критическим углом к границе раздела, на границу падают также продольные волны с углами несколько меньше и несколько больше 1-го критического. При этом в стали возбуждается несколько типов УЗ волн. Вдоль поверхности распространяется неоднородная продольно-поверхностная волна. Эту волну, состоящую из поверхностной и объемной компонент, называют также вытекающей или ползучей...»*

*Кроме вытекающей, возбуждается также головная волна, получившая широкое применение в практике УЗ контроля. Головной называют продольно-подповерхностную волну, возбуждаемую при падении УЗ пучка на границу раздела под углом, близким к первому критическому. Скорость этой волны равна скорости продольной волны. Своего амплитудного значения головная волна достигает под поверхностью вдоль луча с углом ввода 78°. Головная волна, как и вытекающая, порождает боковые поперечные волны под третьим критическим углом к границе раздела...»*

Из приведенного текста следует, что вытекающая (ползущая) волна и головная волна – это две разные волны. В вышеприведенном фрагменте 4 из книги [5], напротив, прямо говорится, что это одна и та же волна: *«В советской дефектоскопической литературе ее называют головной (в дальнейшем используется это название), а в иностранной – ползущей».*

Наиболее простое принципиальное описание волн, образующихся при первом критическом угле, дано в работе [8] (см. фрагмент 7). Фактически то же изложено в работе [9] (см. фрагмент 8). Действительно, если установить следующую однозначность между обозначениями рис. А.5 а) из стандарта [8] и рис. 1 из работы [9]: 1 – продольные волны (compression waves) ↔ подповерхностная; 2 – поперечные волны (shear waves) ↔ боковая поперечная; 3 – первичная ползущая волна (primary creeping wave) ↔ продольно-поверхностная, то никаких различий в описании волн, образующихся при первом критическом угле, нет. При этом в работе [9] предложено интерференцию всех трех волн назвать термином «головные волны».

При анализе акустического поля мы можем искусственно выделять какие-то области внутри него в силу их значимости или ничтожности для данного рассмотрения, но делать это можно

в конкретных случаях, специально оговаривая и определяя такие возможности. На наш взгляд выделить в акустическом поле преобразователя отдельно продольную волну, отдельно продольно-подповерхностную, отдельно продольно-поверхностную с какими-то четкими границами невозможно. Такое разделение носит качественный характер и по большей части являет собой пример ложного наукообразия. Например, авторы работы [15] ограничились тем, что назвали волну, образованную при первом критическом угле, продольной подповерхностной волной, но никак не ограничили область этой волны. По крайней мере, в работе исследовалось поведение волны на глубинах от нуля вплоть до противоположной поверхности и даже переотражения от нее.

Безусловно структура акустического поля вблизи критических углов носит крайне сложный характер и, очевидно, введя какие-то критерии можно выделить зоны с особенностями, установить количественные механизмы влияния зон друг на друга, учесть перетоки энергии между ними и пр. Раскрытие подобных механизмов может и должно быть предметом самостоятельных исследований, но это совсем не значит, что необходимо разделять поле на несколько составляющих, никак не определяя разграничения между ними и по этой же причине путать одно с другим. Например, определение продольно-подповерхностной волны в работе [15] по смыслу включает в себя продольно-поверхностную и продольно-подповерхностную согласно работе [9] (фрагмент 8). На наш взгляд, все особенности акустического поля при первом критическом угле можно описать в рамках существующей терминологии не вовлекая в процесс дополнительные понятия, которые к тому же не имеют ясного определения. В общем, стремление к простоте тоже является научным принципом, известным как принцип «бритвы Оккама», одна из формулировок которого – «не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости». **Поэтому для качественного описания поля преобразователя вблизи критических углов вполне достаточно известных терминов: продольная волна, ползущая волна (скользящая продольная волна, вытекающая волна, creeping wave), боковая волна (головная волна, head wave).** Все эти термины известны, определены и, обычно, понятны большинству специалистов. К примеру, такое лаконичное изложение с понятной терминологией сделано в работе [8] (фрагмент 7). А вот определение границы или разницы между продольной поверхностной волной и продольной подповерхностной может быть совсем непростой задачей.

Использование уже известных терминов не ограничивает и не упрощает возможность опи-

сывать различные физические модели. Например, известно, что сигналы боковых волн имеют несколько иную форму, чем первоначальный импульс, т. е. импульс боковой волны отличается по форме от импульса волны, падающей на границу раздела сред. При больших расстояниях между точкой наблюдения и источником возмущения сигнал боковой волны будет связан с сигналом падающей волны (первоначальной) соотношением [16]:

$$f_{\text{бок}}(\tau) = \int_0^{\tau} f(t) dt,$$

где  $f(t)$  – мпульс падающей волны.

По этой причине спектр боковой волны имеет меньшую ширину и больший видимый период. Это явление известно всем специалистам, занимающимся методом TOFD, которые всегда наблюдают разницу в частоте первого сигнала (lateral wave) и всеми последующими и это различие не постоянно, а зависит от параметров тракта. Продольные волны, которые не распространяются вдоль границы, не обладают столь явным свойством изменения формы сигнала, но это не исключает переходной зоны с углами продольных волн близкими к  $90^\circ$ , где из-за дифракции мы сможем наблюдать это явление в несколько менее выраженной форме, чем в скользящей волне. И качественно понятно, что чем больше угол отличается от значения  $90^\circ$ , тем хуже будет наблюдаться явление изменения формы импульса. При этом не обязательно вводить новую волну для объяснения или описания данного явления или приписывать это явление исключительно ползущей волне. Лучше раскрывать механизмы, которые приводят к подобным явлениям.

### 5. Так что же такое «головная волна»?

В УЗК больше известен метод головных волн, чем сама головная волна. Метод головных волн входит в ряд широко известных нормативных документов:

- в НД [17] описана методика УЗК подповерхностной части сварных соединений головными волнами;
- в НД [18] изложена методика контроля аустенитной наплавки головными волнами;
- в НД [19] также приводится методика контроля аустенитной наплавки головными волнами.

В работе [20] (стр. 34) дается объяснение выбора термина «головная волна» для использования в УЗК: «Скорость продольных волн больше скорости волн других типов, поэтому неоднородная продольная волна обеспечивает максимальную скорость переноса сигнала вдоль поверхности твердого тела. По аналогии с сейсмоакустикой назовем эту волну головной».

На самом же деле какой-то понятной аналогии с сейсмоакустикой не наблюдается. Скорее наоборот. В сейсмоакустике головной называют

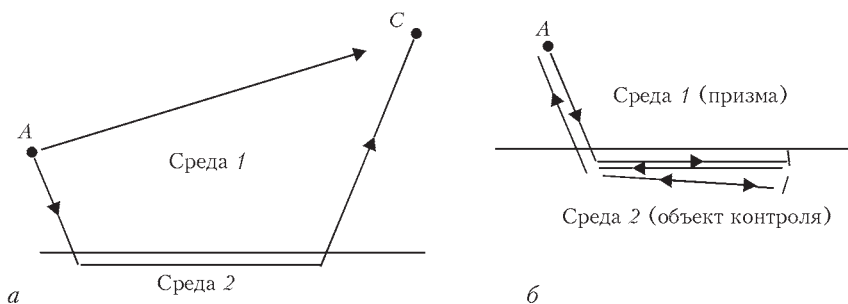


Рис. 3. Сравнение распространения волн: а – в сейсморазведке в методе преломленных волн; б – в УЗК в методе головных волн (отражение от приповерхностной несплошности)

боковую волну, а она вдоль поверхности не распространяется. На рис. 3 условно изображены схемы метода преломленных волн в сейсморазведке и схема выявления подповерхностных несплошностей в УЗК. В сейсмоакустике головная волна являет собой акустический эффект, благодаря чему она и обгоняет прямую волну, при этом сам факт наличия головной волны является важным: второй среды может не быть, а когда она есть, то появляется головная волна, которая позволяет установить глубину залегания границы и ее протяженность. В УЗК в методе головных волн уже по определению используют самые быстрые (продольные) волны во второй среде. При наличии отражателя они же первыми вернутся к преобразователю и в этом нет никакой особенности. Например, в толщинометрии используются продольные волны, и именно они всегда вызывают первый сигнал на А-скане. Но ведь из этого очевидного факта совсем не следует аналогия с головными волнами в сейсмоакустике.

Авторы той же работы [20] привели еще одно обоснование выбора термина «головная волна»: *«Может возникнуть вопрос о том, достаточно ли велико своеобразие волн рассматриваемого типа по сравнению с продольными волнами, чтобы назвать их специфическим термином «головные». На наш взгляд, такие особенности заключаются в закономерном распределении амплитуды напряжений под поверхностью тела, большой ширине диаграмм направленности как в плоскости падения, так и в плоскости поверхности изделия, возникновении боковых волн и т. д. Совокупность этих признаков делает полезным присвоение этим волнам специального названия».*

Очевидно, что приведенные соображения никак не связаны с семантикой слова «головная» или «головные». Возможно специальный термин для обозначения особенностей акустического поля преобразователя вблизи поверхности объекта контроля нужен и полезен, но так ли нужно было использовать уже известный термин, который, изначально имеет иное значение. В результате мы имеем не только терминологическую путаницу, но и смысловую.

### Заключение

На наш взгляд было бы правильным устранить указанную путаницу, применяя уже устоявшиеся и не вызывающие сомнения определения:

- головной волны в работах [1, 6, 21]. При этом термины «боковая волна» и «головная волна» считаются равными друг другу, по крайней мере, физически. В УЗК более правильно использовать термин «боковая волна», т. к. термин «головная волна» имеет явное смысловое содержание в сейсморазведке, а в УЗК – это просто заимствование;
- ползущей волны (скользящей, вытекающей) в работах [1, 7, 8].

В отношении употребления термина «головная волна» в смысле [9] необходимо специально об этом упоминать. Это необходимо по той причине, что термин «головная волна» в смысле [9] не эквивалентен термину головная волна из [1,2,3,5,6]. Поэтому упоминание о какой именно головной волне идет речь позволит избежать двусмысленности, чтение текста станет более легким и потребует меньше времени на осмысление. В уже имеющейся НД стараться понимать по контексту, о какой волне идет речь, например, если в тексте речь идет о контроле подповерхностных трещин (поднаплавочных), то, скорее всего, под термином «головная волна» имеют ввиду волну со свойствами в смысле [9]. В новых текстах следует обязательно отслеживать смысловое различие термина «головная волна» и устранять потенциальную двусмысленность дополнительным разъяснением. Например, в [4] термин «сгеering wave» переведен не дословно, а с учетом принятой в русскоязычной специальной литературе терминологии УЗК, а именно назван головной волной и, в результате, приведенное определение не только не согласуется с понятием головной волны в смысле [9], и, конечно, не согласуется с общеупотребительным определением головной или боковой (head wave, lateral wave) волны.

С точки зрения физического содержания термина головная волна в определении работы [9] для практических специалистов ультразвукового контроля можно посоветовать следующее. На наш взгляд при работе с методом головных волн под термином «головная волна» следует пони-

мать акустическое поле преобразователя вблизи первого критического угла. Физически это акустическое поле можно трактовать как некое суммарное поле или интерференцию различных волн, определенных в работах [8, 9]. Особенности этого поля лучше всего изучать экспериментально, что в той или иной мере все равно необходимо делать при настройке оборудования для выявления околоповерхностных несплошностей. Для тех же, кто не ищет легких путей и не ограничивается примитивными моделями, можно посоветовать уже классические работы по исследованию поля пьезоэлектрического преобразователя с углом ввода, равным или близким к первому критическому углу [6, 9, 15, 20, 21] и др.

Для удобства, однозначности и терминологической чистоты можно предложить заменить термин «головная волна» как он трактуется в работе [9] каким-либо иным более адекватным названием, а уже хорошо известный в УЗК метод головных волн переименовать по имени разработчика и популяризатора этого метода – Разыграева Н. П.: метод Разыграева, волны Разыграева. Для этого есть все предпосылки. Метод головных волн известен уже более сорока лет и является востребованным и достаточно популярным, присутствует во многих нормативных документах по УЗК, большинство специалистов знают и суть метода и его разработчика. Поэтому, это будет, с одной стороны, заслуженно, а с другой, рационально для поддержания терминологической строгости.

#### Список литературы

- ГОСТ 16821-91 *Сейсморазведка. Термины и определения.*
- Ланге Ю. В., Воронков В. А. (2003) *Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. Справочник.* Москва
- (2003) *Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения.* Справочное пособие. Серия 28. Неразрушающий контроль. Выпуск 4. Москва, Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр.
- ГОСТ Р ИСО 5577-2009 *Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Словарь терминов.*
- Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И. (1991) *Неразрушающий контроль.* В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пос. Сухоруков В. В. (ред.). Москва, Высшая школа.
- Бреховских Л. М. (1973) *Волны в слоистых средах.* Москва, Наука.
- ISO 5577:2017 *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary.*
- ISO 22825:2012. *Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys.*
- Разыграев Н. П. (2004) Ультразвуковая дефектоскопия головными волнами – физические предпосылки и практическое применение. *Дефектоскопия*, 9, 27–37.
- ДСТУ ENV 583-6:2005 *Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 6: Дифракційно-часовий метод для виявлення і визначення розмірів несутцільностей.*
- ДСТУ CEN/TS 14751:2008. *Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів.*
- (2007) *Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech guideline.* (URL: <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1)).

- <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1).
- Бондарев В. И. (2007) *Сейсморазведка.* Учебник для вузов. Екатеринбург, Изд-во УГГУ.
- Алешин Н. П., Ремизов А. Л., Дерябин А. А. (2015) *Курс лекций по контролю качества сварных соединений.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.
- Басацкая Л. В., Вopilкин А. Х., Ермолов И. Н. и др. (1978) К вопросу о распространении ультразвуковых продольных волн вблизи поверхности твердого тела. *Акустический журнал*, 24, 1, 15–20.
- Хмелевской В. К., Горбачев Ю. И., Калинин А. В. (2004) *Геофизические методы исследований. Учебное пособие для геологических специальностей вузов.* Петропавловск-Камчатский, Изд-во КГПУ.
- РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД-97). *Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения.*
- ПНАЭ Г-7-030-91. *Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть II. Контроль сварных соединений и наплавки.*
- СОУ НАЕК 032:2014 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля сварных соединений и наплавки».
- Ермолов И. Н., Разыграев Н. П., Щербинский В. Г. (1978) Использование акустических волн головного типа для ультразвукового контроля. *Дефектоскопия*, 1, 33–40.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. (2001) *Теоретическая физика: Учеб. пособ. для вузов.* В 10 т. Т. 6. Гидродинамика. Москва, ФИЗМАТЛИТ.

#### References

- GOST 16821-91: *Exploration seismology. Terms and definitions* [in Russian].
- Lange, Yu.V., Voronkov, V.A. (2003) *Nondestructive acoustic testing. Terms and definitions.* In: Refer. book. Moscow [in Russian].
- (2003) *Nondestructive testing system. Kinds (methods) and technology of nondestructive testing.* Terms and definitions. In: Refer. book. Series 28: Nondestructive testing. Issue 4. Moscow, State Unitary Enterprise “Scientific and Technical Centre [in Russian].
- GOST R ISO 5577-2009: *Nondestructive testing. Ultrasonic testing. Vocabulary of terms* [in Russian].
- Ermolov, I.N., Alyoshin, N.P., Potapov, A.I. (1991) *Nondestructive testing.* In: 5 books. Book 2: Acoustic methods of testing. In: Manual. Ed. by V.V. Sukhorukov. Moscow: Vysshaya Shkola [in Russian].
- Brekhovskiy, L.M. (1973) *Waves in stratified media.* Moscow, Nauka [in Russian].
- ISO 5577:2017: *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary.*
- ISO 22825:2012: *Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys.*
- Razygraev, N.P. (2004) *Ultrasonic flaw detection by head waves: Physical prerequisites and practical application.* *Defektoskopiya*, 9, 27–37 [in Russian].
- DSTU ENV 583-6:2005: *Non-destructive testing. Ultrasonic examination. Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities* [in Russian].
- DSTU CEN/TS 14751:2008. *Welding. Use of time-of-flight diffraction method (TOFD) for examination of welds* [in Russian].
- (2007) *Introduction to phased array ultrasonic technology applications: R/D Tech guideline.* (URL: <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1)).
- Bondarev, V.I. (2007) *Exploration seismology.* In: Manual for students of higher education institutes. Ekaterinburg, Izd-vo UGTU [in Russian].

14. Alyoshin, N.P., Remizov, A.L., Deryabin, A.A. (2015) *A course of lectures on quality control of welded joints*. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman [in Russian].
15. Basatskaya, L.V., Vopilkin, A.Kh., Ermolov, I.N. et al. (1978) On propagation of ultrasonic longitudinal waves near the surface of the solid. *Akusticheskij Zhurnal*, 24(1), 15–20 [in Russian].
16. Khmelevsky, V.K., Gorbachev, Yu.I., Kalinin, A.V. (2004) *Geophysical methods of investigation. In: Manual for geology specialties of higher education institutes*. Petropavlovsk-Kamchatsky, Izd-vo KGPU [in Russian].
17. RD 34.17.302-97 (OP 501 TsD-97): *Steam and water-heating boilers. Steam and hot water pipelines, vessels. Welded joints. Quality control. Ultrasonic testing. Main principles* [in Russian].
18. PNAEG -7-030-91: *Unified procedures for control of the main materials (semi-finished products), welded joints and deposits in equipment and piping of nuclear power plants. Ultrasonic testing. Pt 2: Control of welded joints and deposits* [in Russian].
19. SOU NAEK 032:2014: *Maintenance and repair. Ultrasonic nondestructive testing. Procedure of testing welded joints and deposits* [in Russian].
20. Ermolov, I.N., Razygraev, N.P., Shcherbinsky, V.G. (1978) Application of acoustic waves of head type for ultrasonic testing. *Defektoskopiya*, 1, 33–40 [in Russian].
21. Landau, L.D., Lifshits, E.M. (2001) *Theoretical physics. In: Manual for students of higher education institutes*. In: 10 Vol. Vol. 6: Hydrodynamics. Moscow, FIZMATLIT [in Russian].

ПРО ТЕРМІНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ В ПОЗНАЧЕННЯХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ПЕРШОМУ КРИТИЧНОМУ КУТІ

Є. О. ДАВИДОВ, В. П. ДЯДІН, А. Л. ШЕКЕРО  
 ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Метою даної роботи є дослідження практики застосування термінів «головна хвиля», «бічна хвиля», «повзуча хвиля», яка на даний момент є досить неоднозначною і суперечливою. Бібліогр. 21, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: акустична хвиля, головна хвиля, бічна хвиля, повзуча хвиля, ковзна хвиля, ультразвуковий контроль

ON TERMINOLOGICAL PECULIARITIES OF DESIGNATION OF ULTRASONIC WAVES FORMED AT THE FIRST CRITICAL ANGLE

E. A. DAVYDOV, V. P. DYADIN, A. L. SHEKERO

E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU, 11 Kazimir Malevich str., Kiev-150, 03680, E-mail: office@paton.kiev.ua

The objective of this work is studying the established practice of application of «head wave», «side wave», «creeping wave», which at present is quite ambiguous and contradictory. 21 Ref., 2 Tables, 3 Fig.

Keywords: acoustic wave, head wave, side wave, creeping wave, sliding wave

Поступила в редакцію  
 14.06.2018

НОВІ КНИГИ



Божидарнік В.В., Скальський В.Р., Матвіїв Ю.Я. **Діагностування руйнування скловолоконних композитів методом акустичної емісії.** – К.: Наукова думка, 2013. – 256 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Станкевич О.М. **Акустико-емісійне діагностування типів макроруйнування конструкційних матеріалів.** – К.: Наукова думка, 2014. – 264 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Долінська І.Я. **Основи механіки руйнування для зварювальників: навч. посіб.** – Луцьк, 2014. – 356 с.



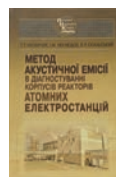
Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Почапський Є.П. **Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів.** – К.: Наукова думка, 2014. – 304 с.



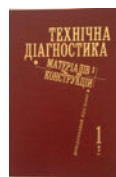
Скальський В.Р., Ярема Р.Я. **Методи розрахунку ресурсу, відновлення і відбракування кілець буксового підшипника локомотивів.** – Львів, 2015. – 288 с.



Метод акустичної емісії в дослідженні стоматологічних полімерів / В.Р. Скальський, В.Ф. Макеев, О.М. Станкевич, О.С. Кирманов, Б.П. Клим. – Львів: Кварт, 2015. – 150 с.



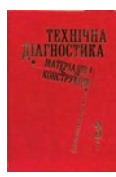
Назарчук З.Т., Неклюдов І.М., Скальський В.Р. **Метод акустичної емісії в діагностуванні корпусів реакторів атомних електростанцій.** – К.: наукова думка, 2016. – 306 с.



**Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми т. Том 1. Експлуатаційна деградація конструкційних матеріалів / Є.І. Крижанівський, О.П. Остап, Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, П.В. Ясній;** за заг. ред. З.Т. Назарчука. – Львів: Простір-М, 2016. – 360 с.



Nazarchuk Z., Skalskyi V., Serhiyenko O. **Acoustic emission. Methodology and Application.** – Springer International Publishing AG, 2017. – XIV, 283 p.



**Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми томах. Том 3. Моніторинг напруженого стану елементів конструкцій з використанням електромагнітних хвиль оптичного діапазону. / Л. М. Лобанов, Л. І. Муравський, В. А. Півторак, Т. І. Вороняк.** – Львів: «Простір-М», 2017. – 340 с.



В. В. Кныш, С. А. Соловей. **Повышение долговечности сварных соединений с усталостными повреждениями.** – Киев, КПИ им. Игоря Сикорского, 2017. – 315 с. Твердый переплет, 150×225 мм.