

межуточное охлаждение в судовых ГТД при изменении температуры воздуха на входе // *Авиационно-космическая техника и технология: Научн.-техн. журн.* – 2005. – № 8 (24). – С. 62-65. 9. Радченко Н.И., Сирота А.А., Тарасенко М.А. Оптимальное промежуточное охлаждение судовых газотурбинных двигателей // *Авиационно-космическая техника и технология: Научн.-техн. журн.* – 2005. – № 9

(25). – С. 43-47. 10. Сорока Я.Х. Теория и проектирование судовых газотурбинных двигателей: Уч. пособие. – Л.: Судостроение, 1982. – 112 с. 11. Романовский Г.Ф., Василенко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування судових газотурбінних агрегатів: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 304 с.

УДК 621.7.044

В.К. Борисевич, д-р техн. наук, В.В. Третьяк, канд. техн. наук, А.В. Шкалова, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

Введение

Внедрение в производство новейших научных достижений, связанных с разработкой современных экономически выгодных ресурсосберегающих технологий непременно приведет к улучшению качества выпускаемых изделий, значительному повышению производительности труда в различных отраслях промышленности, а также к облегчению условия труда. Внедрение новейших технологий делает продукцию предприятий конкурентно-способной на мировом рынке.

К сожалению, у нас в стране для обеспечения выпуска продукции объема 1990 г. имеется огромный дефицит кузнечно-прессового оборудования, которое в большинстве своем морально устарело или требует капитального ремонта. Ликвидировать этот дефицит в течение короткого промежутка времени практически невозможно. Необходим поиск и внедрение в производство новых технологических

процессов и оборудования, которые могли бы в кратчайший срок восполнить этот недостаток. Таким процессом, в первую очередь, может быть взрывное формообразование. В эти процессы входят листовая и объемная штамповка и все ее разновидности, пресование сыпучих материалов (металлические порошки, стружка, керамика и т.д.), получение материалов с новыми свойствами (например, с плотноупакованными структурами) и т.д.

Кроме того, на существующем оборудовании традиционными методами во многих случаях невозможно получать изделия из современных трудноштампуемых высококачественных сплавов.

Одновременно следует отметить, что современное машиностроение требует резкого ужесточения допусков на размеры конструкции (это требование и качества). При холодной штамповке высокопрочных материалов на существующих самых мощных прес-

сах обычными технологиями это практически неосуществимо.

1. Традиционные и перспективные схемы взрывной штамповки

Интерес, проявленный промышленностью к обработке металлов взрывом, диктуется еще и тем, что взрывчатые вещества (ВВ) обладают большим запасом энергии в небольшом объеме и эта энергия выделяется при взрыве в течение очень короткого времени, что дает возможность получить огромные мощности. При этом упрощается основное оборудование и штамповая оснастка, габариты деталей, при определенных технологических схемах взрывания,

ничем не ограничиваются, расход ВВ мал, а стоимость их низка.

Вместе с тем применение этого эффективного метода производства деталей часто задерживается из-за недостаточного количества теоретических и экспериментальных исследований в области дисперсных сред, касающихся распространения в них ударных волн и переноса энергии гидротоком, представляющим собой многофазную среду (жидкость, воздушные и газовые пузырьки и т.д.). Это мешает правильно проектировать рабочую оснастку и оборудование, а также рекомендовать надежные методы расчета параметров процесса. Основные существующие и перспективные схемы взрывного нагружения заготовок представлены ниже на рис 1 и 2.

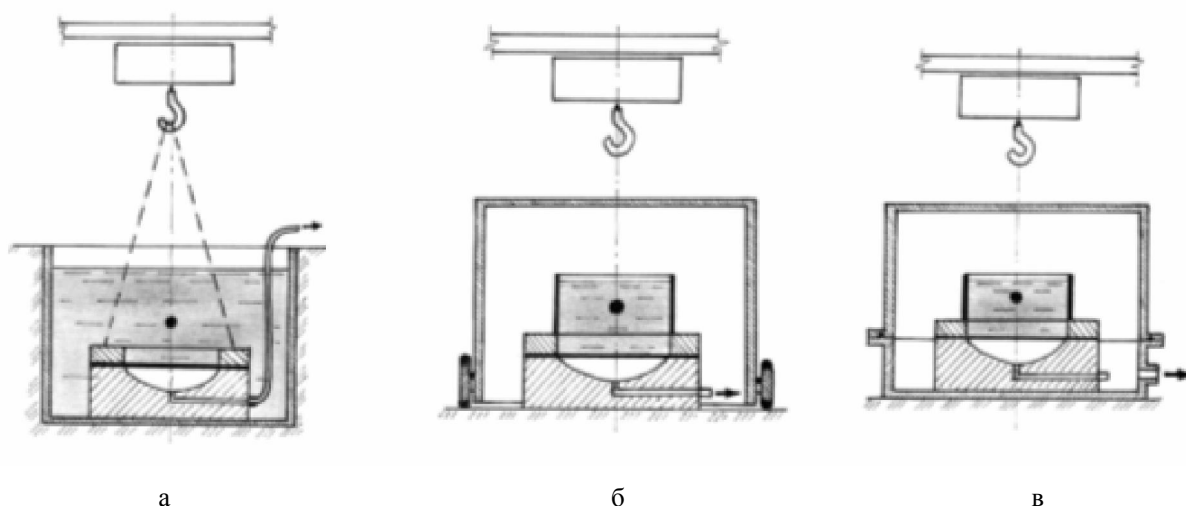


Рис. 1. Традиционные установки для листовой штамповки взрывом:

а) гидровзрывной бассейн для листовой штамповки б) бронекamera для листовой штамповки

Как видно из приведенных схем установок нагружение заготовки, расположенной в различных областях действия заряда бризантного или другого ВВ, является сложным процессом, сопровождаемым к тому же возникновением и схлопыванием зон кавитации, как в верхней части у свободной поверхности, так и в зоне перемещающейся заготовки или дна бассейна. Т.о при различных схемах штамповки условия передачи энергии объекту деформирования – разные.

2. Типовые схемы и анализ силового воздействия

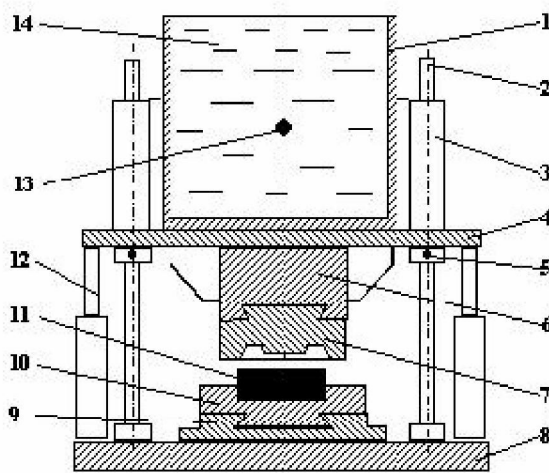
Уравнения идеальной жидкости в этих зонах не выполняются. Для описания движения жидкости в кавитационных зонах мы используем различные уравнения [1,]. При этом в основном используются модели кавитирующей жидкости основанные на постоянстве давления или скорости звука в среде. Но в ряде случаев (например, если кавитационные про-

цессы относительно длительные) расчеты по таким моделям приводят к большим погрешностям.

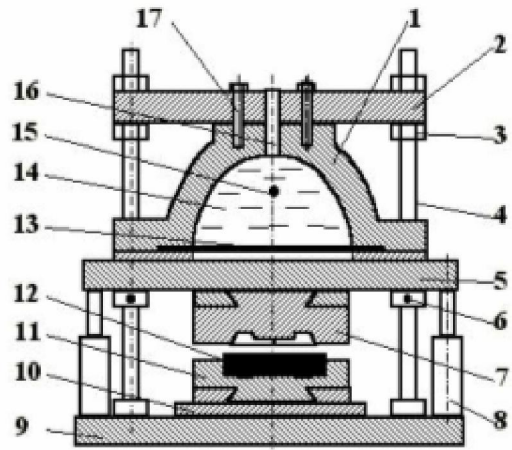
Поэтому, при исследовании процессов взрывной штамповки более удобны уравнения двухфазной газожидкостной среды, справедливые как в зонах кавитации, так и вне их.

Хорошо было бы найти обобщающие уравнения, а не применять различные (для каждого участка прохождения силовых параметров) для каждой уста-

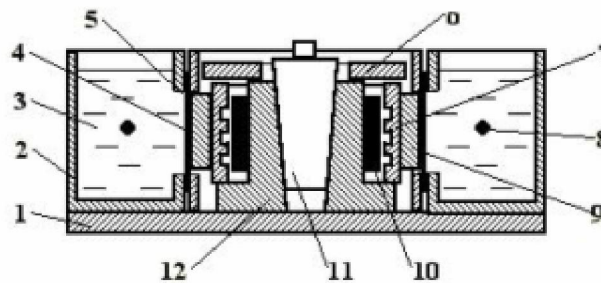
новки. В крайнем случае, следовало бы найти (может быть на основании проведенных экспериментов) аппроксимирующие графики, на базе которых составить соответствующие уравнения. В свое время аналогичные задачи в разных постановках (но не для случаев взрывной штамповки в ограниченном пространстве) решались Л.В. Овсянниковым в Сибирской академии наук СССР.



а). Схема ВСУ на базе бассейна для взрывной штамповки энергией БВВ:
1-бассейн, 2-колонны, 3-втулки, 4-траверса, 5-фиксатор (чека), 6-пуансонодержатель, 7-пуансон, 8-основание, 9-стол подвижный, 10-матрица, 11-заготовка, 12-цилиндры возврата, 13-заряд БВВ, 14-вода



б). Схема ВСУ на базе взрывного пресса ВП-02: 1-камера взрывная, 2-траверса неподвижная, 3-гайка, 4-колонны, 5-траверса подвижная, 6-фиксатор (чека), 7-пуансон, 8-цилиндры возврата, 9-основание, 10-стол подвижный, 11-матрица, 12-заготовка, 13-диафрагма эластичная, 14-вода, 15-заряд БВВ, 16-отверстие, 17-винты крепления



в). Установка для штамповки рельефов на наружных поверхностях труб: 1-основание, 2-бассейн кольцевой, 3-вода, 4-трубчатая диафрагма, 5-корпус диафрагмы, 6-кольцо, 7-пуансоны, 8-заряд БВ, 9-разрезной пуансонодержатель, 10-заготовка, 11-конус поддерживающий, 12-корпус опорный

Рис. 2. Перспективные установки для объемной штамповки взрывом

Одна из рассматриваемых им моделей волновых движений двухслойной жидкости в асимптоти-

ческом приближении "мелкой воды" описывает движение со свободной верхней границей (в нашем слу-

чае движение у свободной поверхности) и представляет собой автономную квазистатическую систему из четырех дифференциальных уравнений первого порядка. Принципиальная особенность этой системы состоит в том, что в определенной области значений глубин слоев и скоростей течений она имеет составной тип, в то время как вне этой области является строго гиперболической. Этот факт тоже нуждается в детальном анализе.

Во второй его модели одна из границ представляет собой горизонтальную непроницаемую стенку (похоже у нас на схему явлений, происходящих у дна бассейна с появляющейся там кавитацией). Но у Л.В. Овсянникова [2] двухслойная жидкость движется в горизонтальной трубе или, как сказано в тексте, "под крышкой". В этой модели, состоящей всего из двух дифференциальных уравнений, получается система эллиптико-гиперболического типа – более простая и однородная для всей рассматриваемой области. Таким образом, попытки решить подобные задачи аналитически уже были. А сейчас, обладая хорошей вычислительной техникой, можно самые сложные аналитические задачи довести до конкретного решения – это совместное дело и расчетчиков и практиков-проектировщиков.

У нас же она, приближенно, решена в теоретическом плане без учета дисперсности сред, но с учетом эмпирических зависимостей [3], которые корректируют результаты расчетов экспериментальных данных, полученных в ХАИ с помощью схем, изображенной на рис. 3 а и б.

Ход получения результатов следующий. На донную часть бассейна (рис. 3 а) и его боковые стенки действует ударная волна, влияние которой ослабляется волнами разгрузки, возникающими при отражении ударных волн от свободной поверхности воды с некоторым запозданием.

При расширении продуктов детонации ВВ на дно установки действует сила, значение которой за-

висит от заглубления заряда. Эта сила в начале положительна, а при перерасширении газового пузыря становится отрицательной в связи постепенным снижением давления в пузыре до его минимального значения. Дальше происходит схлопывание пузыря. В результате этого возникает интенсивная волна давления, а потом происходит повторное расширение пузыря. Этот процесс может повторяться многократно. Под действием ударных волн, в том числе, и отраженных от стенок бассейна, и положительной фазы давления в пузыре, бассейн перемещается вниз. Это давление тормозится волной разгрузки и отрицательным давлением в пузыре.

Поскольку последнее долговременно, его действие приводит к обратному движению бассейна. При схлопывании пузыря результирующий вектор сил направлен в сторону дна, что вызывает перемещение бассейна вниз, и, поскольку он имеет значительную массу, его кинетическая энергия может достигать значительной величины.

При этом мы рассматриваем влияние гидропотока и ударной волны, как составной единой волны давления, что справедливо в акустическом приближении.

Сила, которая действует на дно, определяется из зависимости

$$F = \frac{I}{\tau},$$

где I - импульс силы, действующий на отрезке времени τ .

Время τ действия давления для экспоненциального импульса давления принимается на практике от 5 до 10 θ , где θ - постоянная времени.

Формула для вычисления импульса имеет вид

$$I = 4\pi \int_{R_3}^{R_4} i \cdot R dr,$$

где R_4 - координата в плоскости дна фронта волны давления; R_3 - положение «хвоста» волны, соответ-

ствующего $\tau = 10 \theta$; i - удельный импульс давления.

При полной реализации давления при $\tau = 10 \theta$, $i = 1,48 P_m \theta$, где P_m - максимальное давление;

Полный импульс, действующий на дно определяется, полученной нами зависимостью

$$I = 18,6 \cdot 0,62^{1-\beta} \cdot A \cdot B \cdot G^{\frac{1+\alpha-\beta}{3}} \cdot \rho_3^{\frac{\beta-1}{3}} \cdot C_0^{-1} \cdot \frac{1}{\beta-\alpha+2} \left[\left(R^2 + h^2 \right)^{\frac{\beta-\alpha+2}{2}} - h^{\beta-\alpha+2} \right],$$

где G - масса заряда; A, B, α, β - константы заряда; C_0 - скорость звука в воде; h - высота подвески заряда; ρ_3 - плотность заряда; $R = R_\delta \cdot \varphi$.

Результаты расчета временной зависимости импульса силы и силы по приведенным в разделе зависимостям для прямой волны представлены на рис.4 (а, б) при $G=0,001\text{кг}$, $R_{\max} = R_\delta = 0,35\text{ м}$.

Это приближенный расчет, т.к. он предусматривает мгновенную реализацию давления в рассматриваемой точке на дне.

Далее исследуется воздействие волны давления на дно установки с учетом ее отражения от стенок.

Особенности распространения ударной волны, возникающей при взрыве сферического заряда, находящегося на оси цилиндрической емкости, является то, что вначале волна давления имеет сферическую симметрию, а после отражения от стенки на нее накладывается цилиндрическая симметрия.

Расчетная схема для отраженных волн представлена на рис. 3 б.

Здесь сферический заряд G , с целью облегчения анализа влияния отраженной волны, заменен мнимым линейным кольцевым зарядом G' , расположенным симметрично относительно стенки бассейна, что дало возможность применить законы распространения цилиндрической волны и эффект фокусирования волны давления после отражения.

Отраженная волна начинает действовать с момента прихода прямой волны в угол бассейна. Она

концентрично проходит через центр и снова достигает стенки. Это первая волна отражения. В дальнейшем этот процесс повторяется многократно.

При перемещении волны от стенки к центру выражение для максимального давления в точке R_B принимает вид:

$$P_{Bn,m} = \sum_{i=1}^n P_{B,m} \\ P_{Bn,m} = 2 \sum_{i=1}^n \frac{K (2iR_\delta - R_B)^{-\alpha_1}}{R_B^{-1}} \times \\ \times \cos^\alpha \cdot \gamma_{i_1} \cdot f_{i_1}(t) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{K (2iR_\delta + R_B)^{-\alpha_1}}{R_B^{-1}} \times \\ \times \cos^\alpha \cdot \gamma_{i_2} \cdot f_{i_2}(t) + P_{B_0,m} \cdot f_{i_0}(t)$$

Здесь первая составляющая выражения обозначает сумму давления от прохождения отраженных волн на участке от стенки до центра, вторая составляющая определяется прохождением предыдущих волн на участке от центра до стенки, а третья составляющая отражает действие прямой волны на дно установки.

Поле давления в момент, когда фронт ударной волны находится в точке R_{Bn} может быть определено вычислением давления путем умножения моментального давления в данной точке на временную функцию, которая учитывает разность времени между временем прихода волны в точку R_B и в точку, которая рассматривается

$$P_{Bn_i} = P_{Bn_i,m} F_{n_i}(t)$$

Для расчета параметров, которые обозначают силу и полный импульс выведение формулы является сложным и неудобным.

С целью упрощения расчетов процесс нагружения отраженными волнами мы рассматриваем в площадке, отображенной за границами бассейна (рис. 3 б).

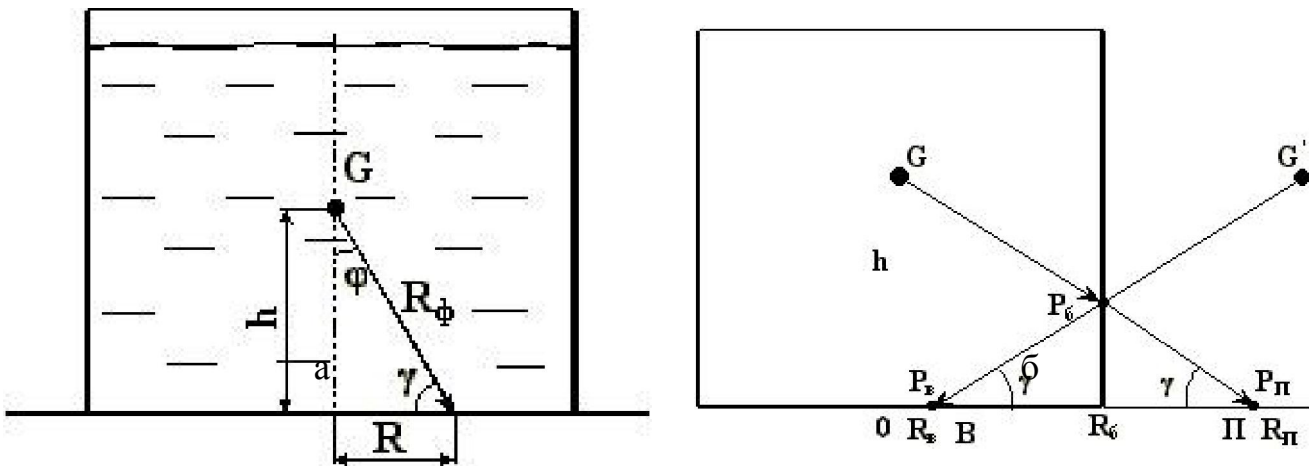


Рис. 3. Расчетная схема нагружения для а) прямой и б) отраженной волны

Стенка цилиндрической емкости рассматривается, как источник повторного излучения. Критерием правомочности этой модели есть закон сохранения количества движения (импульса силы). Т.е. импульсы отраженной волны, которые рассмотрены в середине бассейна, за бассейном и при отсутствии стенок бассейна должны быть равными.

При распространении ударной волны в середине бассейна, после многих отражений часть волн встречается с поверхностью газового пузыря и не достигнет дна.

Наряду с этим давление в волнах, которые достигли дна, падает до нуля при времени $t_{3 \max} = t_{2 \max} + t^+$, которое определяется временем падения давления в газовом пузыре до нуля t^+ .

Окончательная зависимость, с учетом всех принятых ограничений и допущений, для расчета силы, которая действует на дно бассейна, имеет вид

$$F_4(t) = \begin{cases} F_1(t), & \text{когда } t < t_\delta \\ F_2(t), & \text{когда } t > t_\delta, t < t_{2 \max} \\ F_3(t), & \text{когда } t > t_{2 \max} \end{cases}$$

$$I(R) = \begin{cases} I_1(R), & \text{если } (R < R_\delta), (R < R_{2 \max}) \\ I_2(R), & \text{если } (R > R_\delta), (R < R_{2 \max}) \end{cases}$$

где $F_1(t), F_2(t), F_3(t), I_1(R)$ и $I_2(R)$ определены также в работе [3].

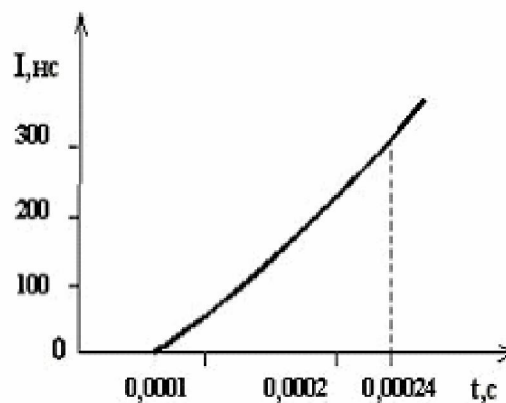
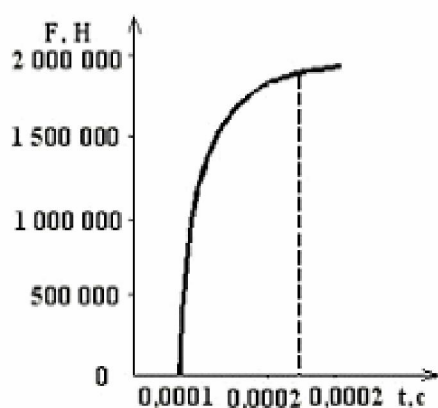
Заключение

Результаты расчетов для заряда $G=0,001$ кг, $h=0,1$ м и $R_\delta < 0,35$ м представлены на рис.4 .

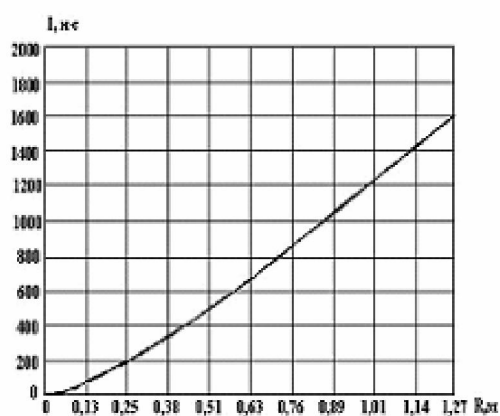
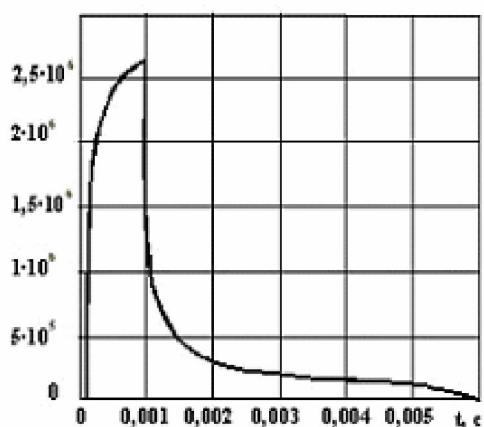
В зависимости от времени развития пузыря и энергии, которая содержится в них (до $0,5E$, содержится в ВВ) при пренебрежении вертикальным движением пузыря и величиной его заглубления, производятся расчеты сил, действующие на дно при его схлопывании (при первом схлопывании она составляет $(0,4 \div 0,45)E_{г.п.}$).

Суммирование этих сил, с учетом времени воздействия на дно, и введение некоторых поправочных коэффициентов, дает приемлемые для практики результаты.

К сожалению, для сложных систем расхождения с истинными значениями усилий, действующих на заготовку, достигает 30-40% и, главное, они могут быть положительными (до указанного уровня) и отрицательными до 15 -20%.



$F_4(t), H$



а

б

Рис. 4. Зависимость а) силы от прямой и с учетом отраженной волн и б) импульса силы от времени и эффективного радиуса, действующих на дно установки

Список литературы:

1. Андреев В.К., Пухначев В.В. О движении конечной массы // Журнал прикладн. мех-ки и тех-кой физики АН СССР. – 1979. – № 3. – С. 25-43. 2. Ов-

сянников Л.В. Модели двухслойной мелкой воды // Журнал. прикладн. мех-ки и тех-кой физики АН СССР. – 1979. – № 2. – С. 3-14. 3. Коул Р. Подводные взрывы. – М.: Изд-во иностр. литер., 1950. – 495 с.