

нии, твердость, микроструктуру и скорость коррозии стальных листов. В экспериментальном исследовании использовались образцы листов различной толщины из низкоуглеродистой стали, полученные холодной и горячей прокаткой в Ливийской металлургической компании (город Мисурата). Экспериментальные результаты показывают изменение основных механических свойств при операции прокатки для уменьшения толщины листа. Холодная и горячая прокатка вызывают изменения в микроструктуре из-за пластической деформации и температурных воздействий. Также при холодной прокатке увеличиваются прочность при растяжении, твердость и скорости коррозии, в то время как пластичность уменьшается. При горячей прокатке из-за высокой температуры прочность при растяжении и твердость уменьшаются, а пластичность и скорость коррозии увеличиваются.

Получено 04.01.2011

**ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011**

---

УДК 539.3 : 621.311.25

*В. В. ДУБИНИН*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,  
Россия*

## **ЗАДАЧА ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ПРЕДМЕТОВ В КОНТУРАХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (АЭС)**

Разработан метод определения места и параметров нормального к образующей удара материальной точкой по цилиндрической оболочке. Данное исследование необходимо для обеспечения безопасности атомных электростанций (АЭС) при обнаружении оторвавшихся или полуоторвавшихся тел. Ранее [1, 2] было найдено аналитическое решение задачи об ударе точкой по цилиндрической оболочке и создан метод расчета радиальных ускорений точек оболочки.

В настоящей статье предложено решение проблемы по определению места удара, а также массы и скорости ударяющей точки (тела). Анализ расчетов колебаний оболочки показал, что необходимо за параметр оценки уровня энергетики удара выбирать величину среднего ускорения в спектре ускорений за определенный отрезок времени. Многочисленные расчеты позволили получить зависимости среднего ускорения от расстояния до места удара, скорости точки определенной массы. Зависимости подтверждены экспериментально и использованы для реальных решений многокритериальной задачи.

Одна из проблем обеспечения безопасности АЭС состоит в обнаружении подвижных предметов внутри контура электростанции. Выход из создавшейся ситуации включает решение двух задач: об ударе телом по цилиндрической оболочке [1, 2] и обратной – определения параметров удара.

Рассмотрим обратную задачу определения параметров для случая упругого удара по Герцу с использованием идеи Тимошенко – при взаимодействии тел учитывается местное упругое смятие тела и оболочки. Материальная точка представляется шаром, учитывается геометрия удара: сфера плюс цилиндрическая оболочка. В результате получены решения задач об ударе точкой по оболочке и о колебаниях точек оболочки и движении фронта волны радиальных ускорений.

Решение получено для перемещений, скоростей и ускорений точек оболочки по осевой и окружной координатам в двойных временных рядах. Доказана сходимость рядов по параметрам для перемещений, скоростей и условная сходимость для ускорений точек оболочки. Полученные аналитические зависимости и выполненные на их основе расчеты параметров энергетики удара позволили выбрать в качестве критерия отклика точки оболочки среднее ускорение за 1 мс, что подтвердилось в ходе проведенных автором экспериментов. Чтобы найти место и скорость удара точки, необходимо решить многокритериальную задачу. Для этого следует получить зависимости среднего ускорения в точках оболочки от параметров удара.

Метод получения этих зависимостей представим в виде создания базы расчетных данных. Сначала рассчитываются зависимости ускорений точек оболочки от времени и определяются средние ускорения в различных условиях удара.

Полученные зависимости средних ускорений от расстояния до измерительного датчика для точек с различными массами и при различных скоростях удара приведены на рисунке 1. Полезными являются и зависимости средних ускорений точки оболочки от скорости удара точки заданной массы. Построены также зависимости средних ускорений точек оболочки при постоянных скоростях удара от массы точки (рисунки 2, 3).

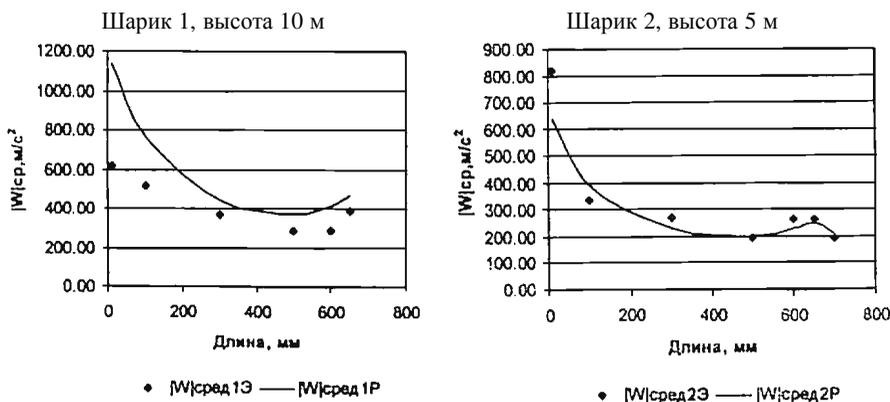


Рисунок 1 – Зависимость среднего ускорения от расстояния до датчика

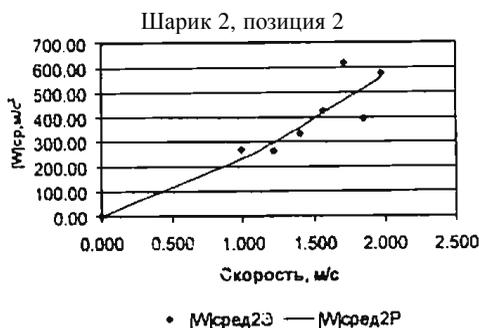


Рисунок 2 – Зависимость значений среднего ускорения от скорости удара

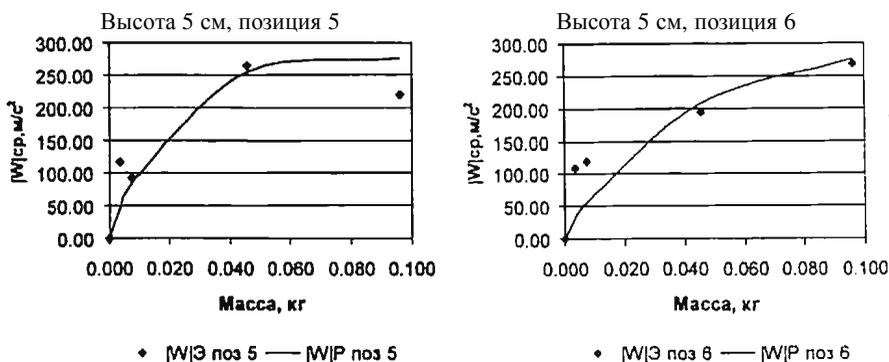


Рисунок 3 – Зависимость значений среднего ускорения от массы шарика

Были проведены экспериментальные исследования, в которых получены зависимости ускорений и средних ускорений различных точек оболочек от параметров удара.

В экспериментах инерционными датчиками замерялись радиальные ускорения. Разброс записанных значений ускорений при одинаковых условиях эксперимента, вообще говоря, для таких процессов значительный, поэтому для получения правдоподобных результатов приходилось увеличивать количество повторов одного эксперимента от пяти до двадцати раз. Временной интервал осреднения исследовался для 1; 1,5; 2 мс. Наилучшие результаты получены для 1 мс, в этом интервале укладывалось 18 показаний датчиков и здесь, в основном, сосредоточены существенные части колебательного процесса точек оболочки. В Microsoft Excel построены табличные абсолютные значения показаний датчиков и проведено усреднение на 1 мс. Несмотря на сложность задачи и проведения экспериментов следует признать удовлетво-

рительную сходимость экспериментальных данных с теорией. В экспериментах использовалась труба длиной 1,52 м и радиусом 0,051 м, толщина стенки трубы 2 мм. Масса точек (стальных шариков) в эксперименте изменялась в пределах 3,6–95,5 г. Расстояние между датчиками ( 2 шт.) – 0,36 м. Места замеров располагались на расстояниях от датчика 0,018; 0,1; 0,3; 0,5; 0,6; 0,65; 0,7 м. Экспериментальные значения указаны на рисунках. Скорости удара точки по оболочке изменялись в пределах 0,98–1,99 м/с.

Результаты решения задачи об определении места и параметров удара точкой по цилиндрической оболочке даны в таблице 1.

Таблица 1 – Определение места удара, скорости и массы ударяющего тела (точки)

Номер измерения	$t_1$ , мс	$t_2$ , мс	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$ W_1 $ , м/с <sup>2</sup>	$ W_2 $ , м/с <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	0,1	0,46	0,1	0,46	610	320
2	0,3	0,66	0,3	0,66	250	200
3	0,1	0,26	0,1	0,26	610	390
4	0,1	0,46	0,1	0,46	780	420
5	0,1	0,46	0,1	0,46	310	120
6	0,3	0,66	0,3	0,66	580	400
7	0,3	0,06	0,3	0,06	100	320

Окончание таблицы 1

Номер измерения	$v$ , м/с; $m$ , г						$v$ , м/с	$m$ , г
	1-е приближение		2-е приближение		3-е приближение			
	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,4	45,3	–	–	1,4	42	1,4	43,7
2	0,99	45,3	1,1	45,3	0,99	54,2	1,03	48,3
3	1,4	45,3	1,45	47	1,44	45,3	1,43	45,9
4	1,4	95,5	1,4	95	–	–	1,4	95,3
5	1,4	7,4	1,4	9,6	1,43	7,4	1,41	8,1
6	2	45,3	–	–	–	–	2	45,3
7	1,4	3,6	1,4	3,4	1,4	4,2	1,4	3,8

Скорость распространения фронта волны радиальных ускорений определена для стальной трубы экспериментально, она равна ~ 1000 м/с.

В расчетах 3 и 7 место удара находится между инерционными датчиками. В позиции 6 определялось значение среднего ускорения ~ 400 м/с<sup>2</sup>, зафиксированного вторым датчиком. Удар был ближе к этому датчику.

В таблице 1 представлены значения ( $l_1$ ,  $l_2$ ) расстояний от места удара до инерционных записывающих сигналы датчиков и время распространения

сигналов  $(t_1, t_2)$ , значения средних ускорений  $|W|$ , записанных датчиками, а также значения скорости  $v$  и массы ударяющего тела (точки)  $m$ .

Решение задачи обнаружения места удара велось с помощью показаний датчиков. Сигналы датчиков обрабатывались и определялись средние ускорения при различных точках удара. С помощью этих данных, а также типовых зависимостей такого же вида, как на рисунках 1–3, находились скорость и масса ударяющей точки. В ряде случаев для получения решения потребовалось несколько приближений. Средние ускорения устанавливались на основе теоретических расчетов и данных экспериментов. Удовлетворительное совпадение этих результатов позволило получить в таблице 1 значения, близкие к реальным.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Дубинин, В. В.** Определение места удара и параметров удара твердого тела по цилиндрической оболочке / В. В. Дубинин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». – 2006. – № 3 (22). – С. 99–105.

2 **Дубинин, В. В.** Теоретическое и экспериментальное исследования удара материальной точки по цилиндрической оболочке / В. В. Дубинин, С. Н. Банников, В. В. Лапшин // Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН. – 2001. – № 77. – 25 с.

*V. V. DUBININ*

### **THE PROBLEM OF DETECTING MOVING OBJECTS IN THE OUTLINE OF NUCLEAR POWER PLANTS (NPP)**

Developed a method for determining the location and parameters of the normal to the generator of impact a material point on the cylindrical shell. The necessity of this study, repetition appears in ensuring the safety of NPP for the detection of detached or self-detached bodies. Earlier found an analytic solution of the impact point on the cylindrical shell and given method of calculating the radial accelerations of points of the shell.

In this paper offers a solution to the problem of determining the point of impact, as well as weight and speed striking point (the body). Analysis of vibrations of a shell calculations showed that the need for parameter estimation of a level of energy hitting you, taking the average value of acceleration in the spectrum of acceleration for a certain period of time. Numerous calculations have yielded dependence of the average acceleration measurements of the distance from the point of impact, the velocity of point a certain mass. Dependence are confirmed experimentally and used for real solutions to many-criteria problem.

Получено 14.03.2011