

эталонных грузов к захватному устройству с тензодатчиком. В процессе калибровки определяют зависимость между массой грузов и амплитудой сигнала на осциллографе, сохраняя постоянную скорость отслаивания материала.

Исследуемые образцы клейких лент. Во время проведения экспериментальных исследований были использованы разные виды клейких лент длиной 100 мм. В качестве жесткого основания использовалась пластина из фольгированного медью стеклотекстолита.

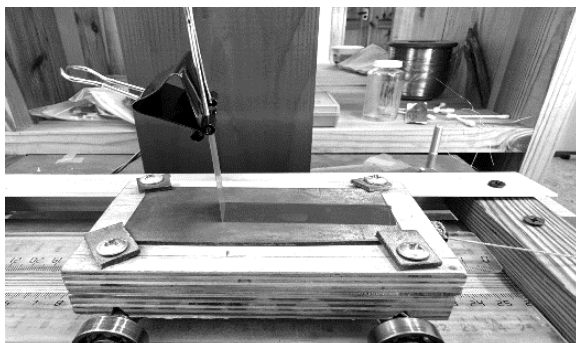


Рисунок 3 – Фотографии положения свободного конца испытуемого пластыря относительно вертикали отслаивания от жесткой пластины

Пластина с испытуемым образцом пластыря закреплялась на горизонтальной каретке устройства. Свободный конец образца фиксировался в пружинном зажиме. После этого на блоке питания устанавливалось необходимое значение напряжения питания электродвигателя 3,1 В, которому соответствует требуемая скорость перемещения свободного конца образца испытуемого пластыря. Затем включался электродвигатель на выполнение процедуры отслаивания образца испытуемого пластыря от пластины с непрерывной регистрацией на экране осциллографа усилия отслаивания за время проведения эксперимента

УДК 615.82

УСТРОЙСТВО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА ДЛЯ УДАРНО-ВОЛНОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Каменев З. А., Семенов Н. С., Мониц С. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В данной работе рассматривается использование ударно-волновой терапии в медицине для лечения и профилактики заболеваний суставов и позвоночника. Представлена схема конструкции ударно-волнового генератора, дополненного лазерной системой, а также описан принцип его работы. Преимуществами данной конструкции являются низкая амплитуда полуволны отрицательного давления, снижение индуктивности рассеяния и возможность изменения длительности импульса.

Ключевые слова: ударно-волновая терапия, позвоночник, ударно-волновой генератор, лазерная система

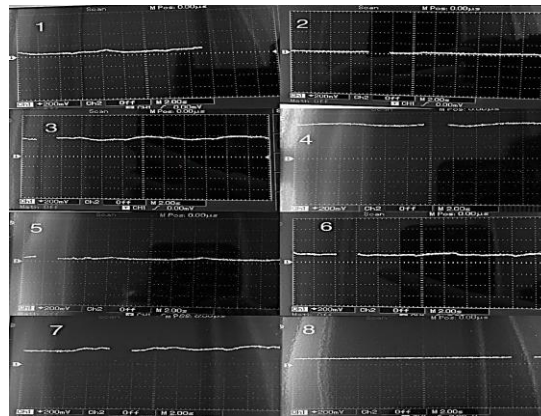
THE POSITIONING DEVICE FOR A LASER-BASED IMPACT WAVE GENERATOR

Kamenev Z. A., Semenov N. S., Monich S. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. This paper discusses the use of shock wave therapy in medicine for the treatment and prevention of joint and spinal diseases. It presents a design scheme for a shock wave generator equipped with a laser system and describes its operation. The advantages of this design include a low negative pressure half-wave amplitude, reduced scattering inductance, and the ability to adjust the pulse duration.

Результаты исследований. На рисунке 4 милливольт равен 0,0163 Н. Следовательно, по результатам проведенных экспериментальных исследований были установлены средние величины усилия, равные: для 1 – 1,304 Н; 2 – 0,0489 Н; 3 – 5,542 Н; 4 – 9,78 Н; 5 – 1,41 Н; 6 – 2,119 Н; 7 – 4,401 Н.



1 – ПВХ изолента «Онлайн»; 2 – изолента «Ермак»; 3 – клейкая лента «Ермак»; 4 – влагоустойчивая тканевая лента «Folsen»; 5 – лента клеящая монтажная «Ермак»; 6 – лента клейкая двухсторонняя вспенной основе «YourTools»; 7 – скотч малярный «Startul profi»; 8 – гиря 200 г

Рисунок 4 – Показания осциллографа

В результате исследования показаний осциллографа была установлена количественная зависимость между массой грузов и показаниями осциллографа при постоянной скорости отслаивания.

Литература

1. Киселев, М. Г. Устройство определения усилия неравномерного отслаивания клеевого слоя гибких материалов от жесткой пластины / М. Г. Киселев, П. С. Богдан, С. Г. Мониц, Я. В. Янкина. – 2020. – 5 с.

Keywords: shock wave therapy, spine, shock wave generator, laser system

Адрес для переписки: Монич С. Г., ул. Я. Коласа, 22/1-302, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: sgmonich@bntu.by

Ударно-волновые технологии играют ключевую роль в медицине (литотрипсия, физиотерапия), в исследовании прочностных характеристик материалов, а также в технологических процессах лазерной обработки и модификации поверхностей. Для инициирования ударной волны часто используется ударный импульс высокой интенсивности, фокусируемый на ограниченной площади мишени или в объеме жидкости. Эффективность генерации определяется пространственной локализацией точки фокусировки ударного импульса относительно активной зоны устройства. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированных систем позиционирования, обеспечивающих субмиллиметровую точность наведения и воспроизводимости координат.

Для генерации ударных волн применяется ряд физических механизмов, среди которых особое место занимает лазерно-индуцированный способ. Он основан на фокусировке мощного лазерного импульса в ограниченном объеме жидкости или на поверхности мишени, что приводит к быстрому образованию плазмы, последующему расширению кавитационного пузыря и генерации высокоамплитудного акустического импульса.

Ключевым фактором, определяющим эффективность и стабильность генерации, является пространственное позиционирование точки фокусировки лазера. Даже минимальные смещения приводят к изменению амплитуды и формы ударной волны. Это обуславливает необходимость разработки высокоточных систем позиционирования, интегрированных в состав ударно-волнового генератора.

Точность формирования ударной волны зависит от параметров ударного импульса (длина волны, длительность импульса, энергия, диаметр пятна фокусировки) и геометрии оптической системы. Малейшее смещение оптической оси относительно рабочей поверхности приводит к вариациям давления и энергии ударного фронта. Для компенсации подобных отклонений применяется система позиционирования, включающая:

Устройство позиционирования для лазерного ударно-волнового генератора можно условно разделить на пять функциональных блоков, работающих в единой системе:

1. Лазерный блок и оптическая система для генерации и фокусировки лазерного импульса в зоне формирования ударной волны, на основе лазерного источника (Nd:YAG, Ti:Sa или волоконный импульсный лазер, $\lambda = 532\text{--}1064$ нм, длительность импульса от наносекунд до фемтосекунд).

2. Прецизионная механическая система позиционирования для обеспечения пространственного наведения лазерного пучка или перемещения объекта с высокой точностью.

3. Сенсорный комплекс контроля положения для отслеживания фактической зоны фокусировки лазера и регистрация сдвигов.

4. Программно-аппаратный модуль управления для обработки сигналов сенсоров и управление исполнительными механизмами на основе микроконтроллера с алгоритмами машинного зрения и системой ПИД-регулирования.

5. Рабочая камера и зона генерации ударной волны в среде, в которой формируется ударный акустический импульс, включающий в себя прозрачную камеру с жидкостью (обычно дистиллированная вода или физиологический раствор).

Устройство относится к области травматологии и ортопедии и предназначено для лечения заболеваний, вызванных нарушением обменных процессов в области суставов конечностей и позвоночника (остеохондроз, сколиоз, травмы и др.). Экстракорпоральная ударно-волновая терапия позволяет снижать болевой синдром, улучшать кровообращение и стимулировать регенерацию тканей.

Принцип работы устройства. С помощью схемы управления задаются параметры импульса (длительность, частота следования, амплитуда). При подаче импульса на катушку индуктивности 1 создается магнитное поле, в результате чего сердечник со штоком 2 движется внутрь катушки. Данный импульс фокусируется акустической линзой 4 в фокальной точке F, создавая ударную волну.

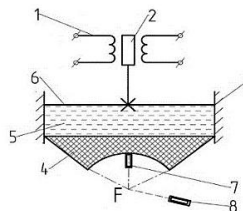


Рисунок 1 – Схема ударно-волнового генератора

Лазерная система интегрирована в конструкцию устройства для точного контроля фокусировки ударной волны и дополнительной стимуляции тканей в зоне воздействия. Лазер может работать в нескольких режимах: направленного облучения, предварительного нагрева тканей для увеличения их восприимчивости к ударным волнам, а также как вспомогательный элемент для визуализации зоны обработки.

При подаче импульса на катушку 1 создается магнитное поле, вызывающее движение сердечника 2. Ударная волна фокусируется линзой 4 в точке F. Лазерный модуль 7 предварительно обрабатывает ткани в зоне воздействия, снижая их сопротивление и усиливая терапевтический эффект. Волна передается пациенту через водную подушку 5. Охлаждающая система предотвращает перегрев компонентов. Так же, если в конструкции предусмотрен модуль 8,

то он используется для диагностики и контроля, он помогает визуализировать рабочую область, а также использоваться в оптических методах контроля

Таким образом, усовершенствованная конструкция ударно-волнового генератора с лазерной системой расширяет терапевтические возможности метода, улучшая его эффективность и безопасность.

Принцип работы устройства.

Работа системы строится на цикле:

– Установка исходного положения объектива или мишени.

– Фокусировка лазера в предполагаемой зоне генерации.

– Регистрация фактической точки фокусировки средствами визуального контроля.

– Сравнение реального положения с заданным и формирование корректирующего сигнала.

– Автоматическая подстройка координат с обеспечением совпадения оптической оси и рабочей зоны.

– Генерация лазерного импульса и формирование ударной волны.

Разработанное устройство позиционирования является ключевым элементом ударно-волнового

генератора, использующего лазерный источник света. Его применение обеспечивает точный контроль зоны фокусировки, что приводит к стабильному и воспроизводимому формированию ударного акустического импульса.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией систем адаптивной оптики и интеллектуальных алгоритмов машинного зрения, что позволит повысить эффективность и расширить области применения ударно-волновых технологий.

Литература

1. Васильев, А. Ю. Экстракорпоральная ударно-волновая терапия в лечении травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата / А. Ю. Васильев, Е. А. Егорова. – М.: Медицина, 2005. – 93 с.
2. Vogel, A. Mechanisms of pulsed laser ablation of biological tissues / A. Vogel, V. Venugopalan // Chemical Reviews. – 2003. – Vol. 103, № 2. – P. 577–644.
3. Минкин, Р. Б. Лазерно-индуцированные ударные волны: физика и приложения / Р. Б. Минкин, В. Н. Глазков. – М.: Наука, 2017. – 320 с.
4. Lauterborn, W. Physics of bubble oscillations and cavitation / W. Lauterborn, T. Kurz // Reports on Progress in Physics. – 2010. – Vol. 73, № 10. – Art. 106501.

УДК 517.9

ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ВОЛН ВСЛЕДСТВИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ

Князев М. А., Блинкова Н. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены волновые процессы, возникающих при изменении квадрупольного момента массивного источника, излучающего гравитационную волну. Особое внимание уделено поляризации волн. Показано, что, если в начальный момент времени волна является монохроматической и плоской, то в случае, когда в уравнениях Эйнштейна учитываются только линейные малые поправки к метрическому тензору, существует только одна составляющая поляризации. Однако, если учесть поправки второго порядка, то появляются две компоненты поляризации и они оказываются зависящими друг от друга. Это можно объяснить криволинейным характером пространства-времени. С математической точки зрения такое поведение поляризации обусловлено нелинейностью обыкновенного дифференциального уравнения, описывающего новую компоненту. Ранее высказывалось предположение о том, что в квадратичном приближении эта компонента теряет свойство периодичности. Точное аналитическое решение рассматриваемого нелинейного уравнения показывает, что, хотя амплитуда колебаний уменьшается, тем не менее колебательный характер функций, описывающих обе компоненты поляризации, сохраняется.

Ключевые слова: гравитационная волна, поляризация, квадратичное приближение, нелинейность.

VARIATION OF THE PERIODICITY FOR MONOCHROMATIC WAVES DUE TO NONLINEARITY OF EQUATIONS OF MOTION

Knyazev M. A., Blinkova N. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Wave processes due to a violation of quadrupole momentum of massive source are considered. A special attention is paid to the problem of wave polarization. It is shown that if at initial time a wave is plane and monochromatic then there is only one component of polarization. This polarization appears as a result of accounting the linear corrections to the metrics in the Einstein equations. If one account the second-order corrections, the two components of polarization are appeared. Such situation may be explained by nonlinear character of space-time. From mathematical point of view, it may be explained by nonlinearity of the ordinary differential equation for the new second component. Early it was mentioned that an accounting of the second-order corrections leads to the lost of the periodicity of polarization. An exact analytical solution of the equation under consideration demonstrates that the periodical character of polarization takes a place but an amplitude of oscillations is becoming less.

Keywords: gravity wave, polarization, second-order approximation, nonlinearity.