

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ВЗРЫВЕ МИКРОПРОВОДНИКА ПОЛОСТИ ПО ЗАДАННОЙ ДВУХПУЛЬСАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ В ТОЧКЕ ЖИДКОСТИ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-а, г. Николаев, 54018, Украина, dpte@iip.com.ua*

Введение

Часто при изучении различных объектов и физических процессов возникают ситуации, когда они либо недоступны для непосредственного наблюдения, либо для этого требуются большие затраты. При проектировании нового оборудования актуальным является вопрос: какими должны быть его характеристики, чтобы обрабатываемый объект получил нужное воздействие. В этих случаях приходят к необходимости решения обратных задач. Поэтому эти задачи в настоящее время широко используются при решении как научных, так и практических проблем.

Авторы работы [1] предложили новую методологию проектирования источника электрической энергии, применяемого в разрядно-импульсных технологиях. Она состоит в следующем. Сначала путём решения обратной гидродинамической задачи по известной зависимости давления от времени в точке жидкости восстанавливаются характеристики образующегося при электрическом взрыве канала: радиус $a(t)$, скорость расширения $\dot{a}(t)$ и давление $P_a(t)$. Затем по этим данным определяются разрядный ток и напряжение на канале (обратная электродинамическая задача). На последнем этапе – входные параметры электроразрядной системы.

Для решения обратной гидродинамической задачи в [2] предложено использовать метод подбора [3]. Там же приведен пример решения задачи для моноимпульсного закона ввода электрической мощности. Цель настоящей работы – решение задачи восстановления кинематических (объём и скорость расширения) и термодинамической (давление) характеристик канала разряда по двухпульсационной зависимости давления от времени в заданной точке жидкости методом подбора.

Постановка задачи и способ её решения

Пусть в точке жидкости, расположенной на известном расстоянии от взрывающегося микропроводника в плоскости его срединного сечения, задана имеющая две пульсации зависимость давления от времени. Необходимо определить вводимую в образующийся при взрыве микропроводника канал мощность, длину микропроводника, а также зависимости от времени объёма канала, скорости его расширения и давления в нём.

Полагаем, что микропроводник имеет форму прямого кругового цилиндра длины l и радиуса a_0 и находится в неограниченном объёме идеальной сжимаемой жидкости.

Задачу решаем методом подбора [3], то есть решаем прямую задачу о расширении цилиндрической полости в идеальной сжимаемой жидкости. Определяемое при этом давление в заданной точке жидкости сравниваем с задаваемым давлением в метрике пространства определённых на отрезке непрерывных ограниченных действительных функций [4]. Если расстояние между двумя кривыми меньше задаваемой малой величины ϵ , то закон ввода электрической мощности и длина микропроводника, при которых получилась данная зависимость давления, есть решение обратной гидродинамической задачи.

Постановка прямой задачи о расширении цилиндрической полости в неограниченном объёме идеальной сжимаемой жидкости подробно описана в работе [5]. Там же предложено моделировать моноимпульсный закон ввода электрической мощности ломаной линией, состоящей из четырёх звеньев. А в работе [2] решена обратная гидродинамическая задача, при этом закон ввода мощности моделировался такой линией.

Двухпульсационный закон ввода электрической мощности моделируем ломаной, состоящей из восьми звеньев (рис. 1). При этом момент времени начала второй пульсации может быть меньше момента окончания первой и даже момента достижения первого максимума мощности. Для каждой координаты девяти точек ломаной и длины микропроводника, как и в [2], определяем диапазон изменения. Для этого используем эмпирические формулы [6], а входящие в них параметры электрической цепи выбираем из промежутка их изменения в различных разрядно-импульсных технологиях. Получаем множество возможных решений обратной задачи M десятимерного (девять точек ломаной плюс длина микропроводника) арифметического евклидова пространства R^{10} (множество упорядоченных групп из десяти действительных чисел) [4].

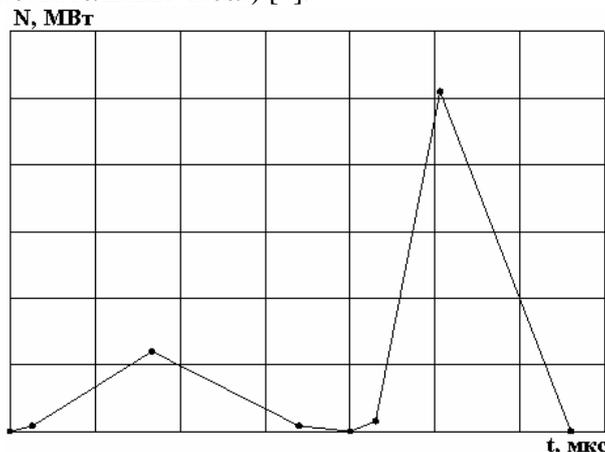


Рис. 1. Линия, моделирующая закон ввода электрической мощности

Результаты решения задачи

Задачу решаем по кривой давления $p(t)$, заданной в точке $z = 0$, $r = r_1 = 0,08$ м (z , r – осевая и радиальная цилиндрические координаты, ось Oz совпадает с осью симметрии микропроводника, ось Or находится в плоскости его срединного сечения). Функция давления задана таблично: $p_i = p(t_i)$, $1 \leq i \leq n$, n – количество слоёв на временном отрезке $[t_1, t_2]$ (здесь t – время).

Для элементов множества M решаем прямую задачу о расширении цилиндра в жидкости. Полученную кривую зависимости давления от времени в точке $z = 0$, $r = r_1$ – $pp_i = pp(t_i)$, $1 \leq i \leq n$, сравниваем с кривой $p(t)$ в те же моменты времени, то есть находим расстояние между элементами пространства определённых на отрезке непрерывных ограниченных действительных функций $\rho(pp, p) = \max_{1 \leq i \leq n} |pp_i - p_i|$. Если это расстояние меньше $\varepsilon = 0,1p_m$ (p_m – максимальное значение задаваемого давления), то девять точек ломаной и длина микропроводника – решение обратной гидродинамической задачи.

При решении задачи выбираем те элементы множества возможных решений, у которых скорость нарастания второй амплитуды мощности выше скорости нарастания первой, а энергия, вводимая во время второй пульсации, более чем в пять раз превышает энергию первой пульсации [7, 8].

Получили несколько решений задачи. Часть из них приведена на рис. 2 (во всех случаях длина микропроводника $l = 0,04$ м), а на рис. 3 – соответствующие им кривые давления в точке жидкости (кривые 1 – 3) и заданная временная зависимость давления (кривая 4).

Анализ результатов показывает, что первая пульсация мощности практически одинакова у всех решений задачи, скорости нарастания второй пульсации разнятся между собой мало. Энергия, вводимая во время второй пульсации, примерно в 8 раз больше энергии, вводимой во время первой.

Наименьшее расстояние от заданной кривой имеет кривая 1 на рис. 3. Соответствующий ей закон ввода электрической мощности изображает линия 1 на рис. 2.

Необходимо отметить следующее. Авторы работы [1] определяли электрическую мощность по уравнению баланса энергии:

$$N(t) = 1/(\gamma - 1) \cdot d(P_a(t) \cdot V_a(t))/dt + P_a(t) \cdot dV_a(t)/dt,$$

где $V_a(t)$ – объём канала разряда; $\gamma = 1,26$.

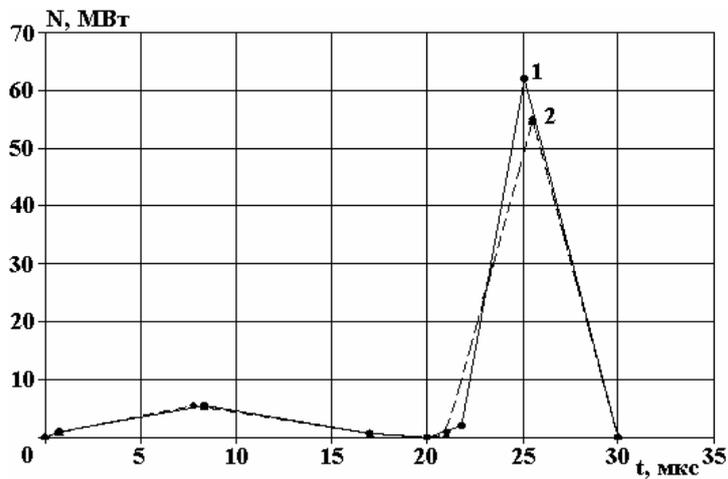


Рис. 2. Временные зависимости электрической мощности, вводимой в канал разряда

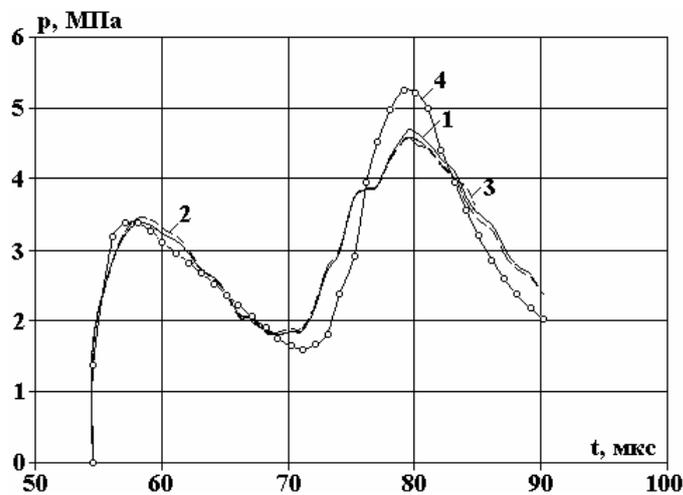


Рис. 3. Зависимость давления от времени в плоскости срединного сечения микропроводника на расстоянии $r = 0,08$ м от его оси симметрии

При этом они полагали, что канал разряда сохраняет форму прямого кругового цилиндра длины l и радиуса $a(t)$, поэтому объём канала вычисляли по формуле $V_a(t) = \pi \cdot a^2(t) \cdot l$, что допустимо при рассмотренных длительностях ввода энергии. Но форма канала со временем меняется, поэтому для более точного решения обратной электродинамической задачи необходимо брать объём разрядного канала, определяемый при решении гидродинамической задачи.

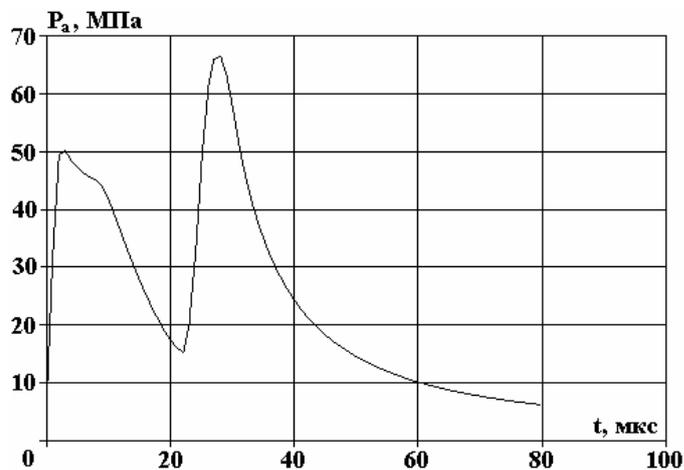


Рис. 4. Зависимость давления в канале разряда от времени

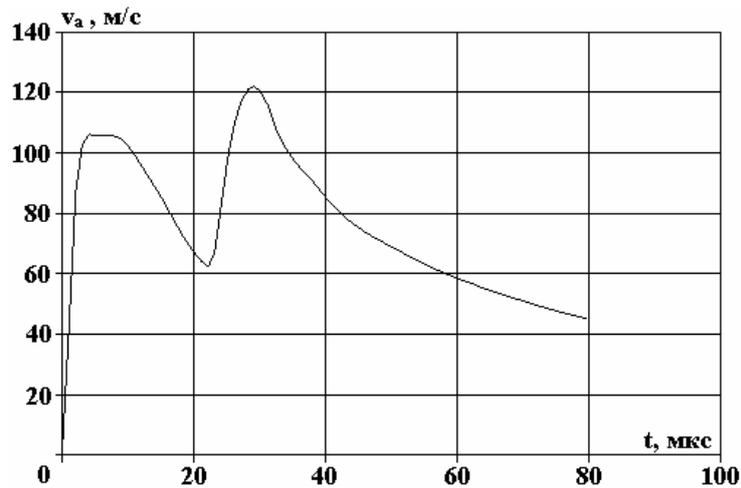


Рис. 5. Зависимость скорости расширения канала разряда от времени в плоскости срединного сечения микропровода

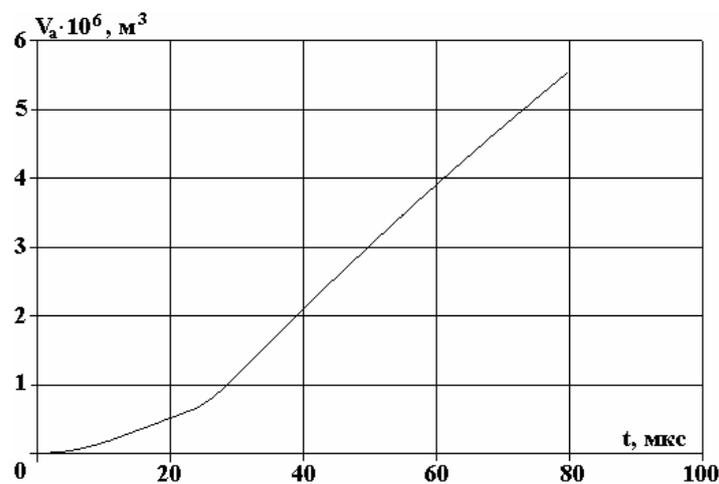


Рис. 6. Изменение объёма канала разряда во времени

Вычисленные при решении задачи о расширении полости в жидкости с законом ввода электрической мощности, который моделируется линией 1 на рис. 2, и $l = 0,04$ м временные зависимости давления в канале разряда, скорости его расширения в плоскости срединного сечения микропровода и объёма канала представлены на рис. 4 – 6 соответственно. Эти данные являются исходными для обратной электродинамической задачи.

Заключение

При восстановлении характеристик образующегося при взрыве микропровода канала по заданной в точке жидкости двухпульсационной зависимости давления от времени методом подбора закон ввода электрической мощности можно моделировать ломаной линией, состоящей из восьми звеньев.

Путём изменения координат точек этой линии и длины микропровода в указанных диапазонах можно получить такие, при которых вычисленное и заданное давления в жидкости разнятся на допустимую с точки зрения практики величину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вовченко А.И., Шомко В.В., Шишов А.М. Математическое моделирование и оптимизация электрогидроимпульсных технологических процессов // Техн. электродинамика. 2005. № 3. С. 68–73.
2. Барбашова Г.А. О восстановлении характеристик канала подводного искрового разряда по временной зависимости давления в жидкости // Прикладна гідромеханіка. 2007. Т. 9. № 4. С. 69–72.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.
4. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1989. 624 с.

5. Барбашова Г.А., Вовченко А.И., Шомко В.В. Выбор формы задания мощности для численного решения обратной гидродинамической задачи восстановления кинематических и динамических характеристик разрядного канала // Электронная обработка материалов. 2006. № 3. С. 54–57.
6. Кривицкий Е.В., Шомко В.В. Переходные процессы при высоковольтном разряде в воде. Киев: Наук. думка, 1979. 208 с.
7. Барбашова Г.А., Вовченко А.И., Каменская Л.А., Шомко В.В. Управление гидродинамическими процессами при электровзрывном программируемом многоимпульсном вводе энергии // Акустичний вісник. 2004. Т. 7. № 4. С. 3–9.
8. Барбашова Г.А., Вовченко А.И., Каменская Л.А., Шомко В.В. Гидродинамические параметры электрических разрядов в жидкости при двухимпульсном вводе энергии // Электронная обработка материалов. 2006. № 2. С. 23–29.

Поступила 15.10.09

Summary

The reverse problem of hydrodynamics referred to the microconductor electric explosion is solved. At a specified bipulsating time dependence of pressure at the point of fluid, kinematic and thermodynamic characteristics of the discharge channel generated at the explosion recondition.
