На правах рукописи

ИВАНОВА Юлия Евгеньевна

МЕТОД ВОЗМУЩЕНИЙ В ДИНАМИКЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕСЖИМАЕМЫХ УПРУГИХ СРЕД

01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Владивосток – 2007

Работа выполнена в Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Буренин Анатолий Александрович.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Намм Роберт Викторович;
кандидат физико-математических наук, доцент
Шаруда Владимир Алексеевич.

Ведущая организация: Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук.

Защита состоится «   » мая 2007 года в   часов   минут на заседании диссертационного совета ДМ 005.007.02 в Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5, аудитория 510, тел./факс(8-4232) 310452, E-mail: dm00500702@iacp.dvo.ru,
URL: http://www.iacp.dvo.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института автоматики и процессов управления ДВО РАН.

Автореферат разослан «__» апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат физико-математических наук Дудко О.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации определяется тем, что в ней предпринято исследование закономерностей распространения по деформируемому телу деформаций изменения формы. В то время как такие закономерности в распространении объемных деформаций достаточно изучены, включая диссипативные и дисперсионные эффекты, для которых соответствующие эволюционные уравнения (квазипростых волн, Бюргерса, Кортвега де Вриза и др.) давно стали классическими, аналогичные уравнения в распространении деформаций изменения формы практически не изучались.

Ранее (работы Буренина А.А., Шаруды В.А., Рагозиной В.Е.) было указано, что эволюционные уравнения следуют в динамике деформирования в качестве соотношений, описывающих поведение решений краевых задач за поверхностями разрывов. Это области внутренних разложений решения сингулярной задачи метода возмущений. Установить этот же факт для нелинейных краевых задач динамики, связанных с преимущественным распространением по среде деформаций изменения формы, получить соответствующие эволюционные уравнения и предложить для решения краевых задач нелинейной динамической теории упругости несжимаемой среды модифицированный вариант метода сращиваемых асимптотических разложений следует признать *актуальной* задачей механики деформирования. Эти же обстоятельства определяют *цель и задачи* диссертации.

К основным научным результатам диссертации относятся:

- сведение краевых задач ударного деформирования несжимаемой упругой среды к сингулярным задачам метода возмущений;
- вывод эволюционных уравнений, описывающих деформирование за поверхностью разрывов скоростей перемещений;
- разработка методики построения приближенных решений краевых задач динамики несжимаемой упругой среды, связанной со сращиванием разложений и построением равномерно пригодного разложения;
- решение ряда одномерных и двумерных краевых задач динамики нелинейной несжимаемой упругой среды.

Научная новизна полученных результатов связана с тем, что впервые указано отличие в эволюционных уравнениях, описывающих нелинейные закономерности в распространении граничных возмущений по деформируемым телам, для случаев распространения объемных деформаций и деформаций изменения формы. В последнем случае предложен приближенный метод решения краевых задач ударного деформирования и построены разложения решений ряда конкретных краевых задач динамики несжимаемой упругой среды.

Достоверность результатов диссертации предопределяется строгим следованием формализму метода возмущений и использованием классических представлений в математическом моделировании динамики несжимаемой упругой среды.

Практическая значимость результатов работы определяется необходимостью в сведениях о закономерностях распространения ударных граничных возмущений по деформируемым телам для постановки соответствующих краевых задач и расчета в технологиях изготовления и упрочнения изделий, использующих высокоскоростные импульсные и ударные воздействия (пробивка отверстий, высокоскоростное соударение, поверхностное упрочнение, ковка).

Апробация результатов диссертации. Отдельные результаты реферируемой работы докладывались и обсуждались на Всероссийской математической школе-семинаре имени академика Е.В. Золотова (Владивосток, 2002, 2003, 2004; Хабаровск, 2005), V и VII Дальневосточной конференции студентов и аспирантов по математическому моделированию (Владивосток, 2001, 2003), Региональной научно-технической конференции «Молодежь и научно-технический прогресс» (Владивосток, 2001, 2002, 2003, 2004), научно-технической конференции «Вологдинские чтения» (Владивосток, 2003), Всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы механики», посвященной 70-летию со дня рождения академика В.П. Мясникова (Владивосток, 2006). Диссертация в целом докладывалась на семинаре лаборатории механики деформируемого твердого тела ИАПУ ДВО РАН под руководством д.ф.-м.н., профессора А.А. Буренина.

Публикации по работе. По теме диссертации опубликовано 16 работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из наименований. Общий объем работы – страниц, в том числе рисунков, включенных в текст.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации приводится краткий обзор литературы, описывающий тематику предпринимаемого исследования. Отмечается роль эволюционных уравнений в математическом совместном описании нелинейных, диссипативных и дисперсионных эффектов в распространении деформаций по твердым телам. Указывается, что эволюционные уравнения следуют в качестве уравнений для внутренних разложений в сингулярных задачах метода возмущений. При этом присутствует качественное отличие в этих уравнениях для случаев распространения объемных и сдвиговых деформаций. Отмечены успехи в изучении закономерностей распространения объемных деформаций, связанные с изучением эволюционных уравнений в работах Буренина А.А., Гельфанда И.М., Джеффри А., Заболотской Е.А., Зарембо Л.К., Липатова А.Н., Островского Л.А., Остроумова Г.А., Рагозиной В.Е., Рождественского Б.Л., Руденко О.В., Солуяна С.И., Хохлова Р.В., Шаруды В.А., Энгельбрехта Ю.К., Яненко Н.Н. На основе литературного обзора формулируются цель и задачи исследования, предпринятого в диссертации.

В первой главе диссертации, носящей вводный характер, записываются основные уравнения математической модели несжимаемой упругой среды, вычисляются скорости распространения возможных поверхностей разрывов деформаций изменения формы, указываются условия их существования.

Поведение динамически деформируемой нелинейно-упругой изотропной несжимаемой среды в переменных Эйлера x_i определяется замкнутой системой уравнений, представленной в первом параграфе:

$$\mathrm{v}_i = \dot{u}_i + u_{i,j}\mathrm{v}_j, \quad 2\alpha_{ij} = \left(u_{i,j} + u_{j,i} - u_{k,i}u_{k,j}\right), \quad \sigma_{ij,j} = \rho\left(\dot{\mathrm{v}}_i + \mathrm{v}_{i,j}\mathrm{v}_j\right),$$

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \frac{\partial W}{\partial \alpha_{ik}}\left(\delta_{kj} - 2\alpha_{kj}\right), \quad I_1 = \alpha_{ii}, \quad I_2 = \alpha_{ij}\alpha_{ji}, \quad u_{i,j} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad \dot{u}_i = \frac{\partial u_i}{\partial t}, \qquad (1)$$

$$W = (a - \mu)I_1 + aI_2 + bI_1^2 - \kappa I_1 I_2 - \theta I_1^3 + cI_1^4 + dI_2^2 + kI_1^2 I_2 + \ldots,$$

где $u_i, \mathrm{v}_i, \alpha_{ij}, \sigma_{ij} -$ компоненты вектора перемещений, вектора скорости, тензора деформаций Альманси и тензора напряжений Коши соответственно, $p-$ функция добавочного гидростатического давления, $\rho = const -$ плотность среды, $W(I_1, I_2) -$

упругий потенциал, $a, \mu, b, \kappa, \theta, c, d, k -$ упругие модули среды ($\mu -$ модуль сдвига), $I_1, I_2 -$ инварианты тензора деформаций.

Во втором параграфе приводятся геометрические, кинематические и динамические условия совместности разрывов на ударных волнах:

$$\left[\rho\left(\mathrm{v}_j \nu_j - G\right)\right] = 0, \qquad \left[\sigma_{ij}\right]\nu_j = \rho\left(\mathrm{v}_j^+ \nu_j - G\right)\left[\mathrm{v}_i\right],$$

$$\sigma_{ij}^+\left[\mathrm{v}_i\right]\nu_j = \rho\left(\mathrm{v}_j^+ \nu_j - G\right)\left\{\frac{\left[\mathrm{v}_i\right]\left[\mathrm{v}_i\right]}{2} + \left[E\right] - \left[q_i\right]\nu_j\right\}, \tag{2}$$

$$\left[m_{,j}\right] = \eta \nu_j + g^{\alpha\beta}\left[m\right]_{,\alpha} x_{j,\beta}, \qquad \left[m\right] = m^+ - m^-,$$

$$\left[\dot m\right] = -G\eta + \frac{\delta\left[m\right]}{\delta t}, \quad x_{i,\beta} = \frac{\partial x_i}{\partial y^\beta}, \quad \eta = \left[m_{,j}\right]\nu_j, \quad g_{\alpha\beta} = x_{i,\alpha} x_{i,\beta}, \quad \alpha, \beta, \gamma = 1,2,$$

где $m^+, m^- -$ предельные значения функции перед и за фронтом поверхности разрывов $\Sigma\left(t\right)$ соответственно; $y^\alpha -$ поверхностные координаты на $\Sigma\left(t\right)$; $g_{\alpha\beta} -$ компоненты первой квадратичной формы на $\Sigma\left(t\right)$; $G -$ скорость продвижения $\Sigma\left(t\right)$; $\nu_j -$ компоненты единичного вектора нормали к $\Sigma\left(t\right)$, направленной в сторону ее движения; $\delta/\delta t -$ дельта-производная по времени.

В третьем параграфе, следуя (2), указываются два вида возможных одномерных плоских волн в несжимаемой упругой среде. Это плоскополяризованная и нейтральная волны. Их скорости соответственно равны:

$$G_1 = \left\{\left(\rho\tau_2\right)^{-1}\sum_{k=1}^{\infty} 2k\alpha_k\left(\left(u_{2,1}^+\right)^{2k-1} - \left(u_{2,1}^+ - \tau_2\right)^{2k-1}\right)\right\}^{1/2}, \quad G_2 = \left\{\rho^{-1}\sum_{k=0}^{\infty}\alpha_k f^k\right\}^{1/2},$$

$$f = u_{2,1}^2 + u_{3,1}^2, \ \tau_2 = \left[u_{2,1}\right], \ \alpha_1 = 0{,}5\mu, \ \alpha_2 = 0{,}25\left(a + b + d + \kappa\right), \mathbf{K} \tag{3}$$

В (3) принято, что ось x_1 совпадает с направлением движения поверхности разрывов, а ось x_2 с направлением предварительных деформаций (только $u_{2,1}$ отлична от нуля).

В четвертом параграфе получены сходным образом скорости ударных волн в задачах антиплоского деформирования с присутствием предварительных деформаций и без них, в задаче скручивающего деформирования, задаче с одновременным присутствием и антиплоского деформирования, и скрутки.

В пятом параграфе вычислена скорость ударной волны в задаче антиплоского деформирования, вызванного ударным воздействием на границу произвольной цилиндрической полости в среде.

Во второй главе диссертации проведено решение приближенным аналитическим методом ряда одномерных краевых задач ударного деформирования несжимаемой нелинейно-упругой среды. Указан способ сведения такого типа задач к сингулярной задаче метода возмущений, прифронтовые асимптотики которой строятся на основе эволюционных уравнений.

В первом параграфе построено решение одномерной задачи о плоской ударной волне нагружения. Во втором, третьем и четвертом параграфах получены решения одномерных краевых задач со сходящимися и расходящимися цилиндрическими ударными волнами в среде: об антиплоском нагружении цилиндрической полости (или цилиндра), основанием которой является окружность; о скручивающем деформировании среды и задачи о винтовом движении ее точек вследствие удара. В пятом параграфе найдено решение одномерной краевой задачи об антиплоском нагружении цилиндрической полости в среде, в которой присутствуют предварительные деформации, по типу сходные с искомыми. Предварительные деформации определяются на основании уравнений равновесия. Все задачи решались методом сращиваемых асимптотических разложений. Для всех задач построено равномерно пригодное разложение по малому параметру до третьего порядка включительно, определено положение переднего фронта поперечной ударной волны.

Приведем здесь в качестве иллюстрации выше сказанному постановку и решение одномерной задачи об антиплоском движении среды, нагружаемой по границе цилиндрической полости. Полагаем, что в момент времени $t=0$ по границе цилиндрической полости в среде производится ударное нагружение. Возникающее при этом поле перемещений $u=u_z\left(r,t\right)$, $u_r=u_\varphi=0$ определяется соотношениями:

$$
\begin{aligned}
&u_{,rr}\left(1+3\alpha u_{,r}^2\right)+\frac{1}{r}u_{,r}+\frac{\alpha}{r}u_{,r}^2=\frac{1}{C^2}u_{,tt}+\mathbf{K},\\
&u\big|_{r=r_0}=f\left(t\right)=\mathrm{v}_0 t+0{,}5at^2,\quad \mathrm{v}_0=const>0,\quad a=const,
\end{aligned}
\tag{4}
$$

$$u\big|_{r=R(t)}=0,\quad R(t)=r_0+\int_0^t G(\xi)\,d\xi,\quad G=C\left\{1+\alpha\tau^2\right\},$$

$$\tau\big|_{r=R(t)}=[u,_r],\quad \alpha=(a+b+\kappa+d)\mu^{-1},\quad C^2=\mu\rho^{-1},$$

где r_0- диаметр полости, $\mathrm{v}_0, a-$ граничные скорость и ускорение точек среды. Из (4) следует, что с момента $t=0$ по среде начинает движение ударная волна, положение которой задается функцией $R(t)$.

Для перехода к методу возмущений необходимо ввести безразмерные переменные. Их удобно выбрать в следующем виде:

$$s=\frac{r-r_0}{r_0}\varepsilon^{-4},\quad m=\frac{r-r_0-Ct}{r_0}\varepsilon^{-3},\quad w(s,m)=\frac{u}{r_0}\varepsilon^{-9/2},\quad \varepsilon=\left(\frac{v_0}{C}\right)^{2/3},\qquad (5)$$

где $\varepsilon-$ малый параметр задачи.

Записывая в переменных (5) уравнения движения и условия на r_0 и представив $w(s,m)$ рядом по степеням малого параметра, методом последовательных приближений получим решение, называемое внешним:

$$\begin{aligned}
w={}&f_0(m)s-m+\varepsilon\left\{-f_0'(m)s^2+f_1(m)s\right\}+\\
&+\varepsilon^2\left\{\frac{2}{3}f_0''(m)s^3-f_1'(m)s^2+f_2(m)s\right\}+\\
&+\varepsilon^3\left\{-\frac{1}{3}f_0'''(m)s^4-\frac{\alpha}{2}f_0^2(m)f_0''(m)s^3+\right.\\
&\left.+\frac{2}{3}f_1''(m)s^3-f_2'(m)s^2+f_3(m)s+\frac{a_1}{2}m^2\right\},
\end{aligned}\qquad (6)$$

где $f_i(m)$ $(i=0,1,2,3)-$ неизвестные функции. Для учета остальных краевых условий и определения неизвестных функций построим дополнительное (внутреннее) разложение решения задачи. С этой целью изменим масштаб пространственной переменной, считая $n=\varepsilon^4 s$. Именно при таком выборе масштаба для переменной n в нулевом приближении внутренней задачи приходим к эволюционному уравнению. Запишем уравнение движения и условия на фронте ударной волны (4) в переменных n, m, w:

$$\left(2w_{,nm}+\varepsilon^3 w_{,nn}\right)\left\{1+3\alpha\varepsilon^3\left(w_{,m}+\varepsilon^3 w_{,n}\right)^2\right\}+3\alpha w_{,mm}\left(w_{,m}+\varepsilon^3 w_{,n}\right)^2+$$

$$+\frac{\left(w_{,m}+\varepsilon^3 w_{,n}\right)}{1+n}+\frac{\alpha\varepsilon^3\left(w_{,m}+\varepsilon^3 w_{,n}\right)^3}{1+n}=0, \qquad (7)$$

$$w\big|_{m=y(n)}=0, \quad \tau\big|_{m=y(n)}=-\varepsilon^{3/2}\left(w_{,m}+\varepsilon^3 w_{,n}\right),$$

где $y(n)-$ функция, определяющая положение фронта ударной волны.

Представляя w рядом по степеням ε, согласованным с (7), в нулевом приближении получаем следующую задачу:

$$2w_{0,nm}+3\alpha w_{0,m}^2 w_{0,mm}+\frac{w_{0,n}}{1+n}=0, \quad y_0'(n)=0{,}5\alpha w_{0,m}^2, \quad w_0\big|_{m=y(n)}=0. \quad (8)$$

Уравнение для определения w_0- эволюционное по типу. Отметим принципиальное отличие данного уравнения от уравнения квазипростых волн, задающего нелинейные искажения в распространении объемных деформаций. Такое отличие определяется тем, что $w_{0,m}$ в (8) присутствует во второй степени, а не в первой, как в классическом случае. В этом заключается основное качественное отличие в эволюции деформаций изменения формы от эволюции объемных деформаций. При этом одновременно определяется положение фронта ударной волны $y(n)$ решением обыкновенного дифференциального уравнения, которое так же, как и w, уточняется на каждом шаге метода. Приведем общее решение (8) и его частное решение, соответствующее поставленным краевым условиям:

$$\Psi_1=h_0(1+n)^{1/2}, \quad \Psi_2=\frac{3}{2}\alpha h_0^2(1+n)\ln(1+n)-m,$$

$$w_0(m,n)=\frac{Am}{(1+n)^{1/2}}-\frac{\alpha A^3}{2}\frac{\ln(1+n)}{(1+n)^{1/2}}, \quad y_0(n)=\frac{\alpha}{2}A^2\ln(1+n), \qquad (9)$$

где $h_0=w_{0,m}$, $A-$ неизвестная константа. На основании правила аддитивного сопоставления получим такие значения для неизвестных константы и функции:

$$f_0(m)=0, \quad A=-1. \qquad (10)$$

Для построения второго приближения решается следующая задача:

$$2w_1,_{nm} + 3\alpha w_1,_{mm} w_0^2,_m + \frac{(w_1,_m + w_0,_n)}{1+n} + w_0,_{nn} + 6\alpha w_0,_{nm} w_0^2,_m + \frac{\alpha}{1+n} w_0^3,_m = 0,$$

$$y_1'(n) = \alpha w_0,_m (w_0,_n + w_1,_m) - \frac{3}{8}\alpha^2 w_0^4,_m. \tag{11}$$

Решение (11) строится аналогично нулевому приближению внутреннего разложения решения. Таким образом, задача решена во внутреннем и внешнем разложении до третьего порядка по ε, затем проведено сращивание полученных рядов.

В третьей главе рассматривается антиплоская краевая двумерная задача динамики несжимаемой нелинейно-упругой среды. Вследствие ударного воздействия по границе цилиндрической полости с произвольным контуром L_0 по среде, начиная с $t = 0$, распространяется ударная волна и возникает поле перемещений $u = u_3\left(x^1, x^2, t\right)$. Задача решается в выбранной специальным образом ортогональной криволинейной системе координат. На плоскости $\left(x^1, x^2\right)$ задаем криволинейную координатную сетку l, y, где координата l откладывается вдоль прямолинейного луча, построенного в каждой точке контура L_0 в направлении вектора нормали, координата y определяется вдоль контура L_0. По координатной линии l выбирается натуральная параметризация, поэтому компонента метрического тензора $g_{11} = 1$. Краевая задача для уравнения движения относительно функции $u\left(x^1, x^2, t\right)$ сводится к сингулярной задаче метода возмущений. Во внутреннем приближении решения получается эволюционное уравнение относительно искомой функции, в которое координата эйконала входит в качестве параметра. Решение было получено до третьей степени малого параметра включительно.

Аппроксимация лучей прямолинейными отрезками предполагает итерационное применение результатов, при котором полученное решение определяется для областей $l_{i-1} \le l \le l_i$ и $t_{i-1} \le t \le t_i$, что позволяет отразить искривление лучевых линий. Также следует отметить, что для линеаризованной задачи эти прямые задают лучевые направления. Для конкретизации полученных общих соотношений рассмотрено решение поставленной задачи с эллиптическим контуром L_0.

<u>*В четвертой главе*</u> работы получено решение одномерной краевой задачи динамики нелинейно-упругой среды о плоской ударной волне нагружения с учетом малой вязкости в модельных соотношениях. Предполагалось, что в результате ударного воздействия по среде распространялась структурная ударная волна. Вязкость среды оказывает принципиальное влияние на поведение материала в областях интенсивного изменения деформаций (при наличии больших градиентов скоростей).

В первом и втором параграфах построено решение одномерной краевой задачи об ударном нагружении нелинейно-упругого полупространства $\left(x_1 \geq 0\right)$. Для внесения вязкости в модель нелинейно-упругой несжимаемой среды к основному упругому элементу добавим элемент вязкости. Тогда компонента тензора напряжений в задаче о чистом сдвиге запишется в виде

$$\sigma_{21} = \mu u_{,1} + \tilde{\alpha} u_{,1}^3 + \tilde{\beta} \mathrm{v}_{,1} + \mathbf{K}, \quad \tilde{\alpha} = a + b + \kappa + d, \tag{12}$$

где $\tilde{\beta}$ – коэффициент вязкости, $\mathrm{v} = \mathrm{v}_2$ – скорость точек среды.

В результате получим следующую краевую задачу:

$$\begin{gathered} u_{,11}\left\{1 + \alpha u_{,1}^2\right\} + \beta \dot{u}_{,11} = \ddot{u} C^{-2}, \quad \alpha = \tilde{\alpha} / \mu, \quad \beta = \tilde{\beta} / \mu, \\ u\big|_{x_1=0} = \mathrm{v}_0 t + 0{,}5 a t^2, \quad \mathrm{v}_0 = const > 0, \; a = const. \end{gathered} \tag{13}$$

Решение этой краевой задачи строилось методом сращиваемых асимптотических разложений. Во внешнем разложении (вдали от ударной волны) влиянием малой вязкости пренебрегаем, она учитывается только в прифронтовой области, так как именно в ней значителен градиент скорости движения точек среды.

В безразмерных переменных

$$n = a\mathrm{v}_0 C^{-3}, \quad m = a\mathrm{v}_0^{-1} C^{-1}\left(x_1 - Ct\right), \quad w = a\mathrm{v}_0^{-2} u, \quad \varepsilon = \left(\mathrm{v}_0 C^{-1}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{14}$$

получим следующую внутреннюю задачу:

$$\begin{gathered} 2w_{,nm} + \varepsilon^4 w_{,nn} + 3\alpha\left(\varepsilon^4 w_{,n} + w_{,m}\right)^2 \left\{\varepsilon^8 w_{,nn} + 2\varepsilon^4 w_{,nm} + w_{,mm}\right\} - \\ -2\vartheta\left\{\varepsilon^8 w_{,nnm} + 2\varepsilon^4 w_{,nmm} + w_{,mmm}\right\} = 0, \quad \vartheta = 0{,}5 a\beta\mu^{-1}\mathrm{v}_0^{-1}\varepsilon^{-4}. \end{gathered} \tag{15}$$

В нулевом приближении движение точек среды в структурном слое описывается модифицированным уравнением Бюргерса:

$$h_{,n} = -1{,}5\alpha h^2 h_{,m} + \vartheta h_{,mm}, \quad h(n,m) = w_{,m}. \tag{16}$$

Уравнение отличается от уравнения Бюргерса наличием квадрата в первом слагаемом, именно он позволяет учесть отличие в закономерностях распространения деформаций изменения формы от закономерностей распространения деформаций изменения объема. Для уравнения (16) было найдено частное решение вида «бегущей волны»:

$$h = \left[A \exp\left\{ -\frac{2\lambda}{\vartheta}(m + \lambda n) \right\} + \frac{\alpha}{2\lambda} \right]^{-\frac{1}{2}}, \tag{17}$$

где A, λ - неизвестные константы, которые были вычислены после сращивания внешнего и внутреннего разложений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Предложен способ сведения краевых задач ударного деформирования несжимаемой упругой среды к сингулярным задачам метода возмущений: внутреннее (прифронтовое) разложение строится на основе решения эволюционного уравнения, а положение поверхности разрывов уточняется на каждом шаге метода посредством решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения, следующего при последовательном использовании метода возмущений.
2. Показано принципиальное отличие эволюционного уравнения, описывающего нелинейные эффекты при распространении деформаций изменения формы от уравнения для объемных деформаций.
3. Разработан вариант метода возмущений, приспособленный для решения краевых задач ударного деформирования несжимаемых материалов, основанный на процедуре сращивания разложений решения во внутренней (прифронтовой) и внешней областях.
4. Построены приближенные решения ряда конкретных одномерных и двумерных краевых задач динамики несжимаемой упругой среды.
5. На основе учета вязкостных свойств несжимаемой среды получено эволюционное уравнение (аналог уравнения Бюргерса), описывающее интенсивное формоизменение в окрестности поверхности разрывов деформаций. Следуя частному

решению данного уравнения, получено решение краевой задачи со структурной ударной волной.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Иванова Ю.Е. Использование прифронтовых асимптотик при построении приближенных решений краевых задач // V Дальневосточная конференция студентов и аспирантов по математическому моделированию: тезисы докладов. Владивосток: «Дальнаука», 2001. С. 6.
2. Ulyia E. Ivanova, Victoria E. Ragozina. Front asymptotics behind load shock waves in the incompressible medium and their use in constructing approximate boundary problem solution // 5th International Student's Congress of the Asia-Pacific Region Countries "Young People & Technical Progress". Russia. Vladivostok: FESTU, 2001. C.151-152.
3. Иванова Ю.Е Метод сращиваемых асимптотических разложений в динамике несжимаемой упругой среды // «Молодежь и научно-технический прогресс»: материалы региональной научно-технической конференции. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. Ч. 3. С. 85.
4. Иванова Ю.Е., Рагозина В.Е. Использование эволюционных уравнений динамики несжимаемых упругих сред при построении прифронтовых разложений решений задач с цилиндрической симметрией // Дальневосточная школа-семинар имени академика Е.В. Золотова: тезисы докладов. Владивосток: «Дальнаука», 2002. С.76.
5. Иванова Ю.Е. Метод возмущений при построении приближенных решений неодномерных краевых задач динамики деформирования // VII Дальневосточная конференция студентов и аспирантов по математическому моделированию: тезисы докладов. Владивосток: «Дальнаука», 2003. С. 10-11.
6. Иванова Ю.Е., Рагозина В.Е. Метод возмущений в краевых задачах ударного деформирования несжимаемых упругих сред // Дальневосточный математический журнал. Владивосток: «Дальнаука», 2003. Т. 4, №1. С. 71-77.
7. Иванова Ю.Е., Рагозина В.Е. Эволюционные уравнения в лучевых координатах для многомерных динамических задач в нелинейно-упругих несжимаемых сре-

дах // Дальневосточная школа-семинар имени академика Е.В. Золотова: тезисы докладов. Владивосток, 31 августа – 6 сентября 2003 г. Владивосток: «Дальнаука», 2003. С.123-125.

8. Uliya E. Ivanova, Victotya E. Ragozina. Perturbation method in dynamics of an anti-flat motion of an incompressible elastic medium // Materials of the Fifth International Young Scholars' Forum of the Asia Pacific Region Countries. Vladivostok, Russia, 23-26 September, 2003. Vladivostok, 2003. Part 1. P. 207-209.
9. Иванова Ю.Е., Рагозина В.Е Метод возмущений в анализе структуры ударной волны // «Молодежь и научно-технический прогресс»: материалы региональной научно-технической конференции. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004. Ч. 1. С.161-162.
10. Иванова Ю.Е. Метод возмущений в динамике несжимаемых упругих сред // Дальневосточная школа-семинар имени академика Е.В. Золотова: тезисы докладов. Владивосток, 6-11 сентября, 2004 г. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2004. С.103.
11. Иванова Ю.Е. Метод возмущений в одномерных нестационарных динамических задачах в цилиндрической системе координат // Дальневосточная математическая школа-семинар имени академика Е.В. Золотова: тезисы докладов. Хабаровск, 21-27 августа, 2005 г. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. С. 158.
12. Иванова Ю. Е. О структуре ударной волны деформаций изменения формы // Материалы Всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы механики», посвященной 70-летию со дня рождения академика В.П. Мясникова. Владивосток, 25-30 сентября 2006 г. Владивосток: Изд-во ИАПУ ДВО РАН, 2006. С. 52 – 54.
13. Иванова Ю.Е. Эволюционные уравнения в описании ударных движений несжимаемой упругой среды // Вестник ДВО РАН. Владивосток: «Дальнаука», 2006. № 4 (128). С. 118 – 122.
14. Иванова Ю.Е. Моделирование сдвиговых процессов ударного деформирования на основе эволюционных уравнений // «Деформирование и разрушение структурно-неоднородных сред и конструкций»: тезисы докладов Всероссийской конференции. Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного технического университета, 2006. С. 54.

15. Иванова Ю.Е. Метод возмущений в решении задач ударного деформирования в нелинейно-упругих несжимаемых средах // «Математическое моделирование в естественных науках»: тезисы докладов 15-й Всероссийской конференции молодых ученых. Пермь, 4-7 октября 2006г. Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2006. С. 42.
16. Иванова Ю.Е., Рагозина В.Е. Об ударных осесимметрических движениях несжимаемой упругой среды при ударных воздействиях // Прикладная механика и техническая физика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. Т. 47, № 6. С. 144-151.

Личный вклад автора. Работы [1, 3, 5, 10-15] выполнены автором лично. В работах [2, 4, 6-9, 16] автор участвовала в постановке краевых задач и провела необходимые аналитические вычисления.

Иванова Юлия Евгеньевна

МЕТОД ВОЗМУЩЕНИЙ
В ДИНАМИКЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
НЕСЖИМАЕМЫХ УПРУГИХ СРЕД

Автореферат

Подписано к печати 12.04.2007 г. Усл.п.л. 0.8. Уч.-изд.л. 0.7.
Формат 60x84/16. Тираж 100. Заказ .

Издано ИАПУ ДВО РАН. Владивосток, Радио, 5.
Отпечатано участком оперативной печати ИАПУ ДВО РАН.
690041, Владивосток, Радио, 5.