МЕХАНИКА
ТВЕРДОГО ТЕЛА
№ 6 · 1993

УДК 539.3

© 1993 г. В. И. МАКСИМОВ

ОБ УСТОЙЧИВОМ РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ТЕРМОУПРУГОСТИ

Рассматриваются некоторые обратные задачи термоупругости в предположении, что на границе тела выполняются субдифференциальные соотношения между температурой и вектором теплового потока. На основе подхода, развитого в [1—3], конструируются регуляризированные динамические алгоритмы устойчивого восстановления неизвестных характеристик по результатам неточных измерений состояний среды. Приводятся оценки скоростей сходимости алгоритмов.

1. Постановка задач. Имеется область $\Omega \subset R^n$, $n = 2, 3$, занятая термоупругой средой с постоянной плотностью $\rho(\eta) = \rho > 0$ (в естественном состоянии) и удельной теплоемкостью $c(\eta) = c > 0$ (при нулевых деформациях), $\eta \in \Omega$. На среду в течение промежутка времени $T = [t_0, \vartheta]$ оказывают воздействие неизвестные переменная сила $f(t, \eta) = \{f_p(t, \eta)\}$, $p \in [1:n]$, а также тепловой поток $g(t, \eta)$, $t \in T$, $\eta \in \Omega$. Пусть $r = r(t, \eta)$ — абсолютная температура среды, $x = x(t, \eta)$ — перемещение материальной точки $\eta \in \Omega$ в момент t по отношению к естественному состоянию среды, которое характеризуется нулевым напряжением и некоторым постоянным значением абсолютной температуры $r_*(\eta) = r_* > 0$, $\eta \in \Omega$. Известно [4], что поведение термоупругого тела описывается уравнениями

$$\rho \ddot{x}_p = f_p + (C_{pjhq}\varepsilon_{hq})_{,j} - (m_{pj}(r - r_*))_{,j} \text{ в } \Omega \times (t_0, \vartheta)$$

$$\rho c \dot{r} - (k_{pj} r_{,j})_{,p} + m_{pj} r_* \dot{\varepsilon}_{pj} = g, \quad p, j, h, q \in [1:n]$$

Здесь $\varepsilon = \{\varepsilon_{pj}\}$ — тензор деформаций, связанный с перемещениями соотношениями $\varepsilon_{pj}(x) = 0{,}5\,(x_{p,j} + x_{j,p})$, $C = \{C_{pjqh}\}$ — тензор коэффициентов упругости, удовлетворяющий условиям симметричности и эллиптичности: $C_{pjhq} = C_{jpqh} = C_{hqpj}$, $C_{pjqh}\varepsilon_{pj}\varepsilon_{qh} \geq c\varepsilon_{pj}\varepsilon_{qn}$, $c = > 0$, $m_* = \{m_{pj}\}$ и $k = \{k_{pj}\}$ — симметричные тензоры теплового расширения и теплопроводности, $k_{pj} z_p z_j \geq k z_p z_p \forall$ $z = \{z_p\} \in R^n$, $k = \text{const} > 0$ (используются обозначения $x_{p,j} = \partial x_p / \partial \eta_j$, $r_{,j} = \partial r / \partial \eta_j$, а также правило суммирования по повторяющимся индексам [4, 5]). Предполагается, что выполнены начальные

$$x_p(t_0) = x_{0p}(\eta), \quad \dot{x}_p(t_0) = x_{1p}(\eta), \quad r(t_0) = r_0(\eta) \text{ в } \Omega \tag{1.1}$$

а также граничные условия, определяющие зависимость между температурой на границе Γ и вектором теплового потока

$$-k_{pj} r_{,j} n_p \in \beta(r) \text{ на } \Sigma = \Gamma \times T \tag{1.2}$$

где $n = \{n_p\}$ — орт внешней нормали к Γ, β — максимально монотонное отображение [4]. Перемещения на Γ считаются равными нулю: $x_p = 0$ на Σ. Заметим, что граничные условия (1.2) описывают широкий класс задач о полупроницаемости [4, 5].

Обсуждаемая задача состоит в следующем. В дискретные моменты времени

$\tau_i \in \Delta = \{\tau_i\}_{i=0}^{m}$, $\tau_i = \tau_{i-1} + \delta$, $\tau_0 = t_0$, $\tau_m = \vartheta$ с некоторой точностью замеряются перемещения $x_p(\tau_i, \eta)$, $p \in [1: n]$, точек среды, а также температура $r(\tau_i, \eta)$, т. е. находятся $\psi_{ip}(\eta)$ и $\psi_i^{(1)}(\eta)$, $\eta \in \Omega$, — приближения $x_p(\tau_i, \eta)$, $r(\tau_i, \eta)$. Требуется указать устойчивый к информационным помехам и погрешностям вычислений алгоритм синхронного с развитием процесса вычисления $f(t)$ и $g(t)$ (задача 1). Возможна также ситуация, когда поток тепла $g(t)$ задан, а вычислению (по замерам $\psi_{ip}(\eta)$) подлежат переменная сила $f(t)$ и температура среды $r(t)$ (задача 2).

Следуя [4], введем обозначения

$$a(x, v) = \int_\Omega C_{pjhq}\varepsilon_{pj}(x)\,\varepsilon_{hq}(v)\,d\Omega, \quad M_1(r, v) = \int_\Omega (m_{pj}r)_{,j}v_p d\Omega$$

$$(x, v)_1 = \int_\Omega x_p v_p d\Omega, \quad K(r, \varphi) = \int_\Omega k_{pj} r_{,p}\varphi_{,j} d\Omega$$

$$M_2(x, \varphi) = \int_\Omega m_{pj} x_{p,j}\varphi d\Omega$$

Пусть C_{pjhq}, k_{pj}, m_{pj} — элементы из $L_\infty(\Omega)$, $V_1 = [H_0^1(\Omega)]^3$, $|u|_{V_1} = (\Sigma\, |u_j|^2_{H_0^1(\Omega)})^{1/2}$, $V_2 = H^1(\Omega)$, $\|\cdot\|$ — норма в V_2, $V_3 = [L_2(\Omega)]^3$, $|u|_{V_3} = (\Sigma\, |u_j|^2_{L_2(\Omega)})^{1/2}$, $H = L_2(\Omega)$, $|\cdot|$ и $(.,.)$ — норма и скалярное произведение в H ($j = 1, 2, 3$), выпуклый собственный полунепрерывный снизу функционал Φ на $L_2(\Gamma)$ задается формулой $\Phi(\varphi) = \int \gamma(\varphi)\,d\Gamma$, если $\gamma(\varphi) \in L_1(\Gamma)$, $\Phi(\varphi) = +\infty$, в противном случае $\beta = \partial\gamma$, символ $\partial\gamma$ означает субдифференциал выпуклой собственной полунепрерывной снизу функции γ: $R \to R^+$, $f(t) \in P_1$, $g(t) \in P_2$ при $t \in T$, $P_1 \in U_1 = [L_3(\Omega)]^3$ и $P_2 \in U_2 = L_2(\Omega)$ — выпуклые ограниченные и замкнутые множества. Тогда рассматриваемый термоупругий процесс описывается в вариационной форме совокупностью вариационного уравнения

$$(\rho\ddot{x}, v - \dot{x}) + a(x, v - \dot{x}) + M_1(r - r_*, v - \dot{x}) = (f, v - \dot{x})_1 \forall v \in V_1' \tag{1.3}$$

и вариационного неравенства

$$(\rho c\dot{r}, \varphi - r) + K(r, \varphi - r) + M_2(r_*\dot{x}, \varphi - r) +$$

$$+ \Phi(\varphi) - \Phi(r) \geq (g, \varphi - r)\ \forall\varphi \in V_2 \tag{1.4}$$

с начальными условиями [1.1] [4]. При

$$f, \dot{f} \in L_2(T; V_3), \quad g, \dot{g} \in L_2(T; L_2(\Omega)), \quad x_0 \in H^2(\Omega) \cap V_1, \tag{1.5}$$

$$x_{01} \in V_1, \quad r_0 \in]\, V_2, \quad \Phi(r_0) < +\infty$$

существует единственное решение $(x(t), r(t))$ системы (1.3), (1.4), (1.1) со свойствами $x, \dot{x} \in L_\infty(T; V_1)$, $\ddot{x} \in L_\infty(T; V_3)$, $r, \dot{r} \in L_2(T; V_2)$, $\dot{r} \in L_\infty(T; L_2(\Omega))$. Ниже считаем условия (1.5) выполненными и полагаем для простоты $\rho = c = 1$. Задача 1 состоит в построении алгоритма синхронного с развитием процесса вычисления неизвестных силы $f(t)$ и потока тепла $g(t)$ по неточным измерениям решений системы (1.3), (1.4): $\psi_i = \{\psi_{pi}(\eta)\} \in V_1$, $p \in [1: n]$, $\psi_i^{(1)}(\eta) \in V_2$:

$$|x_p(\eta, \tau_i) - \psi_{pi}(\eta)|_{V_1} \leq \varepsilon \tag{1.6}$$

$$\|r(\eta, \tau_i) - \psi_i^{(1)}\| \leq \varepsilon \tag{1.7}$$

В задаче 2 требуется указать динамическую процедуру вычисления переменной

силы $f(t)$ и температуры среды $r(t)$ по поступающим в ходе функционирования системы замерам $g(\tau_i, \eta)$ и $\{\psi_{pi}(\eta)\}$.

2. Алгоритм решения задачи 1. Опишем процедуру вычисления неизвестных переменных силы $f(t)$ и потока тепла $g(t)$, действующих на термоупругую среду (1.3), (1.4), (1.1). При этом будем полагать, что имеется дополнительная информация о перемещениях материальных точек среды. Именно считаем — перемещения $x(t, \eta)$, $\eta \in \Omega$, замеряются с ошибкой не только в моменты времени τ_i, но и в некоторые близкие к ним моменты $\tau_i^* = \tau_i - \delta_*$, $i \geq 1$, $\tau_0^* = t_0 + \delta_*$, $\delta_* = \delta^{3/2}$. При $t = \tau_i^*$ становятся известными $\psi_i^* = \{\psi_{pi}^*(\eta)\} \in V_1$:

$$|x_p(\tau_i^*, \eta) - \psi_{pi}^*(\eta)|_{V_1} \leq \varepsilon \tag{2.1}$$

Следуя [1—3], введем функционирующую одновременно с реальным процессом вспомогательную систему — модель

$$(\dot{y}, \varphi - y) + K(y, \varphi - y) + M_2(r_* a_i, \varphi - y) + \Phi(\varphi) - \Phi(y) \geq$$

$$\geq (u(t), \varphi - y) \text{ при } t \in \delta_i = [\tau_i, \tau_{i+1}) \tag{2.2}$$

$$\forall \varphi \in V_2, \quad i \in [1: m-1], \quad a_i = \{(\psi_{pi} - \psi_{pi-1})\,\delta^{-1}\}$$

с начальным состоянием $y(\tau_1) = \psi_*^{(1)}$, где $\psi_*^{(1)} \in D_d = \{v \in V_2 \mid \Phi_*(v) \leq \Phi_*(r_0)\}$, $\Phi_*(v) = 0{,}5\,K(v, v) + 0{,}5k\,|v|^2 + \Phi(v)$, $\|\psi_*^{(1)} - \psi_0^{(1)}\| \leq \varepsilon$. Под решением неравенства (2.2) понимается функция y, удовлетворяющая (2.2) и такая, что $y, \dot{y} \in L_2(T; L_2(\Omega))$, $y \in L_2(T; V_2)$, $y(\tau_1) = \psi_*^{(1)}$, и функция $t \to \Phi_*(x(t))$ непрерывна на T. Как следует из результатов [6], решение y существует и единственно.

Алгоритм вычисления f и g, или, что то же самое, алгоритм позиционного управления моделью, разобьем на $m = m(\Delta)$ однотипных шагов. Очередной, i-й шаг, выполняется на промежутке времени δ_i. В течение этого шага происходит следующее. Замеряются (с ошибкой) перемещения материальных точек среды $x(\tau_i, \eta)$, $x(\tau_i^*, \eta)$ и ее температура $r(\tau_i, \eta)$, $\eta \in \Omega$, т. е. находятся ψ_i, ψ_i^* и $\psi_i^{(1)}$, удовлетворяющие (1.6), (2.1), и (1.7). Вычисляется пара управлений $(u_i^\varepsilon, v_i^\varepsilon)$:

$$L_\alpha(s_i, u_i^\varepsilon) = \min\{L_\alpha(s_i, u): u \in P_2\}, \quad i \in [1: m(\Delta) - 1] \tag{2.3}$$

$$L_\alpha(s, u) = 2(s, u) + \alpha\,|u|^2, \quad s_i = y(\tau_i) - \psi_i^{(1)}$$

v_i^ε — минимальное в смысле нормы пространства U_1 управление из множества

$$V_{b,i}^{\varepsilon,\delta} = V_{b,i}^{\varepsilon,\delta}(\psi_i, \psi_{i-1}, \psi_i^*, \psi_{i-1}^*, \psi_i^{(1)}) = \{v \in P_1: \sup_{y \in S}\{(u - (w_i - w_{i-1})\,\delta^{-1}, y)_1 -$$

$$- a((\psi_i + \psi_{i-1})/2, y) - M_1(\psi_i^{(1)} - r_*, y)\} \leq b\nu(\delta, \varepsilon)\}, \quad i \in [1: m(\Delta) - 1]$$

$$w_i = (\psi_i - \psi_i^*)/\delta_*, \quad i \geq 1, \quad w_0 = (\psi_0^* - \psi_0)/\delta_*$$

Здесь S — единичный шар в V_1 с центром в нуле, $\nu(\delta, \varepsilon) = \delta^{1/2} + \varepsilon\delta^{-5/2}$, b — некоторая постоянная. Затем на вход модели подается управление $u^\varepsilon(t) = u_i^\varepsilon$, $t \in \delta_i$ и в момент τ_{i+1} определяется фазовое положение $y(\tau_{i+1})$. Указанная процедура осуществляется до момента ϑ. В момент ϑ вычисляется также v_m.

Пусть U_x — совокупность всех $\bar{u} \in L_2(T; U_2)$, вызывающих r, т. е. множество таких $u(t) \in P_2$ при почти всех $t \in T$, что при $g = \bar{u}$ справедливо неравенство (1.4).

Заметим, что это множество выпукло, ограничено и замкнуто в $L_2(T; U_2)$. Оно одноэлементно $U_x = \{g\}$, если функция γ дифференцируема. Выберем величины $\alpha = \alpha(\varepsilon)$ и $\delta = \delta(\varepsilon)$ со свойствами

$$\alpha(\varepsilon) \to 0,\ \delta(\varepsilon) \to 0,\ \varepsilon\delta^{-5/2}(\varepsilon) \to 0,\ \varepsilon(\delta(\varepsilon)\alpha(\varepsilon))^{-1} \to 0$$

$$\delta^{1/2}(\varepsilon)\alpha^{-1}(\varepsilon) \to 0 \text{ при } \varepsilon \to 0$$

Теорема 2.1. При $b \geq b^{(1)}$ для любого $\nu > 0$ можно указать такое число $\varepsilon_1 = \varepsilon_i(b, \nu) > 0$, что верны неравенства

$$\|v^\varepsilon - f\|_{L_2(T;\,[L_2(\Omega)]^3)} \leq \nu, \quad \|u^\varepsilon - g_*\|_{L_2(T;\,L_2(\Omega))} \leq \nu \tag{2.4}$$

если $\varepsilon \in (0, \varepsilon_1)$.

Здесь g_* — минимальный по $L_2(T; L_2(\Omega))$ норме элемент множества U_x, $v^\varepsilon(t) = v_i^\varepsilon$, $t \in \delta_{i-1}$. Число $b^{(1)}$ указывается в явном виде.

Таким образом, решая задачу 1, необходимо поступать следующим образом. Фиксировать разбиение Δ отрезка T с шагом δ и число $\alpha > 0$. После этого организовать процедуру вычисления управлений v^ε и u^ε согласно правилу, описанному выше. Если величины $\varepsilon, \alpha, \delta, \varepsilon\delta^{-5/2}$, $\varepsilon(\delta\alpha)^{-1}$ и $\delta^{1/2}\alpha^{-1}$ будут малы, а функция γ дифференцируема, то v^ε будет подходящим приближением переменной силы f, а u^ε — приближением теплового потока g.

Имеет место следующая оценка скорости сходимости алгоритма $\|f - v^\varepsilon\|^2_{L_2(T;\,U_1)} \leq k_*(\varepsilon\delta^{-5/2} + \delta^{1/2})$. Если функция β удовлетворяет условию Липшица, $g(t) \in V_2$ и является абсолютно непрерывной функцией, то верно также неравенство

$$\|g - u^\varepsilon\|^2_{L_2(T;\,U_2)} \leq k^*(\varepsilon^{1/2}\delta^{-1/2} + \delta^{1/4} + \alpha^{1/2}) + \varepsilon(\delta\alpha)^{-1} + \delta^{1/2}\alpha^{-1}$$

3. Алгоритм решения задачи 2. Будем полагать, что начальная температура r_0 известна. Фиксируем три положительных числа ε_0, δ_0 и ν таких, что $1 - \varepsilon_0 - 2k\delta_0(1 + \nu) \in (0, 1)$, $5/8 - k\delta_0 > 0$. Пусть $r_0 \in \{y \in V_2 \mid \Phi(y) < +\infty$, $Ay + \partial\Phi(y) \cap H \neq \varnothing\}$, $A \in L(V_2; V_2^*)$: $K(\varphi, v) = (A\varphi, v)_{V_2^* \times V_2} \forall \varphi$, $v \in V_2$, элементы $y_i^* \in V_2$ и $x_i \in V_2$, $i \in [1:m]$ вычисляются по рекуррентным формулам

$$y_i^* = y^*(y_{i-1}^*; \alpha_i, x_{i-1}),\ x_i = x_{i-1} + \delta u_{i-1},\ x_0 = y_0^* = r_0 \tag{3.1}$$

где символ y_i^* означает приближенное решение эллиптического неравенства

$$((y - y_{i-1}^*)/\delta, v - p_i(y)) + K(p_1(y), v - p_i(y)) + \Phi(v) -$$
$$- \Phi(p_i(y)) \geq (\alpha_i, v - p_i(y)) \forall v \in V_2 \tag{3.2}$$

$$p_i(y) = y - x_{i-1} + y_{i-1}^*,\ \alpha_i = \delta^{-1}\int_{\tau_{i+1}}^{\tau_i} g(t)\,dt - \overline{\alpha}_i$$

$$\overline{\alpha}_i = \delta^{-1} m_{pj}(\psi_{pi,j} - \psi_{pi-1,j})$$

т. е. элемент $y = y_i^* \in V_2$ такой, что

$$|y_i^* - \overline{y}_i| \leq \varepsilon\delta,\ \overline{y}_i = y^\delta(y_{i-1}^*; \alpha_i, x_{i-1}),\ \overline{y}_0 = r_0 \tag{3.3}$$

где $y^\delta(y_{i-1}^*; \alpha_i, x_{i-1})$ — точное решение неравенства (3.2). Величина

$u_{i-1} = u(y_i^*, y_{i-1}^*, x_{i-1}, \alpha_i, \alpha_{i+1}) \in V_2$ задается следующим образом: при $i \in [1:m-1]$:

$$u_{i-1} = \begin{cases} d_i, \text{ если } |s_{i-1}| = 0 \\ d_i - \dfrac{|w_{i-1}^*|}{|s_{i-1}|} s_{i-1}, \text{ если } |s_{i-1}| \neq 0 \end{cases} \tag{3.4}$$

$$u_{m-1} = \begin{cases} 0, \text{ если } |x_{m-1} - y_{m-1}^*| = 0 \\ -\dfrac{|w_{m-1}^*|}{|x_{m-1} - y_{m-1}^*|}(x_{m-1} - y_{m-1}^*) \text{ в противном случае} \end{cases} \tag{3.5}$$

где $s_{i-1} = x_{i-1} - y_{i-1}^* - (w_{i-1}^* + \beta_{i+1} - \beta_i)/\gamma_{\varepsilon,\delta,\nu}$, $\gamma_{\varepsilon,\delta,\nu} = 1 - \varepsilon - 2k\delta(1+\nu)$, $\alpha_i^* \in V_2$ — произвольный элемент из множества

$$\{v \in V_2 |, |\int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} g(t)\,dt - v| \le \varepsilon\}, \quad w_i^* = \delta^{-1}\{y_{i+1}^* - y_i^*\}, \quad \beta_{i+1} = \alpha_{i+1}^* -$$

$$- \alpha_{i+1}^0, \quad \alpha_i^0 \in V_2, \quad |\alpha_i^0 - \bar{\alpha}_i| \le h/\delta, \quad d_i = \bar{\alpha}_i - \alpha_{i+1}.$$

Алгоритм решения задачи 2 так же, как и алгоритм решения задачи 1, разбивается на $m = m(\Delta)$ шагов. На i-м шаге (осуществляемом в течение отрезка времени δ_i) сначала вычисляются элементы u_i^ε согласно (2.3), а также элементы y_{i+1}^*, x_{i+1}, $i \in [0; m(\Delta) - 1]$ по формулам (3.1). Затем находятся функции (траектории модели):

$$\bar{y}^\delta(t) = y_i^* + (t - \tau_i) w_i^*, \quad x^\delta(t) = x_i + (t - \tau_i) u_i \text{ при } t \in \delta_i \tag{3.6}$$

Вся процедура осуществляется до момента ϑ. Пусть взята величина $\delta = \delta(\varepsilon)$ такая, что $\delta(\varepsilon) \to 0$, $\varepsilon\delta^{-5/2}(\varepsilon) \to 0$ при $\varepsilon \to 0$, $\delta(\varepsilon) \le \delta_0 \le 1$, когда $\varepsilon \in [0, \varepsilon_0]$.

Обозначим $z_\delta(t) = y_{i+1}^* - (x_i - y_i^*)$ при $t \in \delta_i$, $i \in [0: m-1]$, $e = |f_0|_{L_\infty(T;H)}$, $f_0(t) = g(t) - r_* m_{p_j} \ddot{x}_{p,j}(t)$ при $t \in T$, $R = |\dot{r}|_{L_\infty(T;H)}$.

Теорема 3.1. При $b \ge b^{(1)}$ для любого $\nu > 0$ можно указать такое число $\varepsilon_2 = \varepsilon_2(b, \nu) > 0$, что верно неравенство (2.4), когда $\varepsilon \in (0, \varepsilon_2)$. Равномерно по $t \in T$, $\delta \in (0, \delta_0)$, $\varepsilon \le \delta$, $\varepsilon \in (0, \varepsilon_0]$:

$$|r(t) - \bar{y}^\delta(t)|^2 \le d_1 \nu_1(\delta, \varepsilon), \quad \nu_1(\delta, \varepsilon) = \delta^{1/2} + \varepsilon\delta^{-3/2}$$

если элементы y_i^* близки к $\hat{y}_i$ в метрике V_2, т. е.

$$\|y_i^* - \bar{y}_i\| \le \varepsilon\delta \tag{3.7}$$

то справедливо также неравенство $|r - z_\delta|^2_{L_2(T;V_2)} \le d_2 \nu_1(\delta, \varepsilon)$. Здесь $d_j = d_j(\varepsilon_0, \delta_0, R, e)$, $j = 1, 2$, — постоянные, выписываемые в явном виде.

В силу теоремы 3.1, когда величины ε, δ и $\varepsilon\delta^{-5/2}$ малы, функции v^ε и $\bar{y}^\delta$ будут подходящими приближениями f и r. Если восстановлению подлежит лишь температура среды, то можно также воспользоваться приведенным выше алгоритмом. При этом, однако, вычислять управление u^ε не следует — на i-м шаге необходимо вычислять лишь элементы y_{i+1}^*, x_{i+1} и траектории модели (3.6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кряжимский А. В., Осипов Ю. С.* О моделировании управления в динамической системе//Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1983. № 2. С. 51—60.
2. *Осипов Ю. С., Кряжимский А. В.* О динамическом решении операторных уравнений//Докл АН СССР. 1983. Т. 269. № 3. С. 552—556.
3. *Osipov Yu. S.*//Control problems under insufficient information.//Lecture Notes Control and Inform. Sci. 1987. V. 113. P. 29—51.
4. *Панагиотопулос П.* Неравенства в механике и их приложения. М.: Мир, 1989. 492 с.
5. *Дюво Г., Лионс Ж.-Л.* Неравенства в механике и физике. М.: Мир, 1980. 383 с.
6. *Barbu V.* Optimal control of variational inequalities. L.: Pitman. 1984. 306 p.

Екатеринбург

Поступила в редакцию
13.I.1992