

# Добыча, транспорт и переработка нефти и газа

УДК 681.5

## РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ МЕТОДОМ ФУРЬЕ

*А.А. Афиногентов, Ю.А. Тычинина*

Самарский государственный технический университет  
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Математическая модель процесса трубопроводного транспорта нефти представлена в виде линейного дифференциального уравнения в частных производных второго порядка с однородными граничными условиями второго рода, для которого получено решение методом Фурье (разделения переменных).*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, объект с распределенными параметрами, краевая задача, трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов.

### Введение

Для решения широкого круга задач моделирования и оптимального управления процессами трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов применяются различные методы, в том числе численные. Однако аналитические методы получения решений для линейных модификаций математических моделей имеют свои преимущества, в частности для нахождения аналитических представлений оптимальных управлений, получаемых методами, основанными на принципе максимума Понтрягина.

В статье проведена линеаризация краевой задачи математического моделирования процесса трубопроводного транспорта жидких углеводородов, предложенной в работах [1-2], и получено ее аналитическое решение методом Фурье (разделения переменных).

### Краевая задача

Взаимосвязь двух управляемых функций (давления  $P$  и скорости  $\omega$ ) объекта управления с распределенными параметрами (ОРП), характеризующих движение нефтепродукта плотностью  $\rho$  по трубопроводу постоянного диаметра  $D$  длиной  $L$  в

---

*Работа проведена с использованием оборудования ЦКП «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов» Самарского государственного технического университета при финансовой поддержке Минобрнауки России.*

*Александр Александрович Афиногентов (к.т.н.), ассистент кафедры «Трубопроводный транспорт».*

*Юлия Александровна Тычинина (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

любой точке  $x$ ,  $x \in [0, L]$ , по направлению движения потока и в любой момент времени  $t$ ,  $t \geq 0$ , может быть описана системой двух пространственно-одномерных нелинейных неоднородных уравнений вида [1, 2]

$$\begin{cases} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} = -\rho \cdot \left( \frac{\partial \omega(x,t)}{\partial t} + \frac{\lambda(\omega(x,t)) \cdot \omega^2(x,t)}{2 \cdot D} + g \cdot \sin \alpha(x) \right) + u_p(x,t), \\ \frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = -c^2 \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial \omega(x,t)}{\partial x} - u_\omega(x,t) \right), \end{cases} \quad (1)$$

здесь  $\alpha(x)$  – угол наклона оси трубопровода к произвольной горизонтальной поверхности;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\lambda(\omega(x,t))$  – коэффициент гидравлического сопротивления, который определяется в зависимости от скорости  $\omega(x,t)$  по формулам Стокса, Блазиуса, Альтшуля;  $c$  – скорость распространения волн в жидкости, текущей в стальной трубе с толщиной стенки  $d$ , определяется по формуле Жуковского [1-4].

Система уравнений (1), дополненная начальными условиями вида

$$P(x, t_0) = P_0(x), \quad \omega(x, t_0) = \omega_0, \quad t_0 = 0, \quad x \in [0, L] \quad (2)$$

и любыми двумя граничными условиями из набора

$$\begin{cases} \omega(0, t) = \xi_0(t), \quad P(0, t) = \eta_0(t), \\ \omega(L, t) = \xi_1(t), \quad P(L, t) = \eta_1(t), \end{cases} \quad (3)$$

составляет краевую задачу математического моделирования процесса транспорта нефти по магистральному трубопроводу (МТП).

В правые части уравнений системы (1) входят функция распределения источников давления по длине трубопровода  $u_p(x, t)$  и функция распределения источников жидкости по длине трубопровода  $u_\omega(x, t)$ , которые, как показано в [1, 2], можно рассматривать в качестве внутренних управляющих сосредоточенных воздействий  $u_{pk}(t)$ , приложенных в точках расположения нефтеперекачивающих станций (НПС)  $x_{pk} \in [0, L]$ ,  $k = \overline{1, K}$ , и  $u_{os}(t)$ , приложенных в точках отбора нефти  $x_{os} \in [0, L]$ ,  $s = \overline{1, S}$ , где  $K$  – число работающих НПС, а  $S$  – общее число точек отбора нефти по длине трубопровода [1, 2]:

$$u_p(x, t) = \sum_{k=1}^K u_{pk}(t) \cdot \delta(x - x_{pk}), \quad u_\omega(x, t) = \sum_{n=s}^S u_{os}(t) \cdot \delta(x - x_{os}), \quad (4)$$

где  $\delta(x - x_{pk}), \delta(x - x_{os})$  – функции Дирака.

### Линейная краевая задача

Линеаризуем первое уравнение в (1) следующим образом [3]:

$$\frac{\lambda(\omega(x,t)) \cdot \omega^2(x,t)}{2 \cdot D} = 2 \cdot \bar{\nu} \cdot \omega(x,t), \quad (5)$$

способы выбора  $\bar{\nu}$  описаны в [3, 4]. Далее будем рассматривать задачу при наличии только внутренних источников давления, т. е.  $u_\omega(x, t) \equiv 0$ . Дифференцируя в (1) пер-

вое уравнение по  $\partial t$ , второе по  $\partial x$  и приравнивая правые части, получаем:

$$\frac{\partial^2 \omega(x, t)}{\partial t^2} - c^2 \cdot \frac{\partial^2 \omega(x, t)}{\partial x^2} + 2 \cdot \bar{v} \cdot \frac{\partial \omega(x, t)}{\partial t} = \frac{u_p^*(x, t)}{\rho}, \quad (6)$$

где  $u_p^*(x, t)$  определяется как

$$u_p^*(x, t) = \sum_{k=1}^K \frac{du_{pk}(t)}{dt} \cdot \delta(x - x_{pk}). \quad (7)$$

В качестве граничных условий выберем пару из (3), обуславливающую неизменное значение давлений в начальной и конечной точках системы с координатами  $x = 0$  и  $x = L$  соответственно, при  $\eta_0(t) = const$  и  $\eta_1(t) = const$ , тогда с учетом второго уравнения системы (1) получим:

$$\frac{\partial \omega(0, t)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \omega(L, t)}{\partial x} = 0. \quad (8)$$

Начальные условия запишем в виде

$$\omega(x, t_0) = \omega_0, \quad \frac{\partial \omega(x, t_0)}{\partial t} = 0, \quad t_0 = 0, \quad x \in [0, L], \quad (9)$$

характеризующем стационарное состояние гидродинамической системы в начальный момент времени.

**Решение краевой задачи** будем искать в виде

$$\omega(x, t) = W(x, t) + w(x, t), \quad (10)$$

где  $W(x, t)$  – решение однородной задачи при заданных (в общем неоднородных) начальных условиях;  $w(x, t)$  – решение неоднородной задачи при однородных начальных условиях.

Рассмотрим на первом этапе решение однородной краевой задачи при  $u_p^*(x, t) \equiv 0$  и краевых условиях (8)-(9).

Будем искать решение задачи в виде

$$W(x, t) = X(x) \cdot T(t). \quad (11)$$

Подставляя (11) в (6), после разделения переменных получим:

$$-c^2 \cdot \frac{d^2 X(x)}{dx^2} \cdot T(t) + X(x) \cdot \frac{d^2 T(t)}{dt^2} + 2 \cdot \bar{v} \cdot X(x) \cdot \frac{dT(t)}{dt} = 0 \quad | : X(x) : T(t), \quad (12)$$

$$c^2 \cdot \frac{1}{X(x)} \cdot \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = \frac{1}{T(t)} \cdot \frac{d^2 T(t)}{dt^2} + 2 \cdot \bar{v} \cdot \frac{1}{T(t)} \cdot \frac{dT(t)}{dt} = -\mu_n^2. \quad (13)$$

Далее необходимо найти те значения параметра  $\mu_n$ , при которых задача имеет нетривиальное (отличное от нуля) решение, удовлетворяющее краевым условиям. Перейдем к задаче на собственные функции. Для левой части (13) собственные функции  $X_n(\mu_n, x)$  являются решением задачи Штурма – Лиувилля вида

$$\frac{d^2 X_n(\mu_n, x)}{dx^2} = -\frac{\mu_n^2}{c^2} \cdot X_n(\mu_n, x) \quad (14)$$

с граничными условиями, получаемыми подстановкой (10) в (9):

$$\frac{dX_n(\mu_n, 0)}{dx} = \frac{dX_n(\mu_n, L)}{dx} = 0. \quad (15)$$

Ввиду однородности уравнений (14) собственные функции  $X_n(\mu_n, x)$  определяются с точностью до постоянных множителей, и общее решение уравнения (14) будет иметь вид

$$X_n(\mu_n, x) = C_{1n} \cdot \cos\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot x\right) + C_{2n} \cdot \sin\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot x\right), \quad (16)$$

$$\frac{X_n(\mu_n, x)}{dx} = -C_{1n} \cdot \frac{\mu_n}{c} \cdot \sin\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot x\right) + C_{2n} \cdot \frac{\mu_n}{c} \cdot \cos\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot x\right); \quad (17)$$

с учетом граничных условий (15) получаем:

$$\frac{X_n(\mu_n, 0)}{dx} = -C_{1n} \cdot \frac{\mu_n}{c} \cdot 0 + C_{2n} \cdot \frac{\mu_n}{c} \cdot 1 = 0 \Rightarrow C_{2n} = 0, \quad (18)$$

$$\frac{X_n(\mu_n, L)}{dx} = -C_{1n} \cdot \frac{\mu_n}{c} \cdot \sin\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot L\right) = 0 \Rightarrow \frac{\mu_n}{c} \cdot L = \pi \cdot n \Rightarrow \mu_n = \frac{\pi \cdot n \cdot c}{L}, \quad (19)$$

$$X_n(\mu_n, x) = C_{1n} \cdot \cos\left(\frac{\mu_n}{c} \cdot x\right) = C_{1n} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right), \quad \mu_n = \frac{\pi \cdot n \cdot c}{L}, \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (20)$$

где  $C_{1n}$  – произвольное действительное число, примем  $C_{1n} = 1$ .

Подставляя (20) в (13), запишем для правой части:

$$\frac{d^2 T_n(t)}{dt^2} + 2 \cdot \bar{v} \cdot \frac{dT_n(t)}{dt} + \mu_n^2 \cdot T_n(t) = 0. \quad (21)$$

Характеристическое уравнение для (21) будет иметь вид

$$\lambda^2 + 2 \cdot \bar{v} \cdot \lambda + \mu_n^2 = 0, \quad (22)$$

решение характеристического (22) уравнения запишем в виде

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0, \quad \lambda_2 = 2 \cdot \alpha, \quad n = 0, \\ \lambda_{1,2} &= \alpha \pm \beta_n, \quad D > 0, \quad 0 < n \leq N^*, \\ \lambda_{1,2} &= \alpha \pm i \cdot \beta_n^*, \quad D < 0, \quad n > N^*, \end{aligned} \quad (23)$$

где

$$\alpha = -\bar{v}, \quad \beta_n = \sqrt{\bar{v}^2 - \left(\frac{\pi \cdot n \cdot c}{L}\right)^2}, \quad \beta_n^* = \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot n \cdot c}{L}\right)^2 - \bar{v}^2}, \quad N^* = \left\lfloor \frac{L \cdot \bar{v}}{\pi \cdot c} \right\rfloor. \quad (24)$$

Решения уравнения (21) для действительных корней уравнения (22) примет вид

$$T_0(t) = C_{01} \cdot e^{-2\alpha t} + C_{02}, \quad n = 0, \\ T_n(t) = C_{3n} \cdot e^{(\alpha+\beta_n)t} + C_{4n} \cdot e^{(\alpha-\beta_n)t}, \quad 0 < n < N^*. \quad (25)$$

Решение уравнения (21) для комплексных корней в (22) может быть получено из второго уравнения в (25) по формулам Эйлера:

$$T_n(t) = e^{\alpha t} \cdot (C_{5n} \cdot \cos(\beta_n^* \cdot t) + C_{6n} \cdot \sin(\beta_n^* \cdot t)), \quad n > N^*. \quad (26)$$

Подставляя (25) в (11) и суммируя по  $n$  частные решения задачи, запишем общее решение для  $W(x, t)$  в виде

$$W(x, t) = W_0(t) + \sum_{n=1}^{N^*} (C_{3n} \cdot e^{(\alpha+\beta_n)t} + C_{4n} \cdot e^{(\alpha-\beta_n)t}) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right) + \\ + \sum_{n=(N^*+1)}^{\infty} e^{\alpha t} \cdot (C_{5n} \cdot \cos(\beta_n^* \cdot t) + C_{6n} \cdot \sin(\beta_n^* \cdot t)) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right). \quad (27)$$

Подставляя (27) в начальные условия (9), получим:

$$C_{01} = C_{3n} = C_{4n} = C_{5n} = C_{6n} = 0 \Rightarrow W_0(t) = C_{02} = \omega_0; \quad (28)$$

$$\omega(x, t) = \omega_0. \quad (29)$$

Физически решение (29) означает, что при отсутствии внутренних управлений (возмущений) и однородных ГУ второго рода в системе бесконечно долго сохраняется начальное стационарное состояние.

**Замечание 1.** Особенностью полученного решения является учет членов ряда при  $0 < n \leq N^*$ . Необходимость учета в решении значения  $N^*$  возникает в задачах моделирования протяженных трубопроводов. Оценим значение  $N^*$  в зависимости от длины  $L$ , [м], для задачи моделирования магистрального трубопровода диаметром  $D = 1000$  мм, транспортирующего нефть плотностью  $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$  с кинематической вязкостью  $\nu = 7,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , и скоростью распространения звука в системе «нефть – труба»  $c \approx 998 \text{ м/с}$  [2].

Для рациональных скоростей перекачки значение линеаризующего коэффициента в (5) примем  $\bar{\nu} \approx 0,01 \div 0,02$ ,  $\left[\frac{1}{c}\right]$ , тогда с учетом (24) получим:

$$N^* \approx (0,0318 \div 0,0636) < 1 \text{ при } L = 10^4 \text{ м} = 10 \text{ км};$$

$$N^* \approx (0,318 \div 0,636) \approx 1 \text{ при } L = 10^5 \text{ м} = 100 \text{ км};$$

$$N^* \approx (1,59 \div 3,18) > 1 \text{ при } L = 5 \cdot 10^5 \text{ м} = 500 \text{ км}.$$

Найдем теперь решение *неоднородной* задачи (6-7) при однородных граничных условиях (8) и однородных начальных условиях вида

$$\omega(x, t_0) = \frac{\partial \omega(x, t_0)}{\partial t} = 0, \quad t_0 = 0, \quad x \in [0, L]. \quad (30)$$

Согласно теореме о разложимости функций в ряд Фурье периодическая функция с периодом  $T = 2L$  может быть представлена (для четных функций) в виде

$$y(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right), \quad (31)$$

где коэффициенты разложения будут иметь вид

$$a_n = \frac{2}{L} \cdot \int_0^L y(x) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n \cdot x}{L}\right) dx, \quad n=1,2,\dots,\infty, \quad a_0 = \frac{2}{L} \cdot \int_0^L y(x) dx, \quad n=0. \quad (32)$$

Представим функцию  $u_p^*(x,t)$ , описываемую уравнением (7), как периодическую четную функцию, для чего симметрично относительно начала координат отразим ее на отрицательную полуось на участке  $[-L,0]$ , а затем получим ее описание в виде (31), т. е. разложим в ряд Фурье по косинусам, тогда

$$\frac{u_p^*(x,t)}{\rho} = f(t) \cdot \varphi(x) = \frac{f_0(t)}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right), \quad (33)$$

где коэффициенты разложения  $f_n(t)$  будут определяться согласно (32) и известным свойствам  $\delta$ -функции в виде

$$f_0(t) = \frac{2}{\rho \cdot L} \cdot \sum_{k=1}^K \frac{du_{pk}(t)}{dt}, \quad n=0, \quad (34)$$

$$f_n(t) = \frac{2}{\rho \cdot L} \cdot \sum_{k=1}^K \frac{du_{pk}(t)}{dt} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n \cdot x_{pk}}{L}\right), \quad n=1,2,\dots,\infty.$$

Разделяя переменные и переходя к задаче о собственных функциях в (6, 7, 8, 30), получим аналогично (21)

$$\frac{d^2 T_n(t)}{dt^2} + 2 \cdot \bar{v} \cdot \frac{dT_n(t)}{dt} + \mu_n^2 \cdot T_n(t) = f_n(t) \quad (35)$$

с однородными начальными условиями

$$T_n(0) = \frac{dT_n(0)}{\partial t} = 0. \quad (36)$$

Решение задачи будем искать в виде

$$T_n(t) = \bar{T}_n(x,t) + T_n^*(x,t), \quad (37)$$

где  $\bar{T}_n(t)$  – общее решение однородной задачи при  $f_n(t) \equiv 0$  в (35);  $T_n^*(t)$  – частное решение неоднородной задачи (35, 36), определяемое методом подбора.

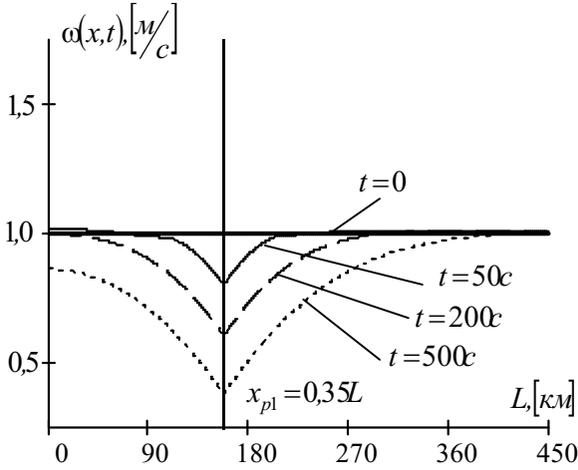
Далее положим в (7)

$$\frac{du_{pk}(t)}{dt} = u_{pk}^{\max} = const, \quad t \in [0, \infty). \quad (38)$$

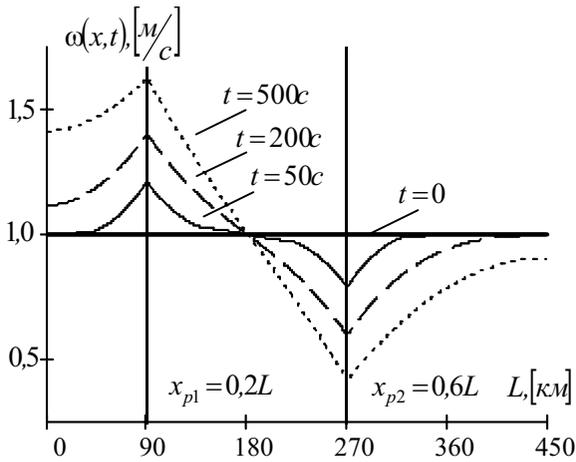
Так, при  $u_{pk}^{\max} < 0$  выражение (7) эквивалентно росту с постоянной скоростью потери напора (давления) в точке  $x_k$  трубопровода, что может быть вызвано закрывающейся с линейно зависимой от угла поворота степенью дросселирования потока задвижкой.

Общее решение задачи для произвольных начальных условий получено нами выше в виде (25, 26), частное решение  $T_n^*(t)$  будем искать в виде

$$\begin{aligned} T_0^*(t) &= C_0^* \cdot t, \quad n = 0, \\ T_n^*(t) &= C_n^*, \quad n = 1, 2, \dots, \infty. \end{aligned} \quad (39)$$



a



б

Распределение скорости потока по длине трубопровода в различные моменты времени:

$$a - \text{при } u_{p1}^{max} = -10 \text{ кмПа/с}; \quad б - \text{при } u_{p1}^{max} = -u_{p2}^{max} = 10 \text{ кмПа/с}$$

Подставляя (39) в (35), получаем:

$$2 \cdot \bar{v} \cdot C_0^* = \frac{f_0(t)}{2} \Rightarrow C_0^* = \frac{1}{2 \cdot \bar{v} \cdot \rho \cdot L} \cdot \sum_{k=1}^K u_{pk}^{\max}, \quad n=0, \quad (40)$$

$$\mu_n^2 \cdot C_n^* = f_n(t) \Rightarrow C_n^* = \frac{2}{\mu_n^2 \cdot \rho \cdot L} \cdot \sum_{k=1}^K u_{pk}^{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n \cdot x_{pk}}{L}\right), \quad n=1, 2, \dots, \infty;$$

подставляя (25, 26) и (39) в (37), а затем в (36), получаем значения неизвестных коэффициентов:

$$C_{02} = -C_{01} = C_0^*/2 \cdot \alpha, \quad C_{3n} = C_n^* \cdot (\alpha - \beta_n)/2 \cdot \beta_n, \quad (41)$$

$$C_{4n} = -C_n^* \cdot (\alpha + \beta_n)/2 \cdot \beta_n, \quad C_{5n} = -C_n^*, \quad C_{6n} = \alpha \cdot C_n^*/\beta_n.$$

Подставляя (41) в (11) и суммируя все частные решения по  $n$ , после окончательной подстановки полученного результата и (29) в (10) получим:

$$\omega(x, t) = \omega_0 + C_0^* \cdot \left( \frac{(1 - e^{2 \cdot \alpha \cdot t})}{2 \cdot \alpha} + t \right) +$$

$$+ \sum_{n=1}^{N^*} C_n^* \cdot \left( \frac{(\alpha - \beta_n)}{2 \cdot \beta_n} \cdot e^{(\alpha + \beta_n)t} - \frac{(\alpha + \beta_n)}{2 \cdot \beta_n} \cdot e^{(\alpha - \beta_n)t} + 1 \right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right) +$$

$$+ \sum_{n=(N^*+1)}^{\infty} C_n^* \cdot \left( -e^{\alpha t} \cdot \cos(\beta_n^* \cdot t) + \frac{\alpha \cdot e^{\alpha t}}{\beta_n} \cdot \sin(\beta_n^* \cdot t) + 1 \right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right). \quad (42)$$

На рисунке приведен пример расчета распределения скорости потока нефти в трубопроводе протяженностью  $L=450$  км и диаметром  $D=1200$  мм при наличии прироста и снижения с постоянной скоростью  $u_{pk}^{\max}$  давления в точках  $x_{pk}$ . Для расчетов учитывались первые сто членов ряда в (42) при  $N^*=4$ .

**Замечание 2.** Для отыскания функции пространственно-временного распределения давления транспортируемой жидкости в трубопроводе  $P(x, t)$  необходимо подставить полученное решение (42) в первое уравнение системы (1) с учетом того, что

$$\sin \alpha(x) = \frac{dz(x)}{dx}, \quad (43)$$

где  $z(x)$  – высота оси трубопровода над плоскостью сравнения (уровень моря).

## Заключение

Полученное в работе решение краевой задачи математического моделирования процесса трубопроводного транспорта нефти описывает в аналитическом виде зависимости от времени и координаты давления и скорости потока в трубопроводе, рассматриваемых в качестве управляемых величин объекта управления с распределенными параметрами (ОРП). Для применения описанной выше методики аналитического представления ОРП необходимо наличие гладкой, как минимум дважды дифференцируемой функции в правой части уравнения (35).

При наличии разрывных функций в правой части (35), получаемых при решении задач оптимального управления на основе принципа максимума Понтрягина, для

интегрирования уравнений необходимо применение аппарата *обобщенных функций*, в частности метода функций Грина.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Афиногентов А.А., Плешивецва Ю.Э., Снопков А.С.* Математическое моделирование управляемых гидродинамических процессов трубопроводного транспорта жидких углеводородов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2010. – Вып. 7(28). – С. 137-144.
2. *Афиногентов А.А., Плешивецва Ю.Э., Ефимов А.П.* Оптимальное по быстродействию управление переходными режимами работы магистрального нефтепровода // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2011. – Вып. 3(31). – С. 6-13.
3. *Чарный И.А.* Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
4. *Мирзаджанзаде А.Х., Галлямов А.К., Марон В.И., Юфин В.А.* Гидродинамика трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1984. – 287 с.

*Статья поступила в редакцию 20 марта 2013 г.*

## **SOLUTION OF BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR MATHEMATICAL MODEL OF OPERATION OF TRUNK PIPELINES FOR PETROLEUM TRANSPORTATION BY THE FOURIER METHOD**

*A.A. Afinogentov, Yu.A. Tychinina*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The mathematical model of operation of trunk pipelines for petroleum transportation is presented in the form of the linear differential equation of the second order with homogeneous boundary condition of the second sort for which the decision is received by Fourier method (separation of variables).*

**Keywords:** *mathematical simulation, object with distributed parameters, boundary problem, trunk pipelines for petroleum and petrochemical products transportation.*