

6. Летаев, Д. А. Бытовые электроприборы для кухни [Текст] : справ. пособие / Д. А. Летаев. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 96 с.
7. Партала, О. Н. Справочник по ремонту бытовых электроприборов [Текст] / О. Н. Партала. – СПб: Наука и техника, 2010. – 400 с.
8. Филимоныхин, Г. Б. Стенд центробежной соковыжималки с автобалансиром для определения оптимальных значений параметров автобалансира [Текст] / Г. Б. Филимоныхин, В. В. Гончаров // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2013. – Вып. 70. – С. 22–27.
9. Гончаров, В. В. 3D моделирование динамики центробежной соковыжималки с шаровым автобалансиром [Текст] / В. В. Гончаров, Г. Б. Филимоныхин // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 6, №. 1 (14). – С. 15–18.
10. Алямовский, А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с.
11. Kuang-Hua, Chang Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007 [Text] / Chang Kuang-Hua. – Publisher: Schroff Development Corporation, 2008. – 142 p.
12. Гончаров, В. В. Методика оптимизации параметров шарового автобалансира на примере минимизации установившегося виброускорения 3D модели центробежной соковыжималки [Текст] / В. В. Гончаров, Г. Б. Филимоныхин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, №7 (67). – С. 9–14.
13. Ермаков, С. М. Математическая теория планирования эксперимента [Текст] / С. М. Ермаков, В. З. Бродский, А. А. Жигляевский и др.; под общей редакцией С. М. Ермакова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 392 с.
14. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] : учеб. / А. А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

*Розглядається задача про ударну взаємодію пластини з рідиною, що має вільну поверхню. Пластинка розташована під кутом нахилу до вільної поверхні рідини і моделює роботу органу управління судном.*

*Для безвідривного обтікання отримано точний розв'язок при довільному куті нахилу; для обтікання з відривом точний розв'язок вдалось знайти лише при певному куті нахилу*

*Ключові слова: ударна взаємодія тіла та рідини із вільною поверхнею, ударний рух*

*Рассматривается задача об ударном взаимодействии пластинки с жидкостью, которая имеет свободную границу. Пластинка расположена под углом наклона к свободной поверхности жидкости и моделирует работу органа управления судном.*

*Для безотрывного обтекания получено точное решение при любом угле наклона; для обтекания с отрывом точное решение получено только при определенном угле наклона*

*Ключевые слова: ударное взаимодействие тела и жидкости со свободной поверхностью, ударное движение*

УДК 532.582

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛА И ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В. А. Катан

Старший преподаватель  
Кафедра математического моделирования  
Днепропетровский национальный  
университет имени О. Гончара  
пр. К.Маркса, 35, г. Днепропетровск,  
Украина, 49000  
E-mail: vlad\_aleks@i.ua

### 1. Введение

Пластинка (или тело, близкое к ней по форме) используется в качестве рулевых органов и активных успокоителей качки в процессе управления судами, а также часто служит органом управления и автоматики в различных гидравлических системах [1, 2]. Резкое (ударное) изменение скорости движения элементов пластинки может вызвать явление мгновенного отрыва жидкости от ее поверхности, что, в свою очередь, может привести к нарушению ее рабочего режима, вызванного неконтролируемым изменением ее гидродинамическим характеристик.

При мгновенном изменении кинематических параметров тела в жидкости, контактируемой с телом,

возникает мгновенное потенциальное поле скоростей (если первоначально жидкость покоилась) или дополнительное потенциальное по отношению к исходному полю. При ударном взаимодействии потенциал скорости на свободных границах жидкости остается равным нулю. На этих участках границы, на которых во время удара нормальная компонента скорости тела направлена вовнутрь жидкости, сохраняется контакт тела с жидкостью и выполняется условие безотрывного обтекания; на тех же участках поверхности, где нормальная компонента тела направлена от жидкости, возможно возникновение инерционного отставания жидкости от тела – так называемый отрыв жидкости. Предугадать заранее место возникновения разрыва и его размеры невозможно. Координату точки начала зоны отрыва

(если отрыв один) на поверхности тела приходится задавать сначала априори, а потом так подбирать эту координату в итерационном процессе, чтобы полученное решение на всем участке безотрывного обтекания импульсивное давление было положительным.

Математически гидродинамическая задача определения поля течения жидкости сводится к задаче Келдыша – Седова для комплексного потенциала в некоторой вспомогательной полуплоскости.

Для практики большой интерес представляют те случаи, когда и задача безотрывного и задача отрывного обтекания тела решаются точно аналитически.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В классической постановке математическая модель ударного взаимодействия тела и жидкости со свободной границей выводится из предположения, что на свободной поверхности несжимаемой жидкости в контакте с ней находится твердое тело, которое в начальный момент времени испытывает внешнее импульсное воздействие, в результате чего оно приобретает поступательную и угловую скорости. Общая динамическая задача с учетом потенциальности возникшего течения может быть разделена на кинематическую и собственно динамическую часть. В кинематической задаче возникшее движение твердого тела считается известным и определению подлечит потенциал течения жидкости, который является гармонической функцией, удовлетворяющей условию Неймана на смоченной поверхности тела и условию Дирихле на свободной поверхности жидкости. После решения смешанной задачи для уравнения Лапласа относительно потенциала течения жидкости динамическое взаимодействие тела и жидкости описывается с помощью присоединенных масс и моментов, при этом отмечается хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных [3].

Основополагающие результаты по теории удара плавающих тел принадлежат Л. И. Седову, М. А. Лаврентьеву и М. В. Келдышу. Впервые задача о горизонтальном ударе вертикальной пластинки с образованием зоны отрыва рассмотрена Седовым [4].

В дальнейшем в работах Н. А. Кудрявцевой [5], В. С. Корчагина [6], М. В. Норкина [7] и других были рассмотрены удары различной направленности (вертикальный, горизонтальный и косой) как в условиях безотрывности возникшего течения, так и при наличии отрывных зон, проанализировано влияние на присоединенные массы плавающих тел сжимаемости и твердых границ, ограничивающих область течения жидкости.

В последние годы ударное взаимодействие тел и жидкости со свободной поверхностью изучалось с целью установления условий возникновения отрыва и влияния на его развитие различных свойств как самой жидкости, так и конфигурации области течения [8, 9]. При проведении такого анализа используются различные методы решения нелинейной смешанной задачи гидродинамического удара. Зарубежные исследователи при изучении проблемы гидродинамического удара в основном используют методы численного моделирования, как например, работа [10].

Однако полученные результаты имеют частный характер и не позволяют варьировать характерные параметры, например, геометрические, для выявления возникновения отрывных зон. Данное исследование направлено на получение общего решения поставленной задачи, которое бы позволило проводить параметрическое моделирование возникновения отрыва в зависимости от геометрических и кинематических параметров.

## 3. Цель и задачи исследования

В работе рассматривается в плоской постановке задача об ударном (мгновенном) изменении кинематических характеристик пластинки, находящейся в наклонном положении к свободной поверхности жидкости. Выбранная система координат и схема взаимодействия представлена на рис. 1.

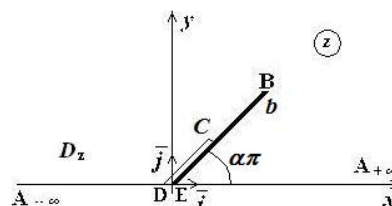


Рис. 1. Схема к постановке задачи

В несжимаемой первоначально неподвижной жидкости, заполняющей верхнее полупространство  $y > 0$ , расположена пластинка длиной  $b$  под углом  $\alpha\pi$  к свободной поверхности. В результате действовавших на пластинку импульсов элементы ее поверхности приобретают мгновенную скорость

$$\bar{V} = (U_0 - \omega_z y)\bar{i} + (V_0 + \omega_z x)\bar{j}, \tag{1}$$

где  $U_0$  – поступательная скорость вдоль оси  $Ox$  полюса,  $V_0$  – поступательная скорость вдоль оси  $Oy$  полюса,  $\omega_z$  – угловая скорость.

Цель задачи – это определение импульсивного давления со стороны на обе стороны пластинки для дальнейшего определения суммарных импульсных силы и момента в зависимости от угла наклона пластинки.

Для определения импульсивного давления необходимо решить следующую математическую задачу. Возникшее в результате ударного взаимодействия движение жидкости является потенциальным, и для его описания в комплексной плоскости  $xOy$   $z = x + iy$  введем комплексный потенциал

$$w(z) = \phi(x, y) + i\psi(x, y).$$

На участках безотрывного обтекания пластинки функция  $\psi(x, y)$  будет равна [11]

$$\psi = U_0 y - V_0 x - \frac{\omega_z}{2}(x^2 + y^2). \tag{2}$$

На том участке тыльной поверхности пластинки, элементы которой «убегают» от жидкости, может про-

изойти инерционный отрыв жидкости от поверхности пластинки. Будем предполагать, что отрыв распространяется по тыльной стороне пластинки от точки В до точки С, положение которой заранее неизвестно. На этом участке ВС будем иметь условие  $\phi = 0$ ; такое же условие выполняется и на участках свободной поверхности  $A_{-\infty}D$  и  $EA_{+\infty}$ .

Таким образом, исходная задача может рассматриваться как задача математической физики и сводится к определению аналитической функции  $w(z)$  в верхней полуплоскости комплексного переменного  $z = x + iy$  с разрезом вдоль пластинки  $D(E)B$  (область  $D_z$ ) с граничными условиями: на участке безотрывного обтекания элементов пластинки СВЕ задана функция  $\psi$  (2), а на участке пластинки DC и участках свободной поверхности жидкости  $A_{-\infty}D$  и  $EA_{+\infty}$  функция  $\phi = 0$ . Определению подлежит значение функции  $\varphi$  на сторонах пластинки, через которую выражается импульсивное давление  $p_t$  по формуле

$$p_t = -\rho\phi. \tag{3}$$

#### 4. Построение общего решения задачи гидродинамического удара

Область  $D_z$  отобразим на верхнюю полуплоскость комплексного переменного  $t = \xi + i\eta$  при помощи функции [11]

$$z = b \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left( t + \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} (t-1)^\alpha, \tag{4}$$

которая осуществляет следующее отображение точек:  $A(z = \infty \rightarrow \xi = \infty)$ ;  $E(z = 0 + 0 \rightarrow \xi = 1)$ ;  $B(z = be^{i\alpha\pi} \rightarrow \xi = 0)$ ;  $C(z = ce^{i\alpha\pi} \rightarrow \xi = -q)$  и  $D(z = be^{i\alpha\pi} \rightarrow \xi = 0)$  с соответствием точек, указанном на рис. 2.

В результате исходная задача превращается в задачу Келдыша-Седова для функции  $\chi = -iw = \psi - i\phi$  в области  $\text{Im}t > 0$  со следующими условиями на действительной оси:

$$\text{Im}\chi|_{A_{-\infty}D} = 0, \text{Im}\chi|_{DC} = 0, \text{Im}\chi|_{E'A_{+\infty}} = 0 \tag{5}$$

и

$$\begin{aligned} \text{Re}\chi|_{C'VE'} &= b \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left( \xi + \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} \times \\ &\times (1-\xi)^\alpha (U_0 \sin \alpha\pi - V_0 \cos \alpha\pi) - \\ &- \frac{\omega_z b^2}{2} \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{2(1-\alpha)} \left( \xi + \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{2(1-\alpha)} (1-\xi)^{2\alpha}. \end{aligned} \tag{6}$$

Решение указанной задачи согласно ([12], [13]) имеет вид:

$$\begin{aligned} \Psi(t) &= -\frac{1}{\pi} \sqrt{(t+q)(t-1)} \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \times \\ &\times \left\{ b(U_0 \sin \alpha\pi - V_0 \cos \alpha\pi) J_1(t) - \frac{\omega_z b^2}{2} \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} J_2(t) \right\}, \end{aligned} \tag{7}$$

где введены обозначения

$$\begin{aligned} J_1(t) &= \int_{-q}^1 \frac{\left( \xi + \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} (1-\xi)^{\alpha-\frac{1}{2}}}{(\xi+q)^{\frac{1}{2}} (\xi-t)} d\xi \\ \text{и } J_2(t) &= \int_{-q}^1 \frac{\left( \xi + \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{2(1-\alpha)} (1-\xi)^{2\alpha-\frac{1}{2}}}{(\xi+q)^{\frac{1}{2}} (\xi-t)} d\xi. \end{aligned} \tag{8}$$

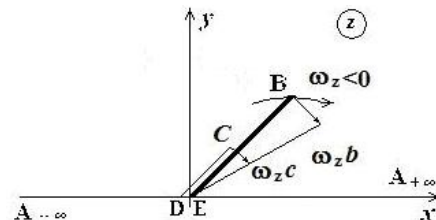


Рис. 2. Распределение линейных скоростей по поверхности пластинки при чисто вращательном ударе с отрицательной угловой скоростью  $\omega_z$

В случае, если течение безотрывное (в этом случае  $q = \frac{1-\alpha}{\alpha}$ ), оба указанных интеграла типа Коши вычисляются точно при помощи формулы Коши и формул Сохоцкого и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} J_1(t) &= -\frac{\pi}{\cos \pi\alpha} \left\{ \left( \frac{t-1}{t+q} \right)^{\alpha-\frac{1}{2}} - 1 \right\} \text{ и} \\ J_2(t) &= -\frac{\pi}{\cos 2\pi\alpha} \left\{ (t-1)^{2\alpha-\frac{1}{2}} (t+q)^{\frac{3}{2}-2\alpha} - t - \frac{3}{2} \cdot \frac{1-2\alpha}{\alpha} \right\}. \end{aligned} \tag{9}$$

В случае отрывного течения для произвольного угла наклона пластинки указанные интегралы не выражаются через элементарные функции. Однако для случая  $\alpha = \frac{1}{4}$ , что соответствует углу наклона пластинки равного  $45^\circ$ , интеграл  $J_2(t)$  вычисляется в конечном виде

$$\begin{aligned} J_2(t) &= (t+3) \sqrt{\frac{t+3}{t+q}} \ln \frac{\sqrt{1+q} - \sqrt{t+3}}{\sqrt{1+q} + \sqrt{t+3}} + \\ &+ 2\sqrt{1+q} + \frac{q-2t-9}{2} \ln \frac{\frac{2}{\sqrt{1+q}} - 1}{\frac{2}{\sqrt{1+q}} + 1}. \end{aligned} \tag{10}$$

Это позволяет рассмотреть случай чисто вращательного удара ( $U_0 = V_0 = 0$ ) пластинки с отрицательной угловой скоростью ( $\omega_z < 0$ ), для которого на рис. 2 показано распределение скоростей элементов пластинки и возможное расположение отрывной зоны на тыльной стороне пластинки.

Решение поставленной задачи имеет вид

$$\chi(t) = \frac{\omega_z b^2}{6\pi\sqrt{3}} \left[ (t+3)\sqrt{(t+3)(t-1)} \ln \frac{2\sqrt{1+q} - \sqrt{t+3}}{\sqrt{1+q} + \sqrt{t+3}} + \sqrt{(t+q)(t-1)} \left( 2\sqrt{1+q} + \frac{q-2t-9}{2} \ln \frac{2\sqrt{1+q}-1}{\sqrt{1+q}+1} \right) \right] \quad (11)$$

Положение точки отрыва – координату  $q$  – определим из условия непрерывности скорости жидкости при подходе к ней, т. е.

$$\lim_{s \rightarrow c-0} v_n = |\omega_z| c. \quad (12)$$

В плоскости  $t$  это условие равносильно условию

$$\lim_{\xi \rightarrow q-0} \frac{dw}{dz} = |\omega_z| e^{i\pi/4} b \frac{(3(3-q)^3(1+q))^{1/4}}{3}, \quad (13)$$

что приводит к следующему уравнению для величины  $q$ :

$$q = \frac{5}{3} + \frac{(3-q)\sqrt{1+q}}{4} \ln \frac{\frac{2}{\sqrt{1+q}} - 1}{\frac{2}{\sqrt{1+q}} + 1}. \quad (14)$$

Численное решение полученного уравнения приводит к корню  $q = 0,5533$ , что соответствует в физической плоскости  $c/b = 0,9581$ .

Безразмерное импульсивное давление на поверхности пластинки равно

$$\bar{p}_t = \frac{P_t}{\rho |\omega_z| b^2} = -\frac{1}{6\pi\sqrt{3}} \left[ (\xi+3)^{3/4} (1-\xi)^{1/4} \ln \frac{2\sqrt{1+q} - \sqrt{\xi+3}}{\sqrt{1+q} + \sqrt{\xi+3}} - \frac{\sqrt{(\xi+q)(1-\xi)}}{6\pi\sqrt{3}} \left( 2\sqrt{1+q} + \frac{q-2\xi-9}{2} \ln \frac{2\sqrt{1+q}-1}{\sqrt{1+q}+1} \right) \right] \quad (15)$$

Распределение безразмерного импульсивного давления  $\bar{p}_t$  по поверхности пластинки при отрывном обтекании в случае импульсного возникновения  $\omega_z$  показано на рис. 3 в зависимости от вспомогательной переменной  $\xi$ .

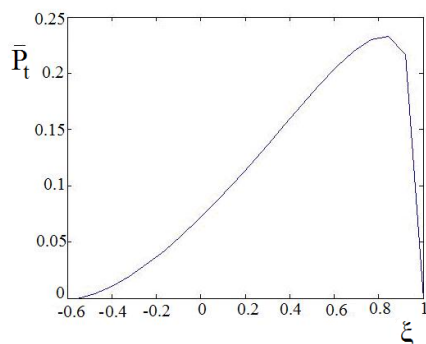


Рис. 3. Безразмерное импульсивное давление  $\bar{p}_t$  при отрывном обтекании в зависимости от вспомогательной переменной  $\xi$

П р а в а я часть оси  $\xi$  на рис. 3  $\xi \in (0;1)$  соответствует «наветренной» части пластинки, а левая  $\xi \in (-0,5533;0)$  – «подветренной». Полученная зависимость импульсивного давления имеет характерный максимум на «наветренной» стороне пластинки.

### 5. Выводы

Решена гидродинамическая задача о взаимодействии, наклонной к свободной поверхности жидкости, с жидкостью при ударном изменении скоростей элементов пластинки.

При безотрывном обтекании решение получено точно в замкнутом виде, и значение потенциала и связанного с ним импульсивного давления определяется посредством формул (3), (7) и (9). В случае отрывного обтекания решение определено в виде квадратур посредством формул (3), (7) и (8).

Для случая отрывного обтекания пластинки при чисто вращательном ударе найдено положение отрывной зоны и построено распределение импульсивного давления по поверхности пластинки.

Разработанная математическая модель ударного взаимодействия тела и жидкости со свободной поверхностью и полученные результаты являются исходной базой для расчета гидродинамических характеристик рулевых и компенсирующих устройств судов, а также для создания новых математических моделей, более полно учитывающих геометрические свойства тел, участвующих в ударном взаимодействии с жидкостью.

### Литература

1. Басин, М. А. Гидроаэродинамика крыла вблизи границы раздела сред [Текст] / М. А. Басин, В. П. Шадрин. – Л.: Судостроение, 1980. – 304 с.
2. Чугаев, Р. Р. Гидравлика [Текст] / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1970. – 552 с.
3. Норкин, М. В. Смешанные задачи гидродинамического удара [Текст] / М. В. Норкин. – 2007. – 136 с.
4. Седов, Л. И. Плоские задачи гидромеханики и аэродинамики [Текст] / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1966. – 448 с.
5. Кудрявцева, Н. А. Горизонтальный удар плавающего эллипса о несжимаемую жидкость [Текст] / Н. А. Кудрявцева // Прикл. математика и механика. – 1960. – Т. 24. – С. 258–261.
6. Корчагин, В. С. Отрывной удар по цилиндру, полупогруженному в жидкость [Текст] / В. С. Корчагин. – 1978. – № 4. – С. 25–27.

7. Норкин, М. В. Методы решения нелинейных задач гидродинамического удара в ограниченных областях [Текст] / М. В. Норкин // Изв. РАН. МЖГ. – 2005. – № 4. – С. 138–150.
8. Норкин, М. В. Отрывной удар эллиптического цилиндра, плавающего на поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины [Текст] / М. В. Норкин // Изв. РАН. МЖГ. – 2008. – № 1. – С. 120–132.
9. Норкин, М. В. Отрывной удар круглого диска, плавающего на поверхности идеальной несжимаемой жидкости бесконечной глубины [Текст] / М. В. Норкин // ПМТФ. – 2009. – Т. 50, № 4. – С. 76–86.
10. Akkerman, I. Free-Surface Flow and Fluid-Object Interaction Modeling With Emphasis on Ship Hydrodynamics [Text] / I. Akkerman, Y. Bazilevs, M. W. Farthing, C. E. Kees, D. J. Benson // J. Appl. Mech. – 2011. – Vol. 79, № 1. – P. 35-45.
11. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного [Текст] / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 736 с.
12. Гахов, Ф. Д. Краевые задачи [Текст] / Ф. Д. Гахов. – М.: Наука, 1977. – 640 с.
13. Мухелишвили, Н. И. Сингулярные интегральные уравнения [Текст] / Н. И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1968. – 512 с.

*Побудовано математичну модель течії в'язкої рідини в трубопроводі за наявності малих збурень, яка базується на системі рівнянь Нав'є-Стокса. Виявлено якісний параметр для виявлення розмірів зони впливу малих збурень на конфігурацію течії. Вказана методика може бути використана при дослідженні комунальних трубопроводів, технологічних трубопроводів в різних галузях промисловості*

*Ключові слова: в'язка рідина, рівняння Нав'є-Стокса, стійкість, чисельний метод, моделювання витоків*

*Построена математическая модель течения вязкой жидкости в трубопроводе при наличии малых возмущений с использованием системы уравнений Навье-Стокса. Установлен качественный параметр для определения размеров зоны влияния малых возмущений на конфигурацию течения. Предложенная методика может быть использована при исследовании коммунальных и технологических трубопроводов в разных отраслях промышленности*

*Ключевые слова: вязкая жидкость, уравнения Навье-Стокса, устойчивость, численный метод, моделирование утечек*

УДК 519.876.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕЧІЇ З МАЛИМИ ЗБУРЕННЯМИ ТА УМОВ ВИНИКНЕННЯ ТУРБУЛЕНТНОСТІ

**А. П. Олійник**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru

**Р. Б. Скрип'юк**

Кандидат технічних наук\*\*

E-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru

**В. Б. Шеремета\*\***

\*Кафедра математичних методів в інженерії\*\*\*

\*\*Кафедра комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики\*\*\*

\*\*\*Івано-Франківський національний технічний

університет нафти і газу

вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ,

Україна, 76019

E-mail: ok1986may@meta.ua

### 1. Вступ

При вирішенні задач технічної діагностики систем дослідники, як правило, мають справу з малими збуреннями впливів на вказані системи, що дозволяє продовжити експлуатацію об'єктів без порушення технологічних режимів. Саме такі ефекти мають місце у випадку експлуатації трубопроводів – викривлення осей, наявність дефектів поверхонь, через які можливим є виток рідини. При цьому втрата продукту транспортування є порівняно невеликою – до 0.1-0.5 %. Дефекти такого роду визначаються експериментальними

методами, проте дедалі більшого значення набуває використання методів математичного моделювання явищ такого характеру – зокрема, через складність реалізації апаратних засобів через важко доступність поверхонь для реалізації контактних методів дослідження.

В запропонованій роботі розглядається течія в'язкої рідини в технологічних трубопроводах за наявності дефектів поверхні – наскрізних отворів, через які здійснюється відтік продукту, що може призводити до серйозних екологічних та економічних наслідків. Задача технічної діагностики може бути зведена до