

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 пропонованій 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

задачі моделювання течії з витоками для розроблення методик ідентифікації та дефектів, виявлення інформативних параметрів та меж застосування моделей.

2. Літературний огляд та постановка проблеми

При дослідженні технічного стану складних механічних систем, що тривалий час експлуатуються, зокрема в задачах їх технічної діагностики, часто зустрічаються випадки, коли виникнення аварійних ситуацій обумовлене наявністю малих збурень, що діють на систему. При математичному моделюванні такого роду явищ, як правило, виникають задачі, в яких або системи рівнянь, або граничні та початкові умови зазнають певних збурень, характеристики яких є малими в порівнянні з характерними значеннями величин, які досліджуються, оскільки великі збурення початкових умов, як правило, викликають необхідність вибору інших моделей для опису явищ – коментарем до цього можуть слугувати моделі оцінки параметрів течії з малими витоками [1] та моделі течії при розриві трубопроводів [2, 3]. Тому задачі технічної діагностики, відповідні їм математичні моделі тісно пов'язані зі стійкістю відповідних фізичних процесів [4 – 6]. Існує багато робіт стосовно математичної теорії стійкості, ґрунтовний огляд яких наведено в роботі [7]. З математичної точки зору виділяють поняття:

1. стійкості відносно малих та скінчених збурень параметрів основного руху, зовнішніх, початкових даних та геометрії області (широкий клас механічних задач);
2. стійкості процесів деформування відносно збурень матеріальних функцій (задачі теорії пружних систем);
3. стійкості матеріалу по відношенню до зміни його внутрішньої структури (задачі механіки композитів);
4. стійкості при чисельному моделюванні процесу (широкий клас задач чисельного моделювання реальних фізичних процесів).

Стійкість чисельних схем при реалізації широкого класу задач досліджується в роботах [8 – 10] – зокрема для методу кінцевих різниць.

В роботі [11] наведено результати дослідження рівняння пограничного шару для симетричних та осесиметричних течій в околі точки зупинки $u=0$, запропоновано способи побудови розв'язків рівнянь пограничного шару до точки відриву, вказано випадки безвідривної течії, доведено, що розв'язок системи рівнянь пограничного шару може бути продовжено за точку відриву, але при цьому втрачається фізичний зміст. В цій же роботі вивчено вплив вдуву та відбору через границю тіла, що обтікається, на положення точки відриву. Точні аналітичні результати досліджень окремого випадку течії з відбором через поверхню наведено в роботі [12], проте вони носять в більшій мірі теоретичний характер.

У запропонованій роботі розглядаються підходи до використання параметрів стійкості процесів для вирішення конкретної технічної задачі оцінки технічного стану трубопровідних систем з урахуванням того, що при реалізації вказаних моделей використовуються

чисельні методи, при цьому виникають питання про можливість чисельного виявлення критичних параметрів, при яких деякий фізичний процес втрачає стійкість, якщо характеристики цього процесу не є відомими і самі є розв'язком деякої крайової задачі та питання про розділення причин втрати стійкості при чисельному моделюванні, якими можуть бути або некоректність дискретизованої задачі, зокрема, нестійкість різницевої схеми, або ж певні явища, що відбуваються в досліджуваному фізичному тілі. Таким чином, фактично будь-яка задача технічної діагностики систем, що зазнала малих збурень, з математичної точки зору може розглядатись як задача дослідження різних аспектів стійкості відповідних математичних моделей, причому по кожному із вказаних чотирьох аспектів. Задача оцінки напружено-деформованого стану трубопровідних систем при зміні їх просторової конфігурації розглянуто в роботі [4], встановлено умови, при яких тіло залишається в рамках пружних деформацій – фактично розглянуто аспекти стійкості, які можуть бути охарактеризовані пунктами 1 – 3.

В наведеній роботі розглядаються підходи до оцінки стійкості течії за наявності малих витоків та використання результатів дослідження стійкості течії для виявлення координат зони витоку при чисельному моделюванні процесів – пункти 1 та 4. При цьому необхідно дослідити – чи є вказані ефекти результатом втрати стійкості різницевою схемою, чи необхідно змінити модель процесу через перехід течії в турбулентний режим.

Таким чином, метою дослідження є математичне моделювання течії технологічної рідини в трубопроводі за наявності витоків через поверхню при різних їх конфігураціях, для чого чисельно інтегрується система рівнянь Нав'є – Стокса, досліджуються параметри стійкості чисельних схем, вибираються інформативні параметри для визначення зон впливу витоку та встановлюються межі використання моделі до переходу течії в турбулентний режим.

3. Математична модель процесу

Розглядається двовимірна течія в'язкої рідини в каналі зі стінкою, в якій присутній витік рідини через поверхню, течія вважається стаціонарною (рис. 1).

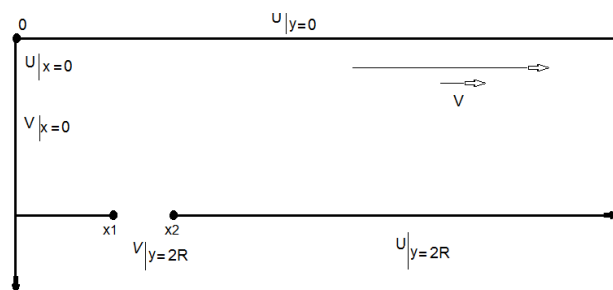


Рис. 1. Схема течії у двовимірному каналі з витоками

Система рівнянь Нав'є-Стокса в такому випадку записується у двовимірній області наступним чином:

$$\begin{cases} U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \\ U \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right), \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де U і V – компоненти вектора швидкості в прямокутній декартовій системі координат, ρ – густина продуктів, що транспортуються, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, p – тиск рідин. Граничні умови задаються у вигляді:

$$\begin{cases} U|_{x=0} = -\frac{k \cdot y^2}{4 \cdot \mu} + \frac{k \cdot R_y}{2 \cdot \mu} \\ U|_{y=0} = U|_{y=2R} = 0 \\ V|_{x=0} = V|_{y=0} = 0 \\ V|_{y=2R} = \begin{cases} 0 & x < x_1, x < x_2 \\ V_{\text{leak}} & x \in [x_1; x_2] \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

де $[x_1; x_2]$ – зона витоків, μ – динамічна в'язкість продуктів, що транспортуються, R – радіус каналу. Для компоненти швидкості $U|_{x=0}$ вважається, що вона обчислюється як у відомій моделі Пуазейля [8]. V_{leak} – швидкість витоків рідини через область. Граничні умови (2) можуть іншими в залежності від того, як розташовані зони витоків рідини – якщо вони розташовані на різних границях каналу, то для компоненти швидкості V ненульовими будуть значення швидкості на певних відрізках як при $y=0$, так і при $y=2R$. Методика розв'язання вказаної задачі є відомою [8, 9], особливістю при її розв'язанні є наявність розривних граничних умов (2) та відсутність коректних граничних умов для тиску. Диференціюючи перше з рівнянь системи (1) по змінній x , а друге – по змінній y , та приймаючи до уваги третє рівняння системи (1), одержується рівняння Пуасона для визначення тиску:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = -2 \cdot \rho \left(\frac{\partial V}{\partial x} \cdot \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial U}{\partial x} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right). \quad (3)$$

Подальша схема розв'язку є наступною:

1. Задається деяке початкове наближення тиску $p_0(x, y)$;
2. За даним розподілом $p_0(x, y)$ розв'язується система (1) з граничними умовами (2);
3. Після знаходження компонент швидкості U і V обчислюються праві частини рівняння (3);
4. Рівняння (3) розв'язується з граничними умовами:

$$p|_{\partial G} = p_0(x, y) \quad (4)$$

5. Після одержання нового розподілу тиску вказаний алгоритм повертається в пункт 1.

Вказана процедура повторюється до досягнення збіжності ітераційного процесу. Система (1) з граничними умовами (2) розв'язується з використанням абсолютно збіжних неявних схем методу змінних напрям-

ків, а рівняння (3) – методом послідовної верхньої релаксації. Збіжність та стійкість вказаного ітераційного методу доведено в роботі [10].

Початкове наближення розподілу тиску вибиралось в допущенні про те, що існує лінійний перепад тиску по довжині каналу, яким моделюється труба з витокком:

$$p = p_0 - k \cdot x. \quad (5)$$

Використання залежності (5) для розрахунку поля швидкостей дозволяє встановити залежності між інтенсивністю витоків та зміною конфігурації течії.

Моделювання течії в трубопроводі з дефектами, через які відбувається відтік рідини, проводиться для наступних параметрів течії, геометрії труби, властивостей рідин та газів, лінійного перепаду тиску по довжині труби:

1. Середня швидкість рідини в трубопроводі – 2 – 8 м/с;
2. Характерна швидкість малого витоків – до 50 см/с;
3. Динамічна в'язкість рідини (вода) – 0.001 кг/см;
4. Кінематична в'язкість – 0.000001 м. кв./сек;
5. Характеристика перепаду тиску $K = 0.064 - 0.096$;
6. Крок по повздовжній координаті – 0.08 м;
7. Крок по повздовжній координаті – 0.025 м, що відповідає трубопроводу діаметром 1.25 м при 50 контрольних точках по поперечній координаті;
8. Кількість кроків по повздовжній координаті – 90000, що дозволяє провести розрахунок поля швидкостей для труби довжиною труби довжиною 7,2 км з кроком 8 см.

4. Аналіз чисельних результатів

За результатами проведених розрахунків можна зробити наступний висновок: швидкість витоків суттєво впливає на конфігурацію течії.

Аналізуючи поведінку поздовжньої компоненти швидкості в пристіночній зоні, можна відмітити закономірність, яка залежить від швидкості витоків: чим більша швидкість витоків, тим скоріше відбувається порушення монотонності поля швидкостей на стороні витоків (рис. 2). Крім того, виявлено наступну закономірність: порушення монотонності, яке може бути визначене як різниця швидкості у двох точках сітки, що знаходяться найближче до стінки:

$$\Delta V_m = V(N) - V(N+1), \quad (6)$$

де $N+1$ – кількість точок розрахункової сітки по поперечній координаті, відбувається за наступною закономірністю – спочатку відбувається перше порушення монотонності, потім монотонність відновлюється і наступна її втрата веде втрати стійкості обчислювальним процесом, що схематично зображено на рис. 2.

Точки L_3 і L_1 можуть слугувати реакцією течії на мале збурення, вони відповідають мінімальній відстані, на якій дія збурення вже відчутна, а точки

L_4 і L_2 – точки втрат стійкості різницевої схеми. В такому випадку точки L_3 і L_1 можуть слугувати діагностичною ознакою, а L_4 і L_2 – ні, причому зміст процесів, що відбуваються після цих точок, може бути наступним – або втрачається стійкість обчислювальної процедури, або ж змінюється фізична картина течії – з ламінарного вона переходить в турбулентний режим, і для подальшого опису течії необхідно використовувати інші моделі. З технічної точки зору така поведінка знаходить пояснення у факті того, що при сповільненні рідини по довжині труби необхідно підкачувати її для забезпечення певного тиску, швидкості течії та відповідно заданих об'ємів постачання. Який саме зміст необхідно виявити пріоритетним в кожному конкретному випадку завідомо невідомо, необхідні подальші дослідження вказаних течій. Важливим результатом, який наводиться на рис. 2 та 3, є те, що при певних значеннях швидкості витoku – на рис. 2 це значення складає $V=0.05$ – втрати монотонності швидкості взагалі не відбувається, тобто течія залишається стійкою до такого збурення швидкості.

Чим більша швидкість витoku, тим швидше потік реагує на неї зміною монотонності швидкості в пристіночній зоні (рис. 3). При певних швидкостях витoku ($V < 0.5$) втрати стійкості течією взагалі не відбувається, при значеннях швидкостей, більших за вказані, координата втрати стійкості течією наближається до місця розташування дефекту тим швидше, чим більшою є швидкість витoku рідини.

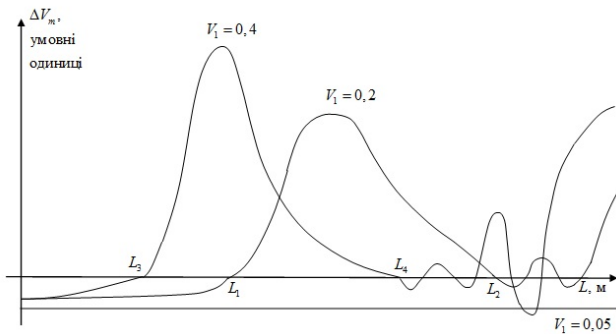


Рис. 2. Залежність між ΔV_m та відстанню від дефекту при різних модальних значеннях швидкості витoku, поданої в умовних одиницях

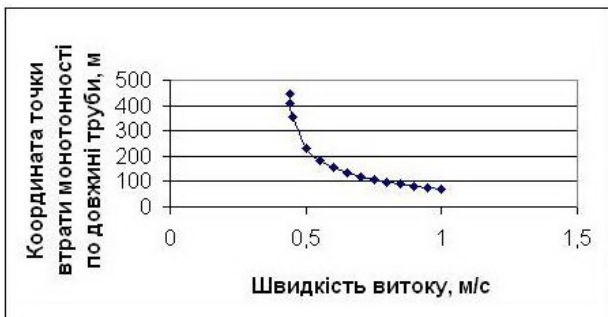


Рис. 3. Залежність між швидкістю витoku та точкою втрати монотонності для різних швидкостей витoku

Проведено дослідження залежності параметра (6) від швидкості витoku рідини через поверхню труби (рис. 4). При різних значеннях швидкості малого збурення течії величина зони впливу прямо пропорційна цій швидкості.

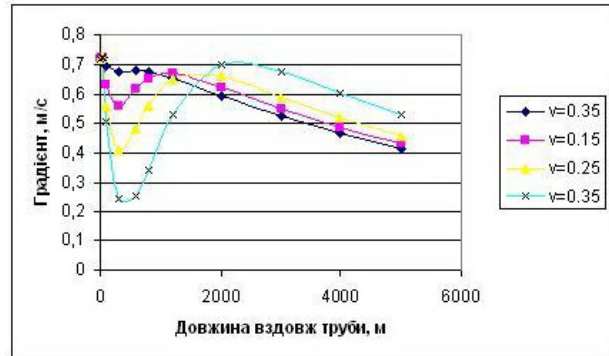


Рис. 4. Залежність між величиною зони впливу малих збурень та координатою вздовж труби при малих значеннях швидкості витoku

Проведеними розрахунками підтверджено, що при вказаних на рис. 4 значеннях швидкостей витoku течія зберігає стійкість – тобто, має місце як стійкість гідродинамічного процесу, так і стійкість чисельної схеми. Проте при зростанні швидкості витoku картина розподілу градієнта повздовжньої компоненти швидкості в пристіночній зоні при різних швидкостях витoku набуває іншого характеру (рис. 5) – стійкість течії втрачається, що може бути пояснено втратою стійкості течії внаслідок виникнення турбулентних ефектів течії та можливою втратою стійкості різницевого методу.

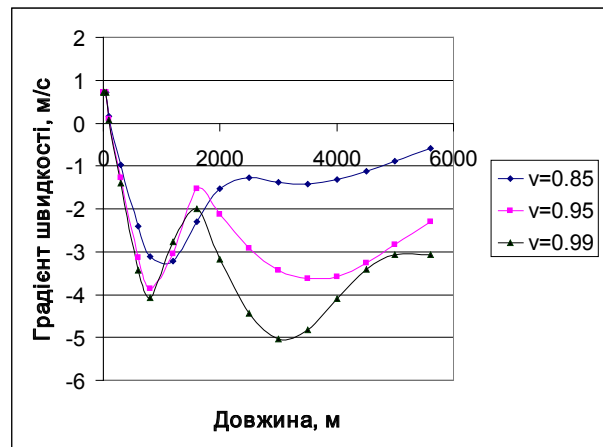


Рис. 5. Залежність між величиною зони впливу малих збурень та координатою вздовж труби при критичних значеннях швидкості витoku

Перехідним етапом між ситуаціями, зображеними на рис. 4 та рис. 5, може бути картина розподілу градієнта повздовжньої компоненти швидкості в пристіночній зоні при різних швидкостях витoku, що зображена на рис. 6.

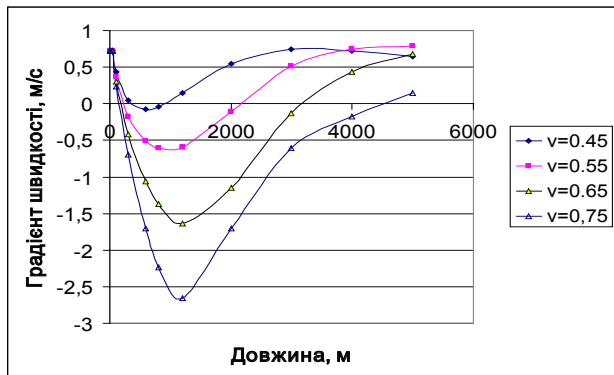


Рис. 6. Залежність між величиною зони впливу малих збурень та координатою вздовж труби при середніх значеннях швидкості витоків

Наведена картина розподілу градієнта повздовжньої компоненти швидкості в пристіночній зоні показує, що величина зони впливу малих збурень не може бути виявлена настільки точно, як у випадку, зображеному на рис. 4 – це може бути пояснено втратою стійкості гідродинамічного процесу, оскільки, на відміну від ситуації, зображеної на рис. 5 стійкість чисельної схеми не порушується, лінії зберігають монотонність.

На рис. 7 показано, що розроблена модель та чисельна схема її реалізації може бути використана при діагностуванні малих витоків, які розташовані на певній відстані один від одного.

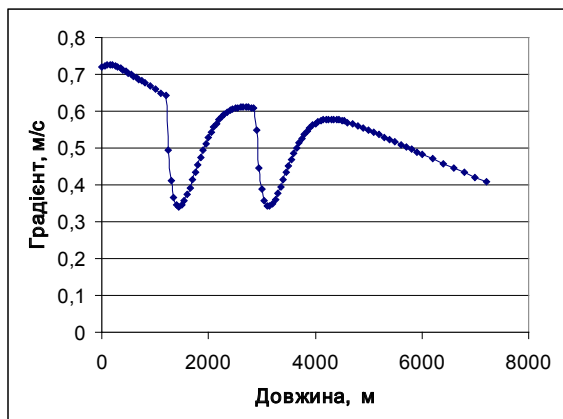


Рис. 7. Залежність між величиною зони впливу малих збурень при наявності кількох витоків різної інтенсивності – координати витоків $x=1,2$ км та $x=2,88$ км при швидкості 0,2 м/с

Стійкість схеми при цьому не порушується, хоча питання виявлення кількох витоків вимагає більш детального вивчення.

5. Висновки

При реалізації моделі (1)–(4) виконано всі необхідні математичні формальності [8, 9]: постановка задачі та доведення її коректності; дискретизація задачі та дослідження стійкості відповідних різницевих схем; вибір чисельного метода розв'язання;

програмування у відповідному середовищі та аналіз одержаних чисельних результатів шляхом порівняння їх з іншими експериментальними та теоретичними результатами. Разом з тим, як відмічено в [7], основною вимогою, яка висувається на практиці до розв'язків задач механіки, є їх стійкість до тих чи інших збурень – в даному випадку це наявність малих витоків – точок порушення суцільності стінок та перехід течією точки, в якій $u=0$. Для аналізу стійкості важливо знати осереднені характеристики, безрозмірні параметри та числа, з досягненням якими своїх критичних значень пов'язаний перехід системи в якісно інший стан, при якому втрачають зміст основні рівняння моделі (наприклад, втрачають зміст рівняння Нав'є-Стокса). При реалізації розробленої моделі виникають наступні типові запитання: чи можливим є виявлення критичних параметрів, при яких досліджуваний фізичний процес втрачає стійкість за умови того, що характеристики цього процесу невідомі і самі визначаються шляхом розв'язання деякої крайової задачі. Необхідно також визначити, що означає втрата стійкості при чисельному моделюванні – некоректність дискретизованої задачі чи певний ефект, що відбувається в досліджуваному фізичному тілі (відрив пограничного шару, гідроудар, виникнення турбулентних ефектів).

За результатами чисельного моделювання течії рідини по каналу з витоками її через поверхню встановлено спосіб оцінки координати точки витоків та її залежність від швидкості витоків. Підтверджено, що задачі технічної діагностики систем різного призначення з математичної точки зору є задачами дослідження стійкості відповідних процесів та чисельних схем реалізації моделей таких процесів.

6. Визначення напрямків подальших досліджень

Питання, що виникають, можна трактувати ще й наступним чином – як розділити межі впливу фізико-механічних характеристик течії та параметрів розрахункової сітки. Відповідь на вказані питання вимагає подальших досліджень течії за наявності витоків через поверхню.

Напрямки подальших досліджень можуть бути пов'язаними з вивченням особливостей течії при різних геометричних конфігураціях зон витоків та з розробкою методик експериментальних досліджень полів швидкостей у трубопроводах з витоком з метою порівняння чисельних та експериментальних результатів.

Література

1. Олійник, А. П. Моделювання розподілу тиску в трубопроводі за наявності витоків з використанням формули Даламбера [Текст] / А. П. Олійник, Л. О. Штаер // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 2 (79). – С. 66–71.
2. Архипов, Б. В. Применение математических методов для анализа и оценки экологически значимых событий при крупномасштабной аварии подводного газопрово-

- да [Текст] / Б. В. Архипов и др.; отв. ред. А. П. Абрамов. – Москва: Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской акад. наук, 2007. – 74 с.
3. Едигаров, А. С. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода [Текст] / А. С. Едигаров, В. А. Сулейманов // Математическое моделирование. – 1995. – Т. 7, № 4. – С. 37–52.
 4. Олійник, А. П. Математичні моделі процесу квазістаціонарного деформування трубопроводних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації [Текст] / А. П. Олійник // Наукове видання. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 320 с.
 5. Larson, R. G. Instabilities in viscoelastic flows [Text] / R. G. Larson // Rheol. Acta. – 1992. – Vol. 31, № 3. – P. 213–263.
 6. Frigaard, I. A. On the stability of Poiseuille flow of a Bingham fluids [Text] / I. A. Frigaard, S. D. Howison, I. J. Sobey // J. Fluid Mechanics. – 1994. – Vol. 263. – P. 133–150.
 7. Георгиевский, Д. В. Устойчивость процессов деформирования вязкопластических тел [Текст] / Д. В. Георгиевский. – М.: УРСС, 1998. – 176 с.
 8. Шкадов, В. Я. Течения вязкой жидкости [Текст] / В. Я. Шкадов, З. Д. Запryanов. – М.: Из-во Моск. ун-та, 1984. – 200 с.
 9. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст] / Д. Андерсон, Дж. Таннехил, Р. Плетчер // М.: Мир. – 1990. – Т. 1. – 384 с.
 10. Олійник, А. П. Дослідження впливу параметрів релаксації на збіжність чисельного методу послідовної верхньої релаксації для задачі Діріхле [Текст] / А. П. Олійник, Л. О. Штаер // Карпатські математичні публікації. – 2012 – Т. 4, № 2. – С. 289–296.
 11. Олейник, О. А. Математические методы в теории пограничного слоя [Текст] / О. А. Олейник, В. Н. Самохин. – М.: Физматлит, 1997. – 512 с.
 12. Олійник, А. П. Моделирование течения вязкой жидкости при наличии оттока через границу области и перепада давления [Текст] / А. П. Олійник, Л. Е. Штаер // Вестник Московского Университета. Серия 1. Математика. Механика. – 2013. – № 3. – С. 61–65.

Проведено аналіз хронометражу руйнування негабаритів гідромолотом. У статті розглянуті фактори, що впливають на ефективність процесу механічного руйнування негабаритів, а також вплив розташування негабариту на продуктивність гідромолотів, визначені залежності продуктивності та питомої енергоємності від об'єму негабариту при його різному розташуванні

Ключові слова: дроблення, гідромолот, негабарити, продуктивність, енергоємність, бойок, зусилля, основа, відскік, заходка

Проведен анализ хронометража разрушения негабаритов гидромолотом. В статье рассмотрены факторы, влияющие на эффективность процесса механического разрушения негабаритов, а также влияние расположения негабарита на производительность гидромолотов, определены зависимости производительности и удельной энергоёмкости от объема негабарита при его различном расположении

Ключевые слова: дробление, гидромолот, негабарит, производительность, энергоёмкость, боек, усилия, основа, отскок, заходка

1. Вступ

Існує багато методів дроблення негабаритів. Деякі з підприємств застосовують вибухові способи, інші – механічні. Кожен із способів має низку переваг та недоліків, але головну роль відіграє продуктивність про-

УДК 622.35

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМОЛОТУ DAEWOO DOOSAN НА ЙОГО ПРОДУКТИВНІСТЬ

О. А. Зубченко

Старший викладач*

E-mail: kgtkvv2@rambler.ru

В. В. Коробійчук

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: kgtkvv2@rambler.ru

В. І. Шамрай

Аспірант*

E-mail: kgtkvv2@rambler.ru

*Кафедра розробки родовищ корисних копалин

ім. проф. Бакка М. Т.

Житомирський державний технологічний університет
ул. Черняхівського, 103, г. Житомир, Україна, 10005

цесу дроблення. Дослідження основних факторів, що впливають на продуктивність робочого обладнання та гірничотехнічних умов розробки корисних копалин дозволить збільшити продуктивність процесу руйнування. Останнім часом широкого поширення набув спосіб руйнування негабаритів за допомогою гідромо-