

УДК 681.121

І.В.Коробко., д.т.н.,

Національний технічний університет України "КПІ"

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ РІДИННОФАЗНИХ ПОТОКІВ НА ТОЧНІСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ

*Розглянуті питання визначення впливу асиметричності потоку рідини в технологічних мережах на точність її обліку із застосуванням перетворювачів витрати ультразвукового класу. Оцінювання впливу неоднорідності рідиннофазних потоків на точність приладів проведено з використанням чисельного моделювання на базі програмного комплексу ANSYS CFX. Отримані результати дають чітку картину місць локального розміщення приладів по протяжності технологічної мережі за умов максимальної точності і мінімальної дії на вимірюване середовище. Це дозволяє ефективно застосовувати перетворювачі без огляду на вимоги обов'язкового забезпечення прямих ділянок до і після приладів.*

**Ключові слова:** ультразвук, точність, перетворювачі, паливно-енергетичні ресурси.

*Рассмотрены вопросы определения влияния асимметричности потока жидкости в технологических сетях на точность ее учета с применением преобразователей расхода ультразвукового класса. Оценка влияния неоднородности жидкофазной потоков на точность приборов проведено с использованием численного моделирования на базе программного комплекса ANSYS CFX. Полученные результаты дают четкую картину мест локального размещения приборов по протяженности технологической сети в условиях максимальной точности и минимальной воздействия на измеряемую среду. Это позволяет эффективно применять преобразователи без учета требования обязательного обеспечения прямых участков до и после приборов.*

**Ключевые слова:** ультразвук, точность, преобразователи, топливно-энергетические ресурсы.

*Determining the problems of the liquid flow asymmetry effect at the technological networks on its accounting accuracy with using ultrasonic flow transducers. Estimation the impact of liquid-phase flow heterogeneity on the meters accuracy performed using numerical simulation based on the software ANSYS CFX. These results give a clear picture of the local places for meter installing through technological network in the conditions of maximum accuracy and minimum impact on the measuring medium. It allows effectively apply the transducers without the mandatory requirements to ensure straight pipe segments before and after meters.*

**Keywords:** ultrasound, accuracy, converters, fuel and energy resources.

### Вступ. Постановка проблеми

Для організації дієвої системи енергозбереження необхідно реалізувати ефективну систему вимірювання і обліку витрати та кількості паливно-енергетичних ресурсів і води (ПЕР). Це визначає важливість задачі розроблення сучасних приладів і систем вимірювання витрати та кількості ПЕР з високими метрологічними і експлуатаційними характеристиками. Нині широкого застосування в галузі вимірювання витрати ПЕР набули ультразвукові перетворювачі витрати

### Постановка задачі

На метрологічні характеристики ультразвукових приладів має значний вплив гідродинамічна картина потоку на вході вимірювальної камери. Виходячи з цього, при дослідженні вимірювальних перетворювачів витрати рідини (ВПВР) необхідно розглядати різні гідромеханічні явища, якими супроводжуються як основні, так додаткові течії. До них відносяться дисипація механічної енергії потоками вимірюваного середовища, виникнення коливаний потоків і витрати із-за стиснення рідини, дія з боку потоків вимірюваних середовищ на елементи конструкції приладу.

Одним з основних джерел неоднорідностей потоку рідиннофазного середовища є місцеві гідравлічні опори різної просторової конфігурації. Виходячи з цього, важливим є оцінка ступеню впливу неоднорідності потоку на вході вимірювальної камери перетворювача з метою визначення місця з мінімальними спотвореннями течії і які можна рекомендувати до монтажу приладу на технологічній мережі.

Традиційним шляхом розв'язання поставлених задач є емпіричний метод з проведенням великої кількості експериментальних досліджень приладів. Проведення експериментальних випробувань пов'язано з великими матеріальними та часовими затратами

Ефективне розв'язання таких задач можливе за рахунок створення комп'ютерних систем проектування приладів з оптимальними конструктивними параметрами за визначеними критеріями,

які б розв'язували проблеми побудови високоефективних вимірювальних комплексів з високими метрологічними та експлуатаційними показниками.

**Визначення впливу неоднорідності потоків на точність перетворювачів витрати**

Оцінювання впливу неоднорідності рідиннофазних потоків на точність ультразвукових перетворювачів витрати, враховуючи складність та трудомісткість процесів натурних досліджень, проведено з використанням чисельного моделювання на базі програмного комплексу *ANSYS CFX*, що реалізує метод кінцевих елементів і дозволяє, з високою ймовірністю, визначити проекції векторів швидкостей в дискретних точках потоку, як за поперечним перерізом, так і по його протяжності [1, 2].

Дослідження здійснювалася на прикладі однохордового УЗ приладу з класичним розміщенням хорди в діаметральній площині під кутом  $\pi/6$  до вісі потоку та умовним діаметром  $32 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , з використанням спрощеної геометричної моделі (рис. 1). Для вказаної моделі проведено моделювання взаємодії потоку рідини з ЧЕ конструкції і визначення похибок вимірювання в залежності від кута її просторової орієнтації та відстані від місцевого опору.

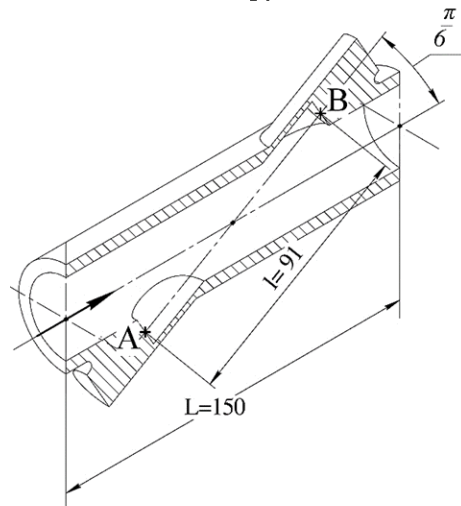


Рис. 1. Спрощена геометрична модель ультразвукового витратоміра

Ультразвукові вимірювальні перетворювачі витрати рідини (УЗ ВПВР) побудовані на вимірюванні швидкості осередненої по напрямку УЗ променя  $v_l$ .

В той же час для отримання значення об'ємної витрати рідини необхідно знати середню по поперечному перерізу швидкість потоку вимірюваного середовища  $\bar{v}$

$$Q = \bar{v}S, \tag{1}$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу вимірювального каналу.

Для врахування співвідношення між усередненою за УЗ променем швидкістю потоку  $v_l$ , яку вимірює перетворювач, та середньою по поперечному перерізу швидкістю потоку вимірюваного середовища  $\bar{v}$ , вводять коефіцієнт  $k_{y3}$  [3]

$$\bar{v} = k_{y3} v_l. \tag{2}$$

Аналіз виразів (1) та (2) показує, що значення вимірюваної витрати пропорційне усередненій за УЗ променем швидкості потоку  $v_l$ , площі поперечного перерізу вимірювальної камери  $S$  та гідродинамічному коефіцієнту  $k_{y3}$ , що визначає співвідношення між усередненою за УЗ променем швидкістю потоку  $v_l$ , яку вимірює прилад, та середньою по поперечному перерізу швидкістю потоку  $\bar{v}$ . Враховуючи сталість значення поперечного перерізу  $S$ , оцінку точності УЗ перетворювача можна проводити шляхом знаходження похибок визначення гідродинамічного коефіцієнта відносно його значення для модельного осесиметричного профілю *Грего*, що описує розвинутий турбулентний потік у трубопроводі з круглим поперечним перерізом [ 4.].

$$\frac{v}{\bar{v}} = 1,1523 + 0,09211 \cdot \ln\left(1 - \frac{r}{R}\right) + 0,1858\Phi\left(\frac{r}{R}\right), \tag{3}$$

де  $\Phi\left(\frac{r}{R}\right) = -0,5530347\left(\frac{r}{R}\right)^4 + 1,6066064\left(\frac{r}{R}\right)^3 - 1,8782031\left(\frac{r}{R}\right)^2 + 0,6044168\left(\frac{r}{R}\right) + 0,0026893$ ,

радіус трубопроводу;  $r$  - відстань від центра трубопроводу до місця визначення локальної швидкості.

Параметричний розподіл швидкостей такого профілю *Грего* було визначено для об'ємної номінальної витрати  $4,1666 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  ( $15 \text{ м}^3/\text{год}$ ), що відповідає нормальній швидкості протікання вимірюваного середовища  $W_{\max} = 5,053693 \text{ м/с}$  (рис.2).

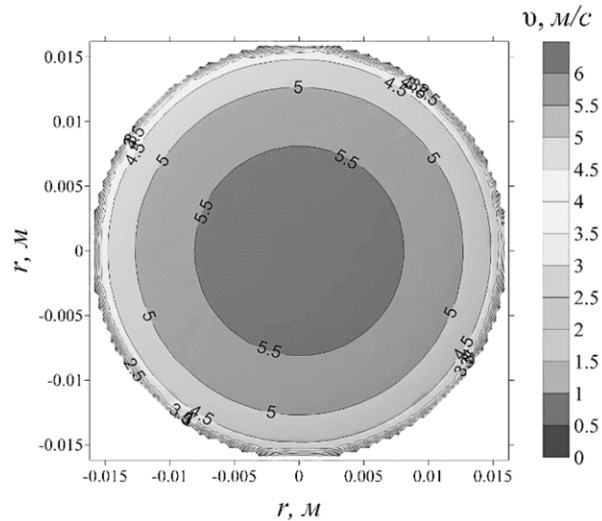


Рис.2. Ізотахи швидкостей для профілю *Грего*

При оцінці впливу неоднорідності потоку на метрологічні характеристики перетворювачів на вхідному перерізі модельної геометрії локального гідравлічного опору було відтворено епюру швидкостей, яка відповідає розподілу, що утворюється при проходженні потоком відповідного опору на певній відстані від початкового перерізу. При проведенні досліджень вибір контрольних перерізів на вимірювальній ділянці у напрямку плинину рідини здійснювався за результатами енергетичної оцінки профілю потоку  $\sigma_x^2$ , виходячи з його характерних неоднорідностей [5]

Оцінка впливу на точність УЗ перетворювачів асиметричності потоку, викликаній коліном з поворотом на кут  $\pi/2$  рад.

При проведенні комп'ютерного моделювання в програмному середовищі *ANSYS FLUENT* отримано, у визначених перерізах (рис. 3) епюри розподілу швидкості. За отриманими результатами побудовані лінії рівних значень швидкості (ізотахи) в площині та 3-D зображеннях.

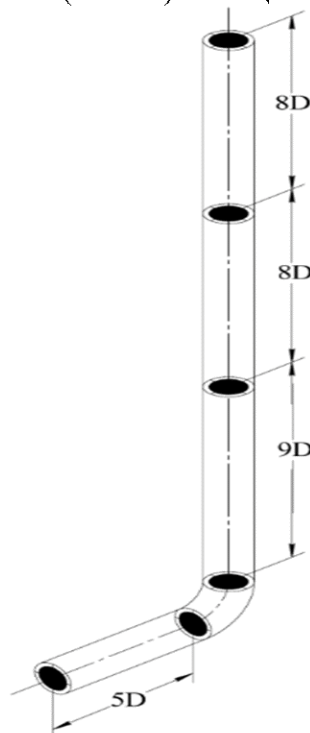


Рис. 3. Коліно з поворотом на кут  $\pi/2$  рад

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Опираючись на результати оцінок ступеню неоднорідності потоків, для досліджень було обрано перетини №1, 7, 9 та 21, на вхід яких подавалися відповідні для цих перерізів, епюри профілів швидкостей (рис. 4 – 7).

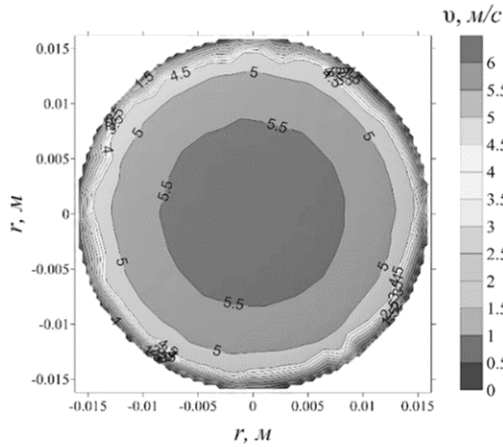


Рис.4. Ізотахи швидкостей для перерізу на відстані  $1 d_y$  від входу

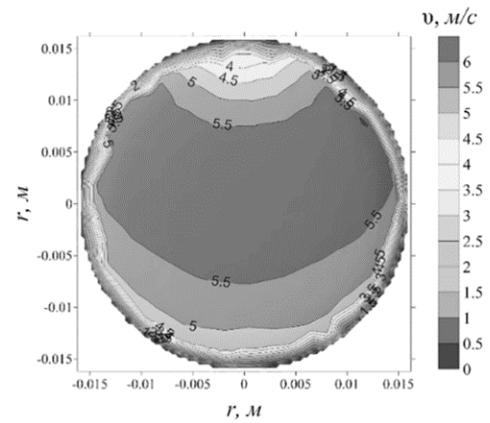


Рис.5. Ізотахи швидкостей для перерізу на відстані  $7 d_y$  від входу

Аналіз ізотак швидкостей (рис.4 - 7) показує, що в перерізах 7, 9 та 21 ( $1 d_y$ ,  $3 d_y$  та  $15 d_y$  від місцевого опору, відповідно) означена асиметричність потоку, в наслідок чого на результати визначення усередненої за УЗ променем швидкості потоку впливає орієнтація вимірювальної хорди відносно вісі перетворювача, яка ортогональна напрямку руху рідини.

Оцінювання якісних і кількісних особливостей процесу такого впливу проведено чисельним моделюванням для кожного з вказаних перерізів (рис.8 – 9) для перерізу на відстані  $7 d_y$  від входу ( $1 d_y$  від місцевого опору), за чотирьох випадків розміщення площини вимірювальної хорди, відносно вертикальної вісі перетворювача, при відліку кута повороту за годинниковою стрілкою з дискретністю  $\pi / 4$  рад.

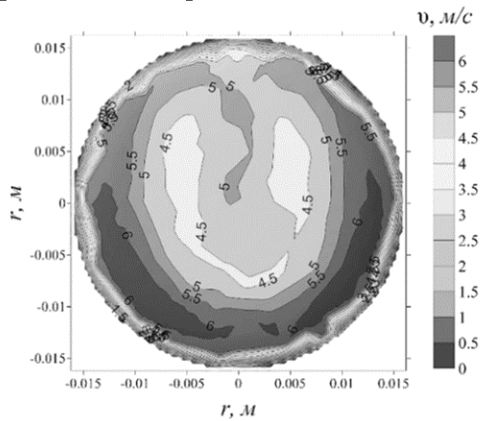


Рис.6. Ізотахи швидкостей для перерізу на відстані  $9 d_y$  від входу

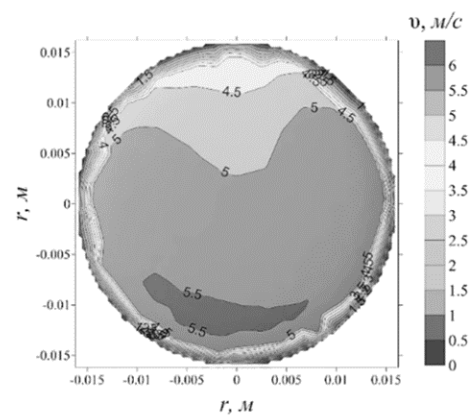
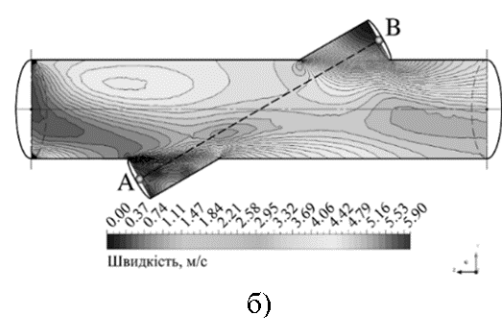
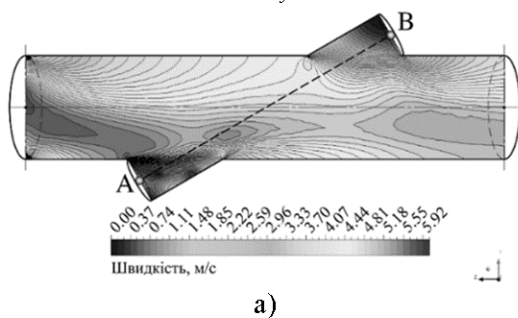


Рис.7. Ізотахи швидкостей для перерізу на відстані  $21 d_y$  від входу



## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

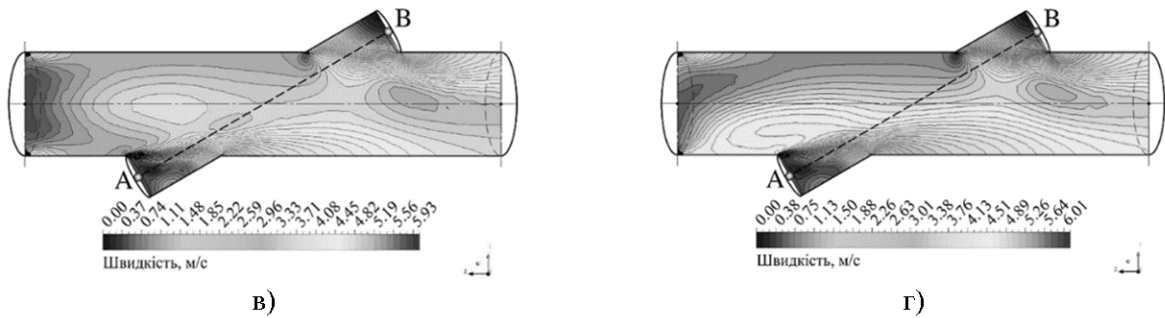


Рис. 8. Візуалізовані картини течії рідини у вимірювальній камері (для перерізу на відстані  $1 d_y$  від місцевого опору), за різних кутів орієнтації вимірювальної хорди: а)  $\theta=0$ ; б)  $\theta=\pi/4$ ; в)  $\theta=\pi/2$ ; г)  $\theta=3\pi/4$

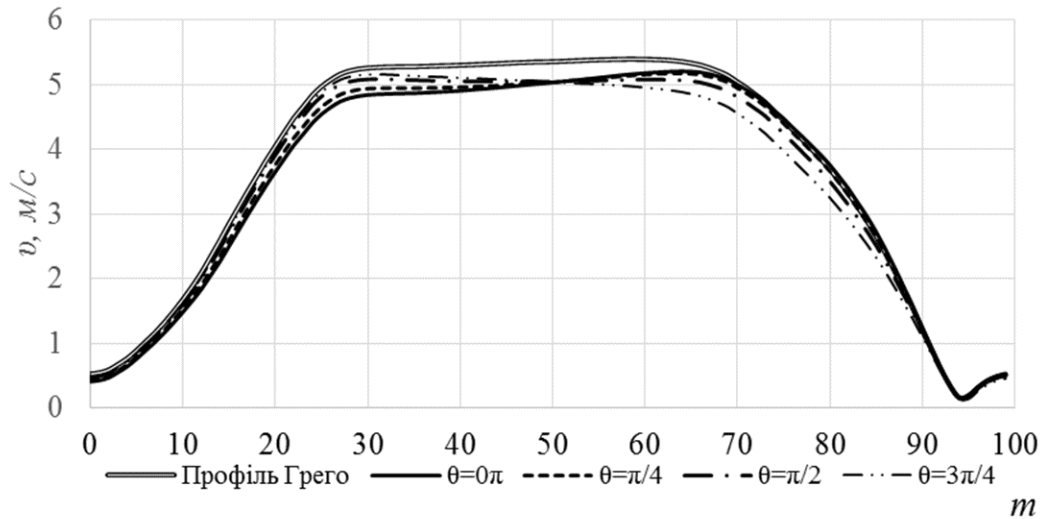


Рис. 9. Профілі швидкостей за різних кутів орієнтації вимірювальної хорди та профілю *Грего* для перерізу на відстані  $1 d_y$  від місцевого опору

Аналіз графічних залежностей похибок вимірювання УЗ ВПВ за різної орієнтації вимірювальної хорди (рис.10) показує, що в перерізах наближених до місцевого гідравлічного опору найбільшу похибку мають перетворювачі при орієнтації вимірювальної хорди на кут  $3\pi/4$  рад. При інших орієнтаціях перетворювача в просторі похибки вимірювання на початкових перерізах близькі за характером та величиною.

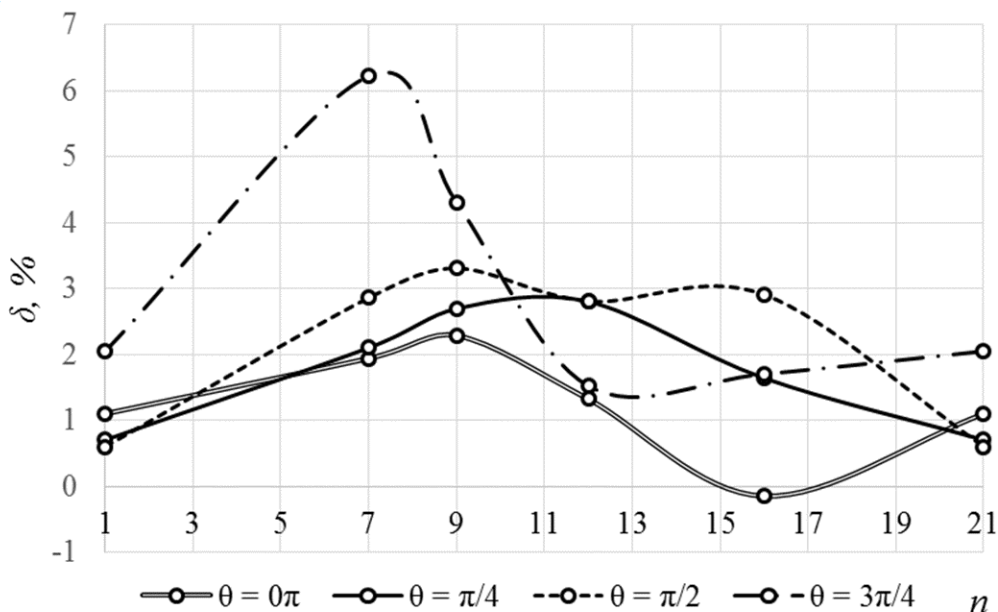


Рис.10. Похибки УЗ ВПВ в залежності від місця встановлення відносно місцевого опору у вигляді коліна з поворотом на кут  $\pi/2$  рад та орієнтації перетворювача в просторі

Найменшу похибку мають перетворювачі при орієнтації вимірювальної хорди під кутом  $0 \text{ рад}$ , яка в межах 15-17 перерізів досягає мінімуму зі значеннями близькими до 0. В діапазоні 20-21 перерізів похибки приладу за різних орієнтацій вимірювальної хорди співпадають і наближаються до  $(0,5 - 0,6)\%$ , за виключенням орієнтації напряму посилення УЗ сигналів  $\theta = 3\pi / 4 \text{ рад}$ .

### Висновки

Для ультразвукового перетворювача однопроменевої конфігурації результат вимірювання хордової швидкості, що визначає витрату, залежить від величини викривлення осьової симетрії профілю і зменшується з віддаленням контрольного перетину від місцевого опору. Величина похибки залежить від просторової орієнтації приладу відносно вертикальної вісі на технологічній мережі. Отримані результати дають чітку картину місць локального розміщення приладів на технологічній мережі за умов максимальної точності і мінімальної дії на вимірюване середовище. Це дозволяє можливість ефективно застосовувати перетворювачі без огляду на вимоги обов'язкового забезпечення прямих ділянок до і після приладів.

### Інформаційні джерела

1. Коробко, І. В. Оцінювання витратомірів та лічильників в системах газопостачання [Текст] / І. В. Коробко // Вимірювання витрати та кількості газу: матеріали VII Всеукр. наук.-техніч. конф., Івано-Франківськ, 25 – 27 жовтня 2011 р. – С. 67 – 68.
2. Gryshanova, I. CFD modeling of turbine flow meters [Text] / I. Gryshanova, I. Korobko // Innovations on discrete productions. – 2014. - №1. – Р.6 – 8.].
3. Биргер, Г. И. Ультразвуковые расходомеры [Текст] / Г. И. Биргер, Н. И. Бражников – М.: Металлургия, 1964. – 343 с.
4. Рычагов, М. Н. Ультразвуковые измерения потоков в многоплоскостных измерительных модулях [Текст] / М. Н. Рычагов // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44. – С. 792– 799
5. Коробко І.В. Визначення ступеня неоднорідності потоку рідини в технологічних мережах [Текст]/І.В.Коробко/Вісн.НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування.- 2014. – Вип.48.- С.91-99.

УДК 621.92.01

<sup>1</sup>V.P. Larshin, Doctor of Science, <sup>1</sup>N.V. Lishchenko, PhD, <sup>2</sup>R.R. Basharov, PhD.

<sup>1</sup>Odessa national polytechnic university

<sup>2</sup>Ufa State Aviation Technical University

### A VIBRATION SENSOR AND A CUTTING SYSTEM MATHEMATICAL DESCRIPTION

*From a unified point of Engineering Physics an attempt was made to give a mathematical description of a vibration sensor - accelerometer and an elastic cutting system in which the sensor is the source of the information signal.*

**Keywords:** *engineering physics, vibration sensor, an information signal.*

*Предпринята попытка с единых позиций инженерной физики дать математическое описание вибрационного датчика – акселерометра и упругой технологической системы резания, в которой этот датчик является источником информационного сигнала.*

**Ключевые слова:** *инженерная физика, вибрационный датчик, информационный сигнал.*

*Зроблена спроба з єдиних позицій інженерної фізики дати математичний опис вібраційного датчика - акселерометра і пружної технологічної системи різання, в якій цей датчик є джерелом інформаційного сигналу.*

**Ключові слова:** *інженерна фізика, вібраційний датчик, інформаційний сигнал.*

**Statement of the problem.** To ensure reliable operation of advanced high-speed CNC machine a control system should provide not only precision programmable tool displacement relative to a workpiece but also diagnosis of the cutting technological system. The weakest link in the system is the cutting tool (CT) life which should be sufficient for reliable operation of the CNC machine for the desired cutting time.

The industrial cutting systems vibration problem is generally known, starting with the F.W. Taylor's works. Domestic researchers in this field, for example, A.I. Kashyryin, V.I. Dikushin, V.A. Kudinov and many others are also known. All of them paid much attention in their works to the physical principles of