

Колесникова Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра медиасистем и технологий, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: tkolesnikova.rabota@gmail.com, tvicg@kture.kharkov.ua.

Животкова Елена Александрівна, кафедра медиасистем та технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Колесникова Тетяна Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра медиасистем та технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Zhivotkova Elena, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: info@kture.kharkov.ua.

Kolesnikova Tat'yana, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: tkolesnikova.rabota@gmail.com, tvicg@kture.kharkov.ua

УДК 532.556

**Носко С. В.,
Шевчук А. А.**

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ

Исследуются кинематические характеристики потока при различных условиях входа в данный участок. Установлены факторы, которые приводят к дополнительным потерям энергии, обусловленные проявлением сил инерции в потоке во время развития профиля скоростей. Проведен анализ перераспределения кинетической энергии в потоке. Установлена функциональная зависимость коэффициента Кориолиса от гидродинамических условий входа в начальный участок.

Ключевые слова: гидродинамические условия входа, перераспределение кинетической энергии, длина начального участка.

1. Введение

Большинство промышленных аппаратов химической технологии, предназначенных для переработки полимеров в изделия, имеют участки с резким изменением величины и направления скорости потока [1, 2]. При значительной скорости течения в формирующих каналах оборудования немаловажную роль имеет такой фактор, как гидравлические потери, определяющие мощность гидропривода и его инерционность при автоматическом регулировании.

Разнообразие конструктивных вариантов рабочих каналов оборудования, а также наличие вспомогательных агрегатов и устройств (фильтры, преобразователи давления, системы нагрева, гомогенизаторы и др.) приводит к дестабилизации потока и, как следствие, дополнительным потерям энергии.

В связи с этим, исследование неустойчивого течения в рабочих каналах технологического оборудования, направленные на их конструктивное совершенствование, обеспечивающие энергетические, экономические и технологические показатели являются актуальной задачей.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Неустойчивое течение вязких и аномально-вязких сред на гидродинамическом начальном участке и влияние входной неравномерности потока на гидравлическое сопротивление исследовалось во многих теоретических и экспериментальных работах.

Авторы [3] рассматривали вопрос качественной и количественной оценки влияния входной неравномерности потока на гидравлическое сопротивление. В работе приведено численное решение уравнения Навье-Стокса

для несжимаемой жидкости в двумерной и трехмерной постановках, при равномерном и треугольном профилях скорости на входе.

Однако методика расчетов в такой постановке требует значительных вычислительных затрат и это вынуждает разработчиков принимать упрощающие допущения (например, пренебрегать дестабилизирующим действием местного сопротивления, которое распространяется вверх по течению) [4].

Решение задачи связанное с нестационарным движением жидкости в цилиндрических трубах представлено в работе [5]. Автором предложен асимптотический метод исследования диссипативной модели неустановившегося движения потока жидкости.

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования кинематических характеристик неустойчивого течения в области местного сопротивления позволяют оценить влияние изменения гидродинамических условий входа в начальный участок и перераспределение давления по его длине [6].

Течение вязких и аномально-вязких сред на гидродинамическом начальном участке исследовалось во многих теоретических и экспериментальных работах. В работе [7] исследовалось неустановившееся течение неньютоновских сред, характеризующееся развитием пластических и эластических деформаций. Показано, что определенное влияние на развитие течения в начальном участке цилиндрического канала оказывают гидродинамические условия входа. Из литературного источника [8] видно, что равномерный профиль скорости в трубе постоянного сечения можно получить только при входе в нее потока через коллектор очень плавной конфигурации, что не представляется возможным из-за ограниченных габаритных размеров промышленных установок.

Авторы [9, 10] исследовали развитие течения ньютоновских и неньютоновских жидкостей на гидродинамическом начальном участке, совместили решения для пограничного слоя с решением для возмущений полностью развитого профиля скорости Пуазейля, которое строится на участке гидродинамической стабилизации потока.

Теоретический анализ течения ньютоновских жидкостей с вязкостью, зависящей от температуры проведен в работе [11]. В данной постановке аналитическое исследование системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс течения технологических сред с теплообменом существенно затрудняется, в связи с нелинейностью данных уравнений и математические расчеты проведены только для некоторых частных случаев, при упрощающих допущениях о параболической форме эпюры скоростей на входе в исследуемый канал.

В работе [12] определены потери давления до входа в насадки при течении упруговязкой среды в широких диапазонах вязкостей и получена обобщенная зависимость потерь давления на конкретном местном сопротивлении от скорости сдвига в безразмерном виде, однако не показано дестабилизирующее действие местного сопротивления на протяженность начального участка. В данных работах показано, что определенное влияние оказывает условия входа потока в гидродинамический начальный участок, а в случаи течения неньютоновских сред, длина участка стабилизации характеризуется одновременно развитием пластических и эластических деформаций.

Экспериментальные данные авторов [13], по определению длины начального участка L_H для неньютоновской жидкости, подчиняющейся степенному реологическому закону, индекс течения которой изменяется в пределах $0,585 \leq n \leq 1,0$ и обобщенного числа Рейнольдса в диапазоне $20 \leq Re' \leq 1942$, превышают теоретические результаты [14] на 252 %.

При возникновении несимметричного профиля скорости на входе в начальный участок на процесс развития течения оказывает влияние градиент скорости в радиальном направлении. В качестве примера подобного течения в табл. 1 показана зависимость длины участка гидродинамической стабилизации L_H от величины безразмерного градиента скорости на входе в канал $(\partial U/\partial y)/(\partial U/\partial x)$ и числа Бингама:

$$B_g = \frac{2\tau_0 H}{\eta_\delta U_{cp} (E=0)}, \quad (1)$$

где τ_0 — предел текучести; H — ширина канала; η_δ — бингамовская вязкость; U_{cp} — средняя скорость как результат теоретического анализа, приведенного в работе [15].

В работах [10] и [14] протяженность участков гидродинамической стабилизации L_H , отличается как по величине, так и по прогнозу законов развития подобного течения.

Наиболее полный энергетический анализ зоны нестационарного напорного течения реальной жидкости выполнен автором [15]. Данный анализ, с учетом дополнительных деформационных напряжений, вызванных силами инерции справедлив и для установившегося нестабилизированного течения на начальном участке. Для данного участка течения реальной жидкости справедливо энергетическое выражение, учитывающее

энергию, связанную с перестройкой профиля скорости и энергию диссипации:

$$E_p = E_n + E_g, \quad (2)$$

где E_p — энергия давления; E_n — энергия перестройки профиля скорости; E_g — энергия диссипации.

Таблица 1

Зависимость длины участка гидродинамической стабилизации L_H от реологических свойств среды и безразмерного градиента скорости на входе

	$B_g = 0$	$B_g = 1$	$B_g = 2$	$B_g = 3$	$\frac{\partial U/\partial y}{\partial U/\partial x}$
$\frac{L_H}{2Re H}$	0,138	0,143	0,145	0,149	0,0
	0,136	0,139	0,142	0,146	0,2
	0,131	0,134	0,138	0,140	0,4
	0,112	0,119	0,123	0,129	1,0

Из данного соотношения видно, что формирование профиля скорости на участке гидродинамической стабилизации связано с более значительными потерями энергии давления E_p , чем это наблюдается в зоне стабилизированного потока. Обобщенное уравнение применительно к стабилизированному течению реальной жидкости, (т. е. без учета членов, содержащих производные по времени) на начальном участке имеет вид [16]:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \alpha \cdot U_{cp}^2}{\partial x} + \frac{\partial P_n}{\partial x} = \frac{1}{\gamma Q} \int \tau_{ct} U_{cp} \frac{\partial}{\partial S} dS, \quad (3)$$

где x — продольная координата канала; α — коэффициент кинетической энергии; P_n — пьезометрический напор; γ — удельный вес жидкости; Q — расход жидкости; τ_{ct} — касательное напряжение на стенке канала; Π — периметр канала; S — площадь канала, а изменение кинетической и потенциальной энергии по длине потока характеризуется правой частью уравнения (3).

При течении неньютоновских жидкостей получение выражений для определения потерь давления на начальном участке связано с определением и оценкой констант, входящих в реологическое уравнение и требует дополнительных экспериментальных данных о реологических свойствах среды. В табл. 2 приведены некоторые зависимости для определения потерь давления в случае течения ньютоновских и неньютоновских жидкостей на гидродинамическом начальном участке.

Как видно, из представленных в табл. 2 выражений, потери давления на начальном участке канала значительно превышают аналогичные величины для участка полностью развитого стабилизированного течения.

Таким образом, литературные данные показывают, что многие авторы при аналитическом анализе принимают коэффициент кинетической энергии $\alpha = 1$, считая распределение скоростей по течению на входе равномерным, что не соответствует действительности и приводит к ошибкам в расчетах. Что касается экспериментальных исследований, то в опытах обычно не учитывается энергия, связанная с перестройкой профиля скорости на участке гидродинамической стабилизации.

Таблица 2

Зависимости для определения потерь давления на начальном участке

Автор	Определение потерь давления
Коллинз [4]	$\Delta P = 0,5\rho U_{cp}^2 \frac{2^{n+1} \left(\frac{1+3n}{n}\right)^n L_H}{Re} + 2 \left[\left(\frac{1+3n}{2n+1}\right) - 1 \right] -$ $\frac{2^{n+1} \left[\int_0^{L_H} \left(\frac{\partial U_x}{\partial r}\right)^{n-1} \frac{\partial U_x}{\partial r} d\delta^{n+1} \right]}{U_{xcp} \left[\int_0^{L_H} \left(\frac{\partial U_x}{\partial r}\right)^{n-1} \frac{\partial U_x}{\partial r} d\delta^{n+1} \right]} - \frac{2^{n+1} \left(\frac{1+3n}{n}\right) L_H}{Re} \frac{L_H}{H}$
Богер [13]	$\frac{2\Delta P}{\rho U_{cp}^2} = \frac{64 \cdot L_H}{D \cdot Re} + 1,33$
Тарг [17]	$\frac{2\Delta P}{\rho U_{cp}^2} = \frac{64 \cdot L_H}{D \cdot Re} + 1,28$

Примечание: n — индекс течения.

3. Цель, задачи и результаты исследования перераспределения кинетической энергии на гидродинамическом начальном участке

Целью данной работы является исследование перераспределения кинетической энергии в потоке при течении вязкой жидкости на гидродинамическом начальном участке. Определение расчетных зависимостей для вычисления длины участка стабилизации потока как функции формы эпюры скоростей в начальном сечении канала.

Используя полученные решения [18] уравнений движения вязкой жидкости на начальном участке прямоугольного канала и приняв гидродинамические условия входа адаптивные к реальным условиям течения в каналах технологического оборудования в виде:

$$U_x(y) = \frac{n_1 + 1}{n_1} U_{xcp} \left[1 - \left(\frac{y}{H} \right)^{n_1} \right], \quad (4)$$

где U_x , U_{xcp} — локальная и средняя скорости; H — половина высоты канала; n_1 — безразмерная постоянная, зависящая от геометрии входного сечения, реологических свойств жидкости и принимающая значение от 1 до 10^5 .

В случае течения реальных, не обладающих эластичными свойствами сред, длина участка гидродинамической стабилизации определяется выражением [9]:

$$L_H = c_H \cdot Re \cdot H, \quad (5)$$

где c_H — постоянная, зависящая от условий входа в канал и реологических свойств жидкости.

При движении жидкости на участке гидродинамической стабилизации происходит преобразование входной эпюры скоростей таким образом, что в конце начального участка она приобретает вид, соответствующий стабилизированному скоростному полю. Если же эпюра скоростей во входном сечении не является прямоугольной, т. е. выполняется условие (4) при $n_1 < 10^5$ и $n_1 \neq 2$, также происходит деформация профиля скоростей за

счет формирования пограничного слоя у стенок канала, что оказывает влияние на закон изменения толщины пограничного слоя $\delta(x)$ и длину самого гидродинамического начального участка. Из уравнения неразрывности можно определить функциональную зависимость $\delta(x)$ от изменения скорости потока в ядре $U_x(x)$:

$$2x_{cp} \cdot b \cdot H = 2b \int_0^{H-\delta(x)} U_x(x) dy + \int_{H-\delta(x)}^H U_{xn}(x,y) dy, \quad (6)$$

где b — ширина канала; $U_{xn}(x,y)$ — закон распределения скоростей в пристенной области потока.

Характер изменения постоянной c_H , входящий в выражение (5) от безразмерного параметра n_1 формулы (4) показана на рис. 1.

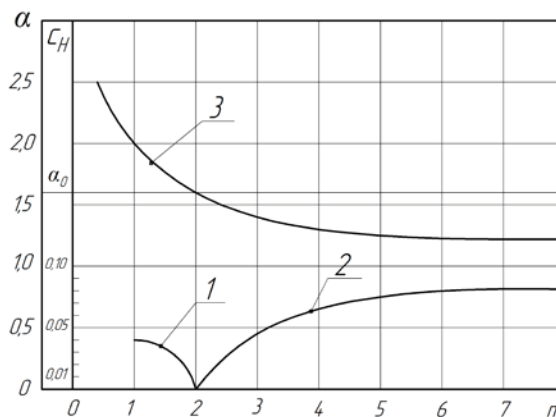


Рис. 1. Зависимость параметра c_H и коэффициента Кориолиса α от значения n_1 : 1 — замедленное течение в ядре потока ($n_1 < 2$); 2 — ускоренное течение ($2 < n_1 < 10^5$); 3 — значение коэффициента α

Из рис. 1 видно, что график функции $c_H = f(n_1)$ состоит из двух характерных участков. Ветвь расчетной кривой 1, соответствует значениям $n_1 < 2$ и может быть описано полиномом вида:

$$L_H = (k_0 + k_1 n_1 + k_2 n_1^2) Re D_{пр}, \quad (7)$$

где k_0 , k_1 , k_2 — коэффициенты полинома; $D_{пр}$ — приведенный диаметр канала.

Эпюра скоростей в этом случае трансформируется от треугольной ($n_1 = 1$) к квадратичной параболе ($n_1 = 2$), что соответствует замедленному течению в ядре потока. Функция $\delta(x)$ изменяется интенсивней и, соответственно, длина гидродинамического начального участка уменьшается. Ветвь 2 определяется формулой:

$$L_H = c_0 \left(\frac{n_1 - 2}{n_1 - 1} \right) Re D_{пр}, \quad (8)$$

где c_0 — постоянная, при $n_1 \rightarrow \infty$, $c_0 \approx 0,1$ и относится к области изменения эпюры скоростей от прямоугольной ($n_1 = 10^5$) к квадратичной параболе ($n_1 = 2$, $L_H = 0$) течение в ядре потока при этом ускоренное.

Таким образом, для области изменения параметра n_1 ($1 \leq n_1 \leq 10^5$) возможен вариант, когда при различной формуле эпюры скоростей во входном сечении длина начального участка L_H одинакова, т. е. одному значению c_H соответствует два значения n_1 , характеризующие условия входа. Если эпюра скоростей на входе в гидродинамический начальный участок пря-

моугольная ($n_1 = 10^5$), то величина $\delta(x)$ может быть представлена следующим соотношением:

$$\delta_x = \frac{3H(U_{xn} - U_{xcp})}{U_{xn}}. \quad (9)$$

При $n_1 = 1$ значение $\delta(x)$ будет зависеть еще и от интенсивности изменения функции $U_n(x)$, с которой связано преобразование кинетической энергии в инерционном потоке.

В работе [19] показано, что при стабилизированном ламинарном течении в круглой трубе коэффициент кинетической энергии $\alpha_0 = 2$, а для плоского канала по данным авторов [20] $\alpha_0 = 1,6$. Величина данного коэффициента зависит от формы эпюры скоростей и может принимать различные значения больше единицы. На рис. 1 (кривая 3) показана зависимость изменения коэффициента Кориолиса α_0 от гидродинамических условий входа в начальный участок, т. е. величина n_1 .

Чем больше различия в значениях α_0 на входе и в конце начального участка, тем существеннее перераспределение в потоке кинетической энергии жидкости, тем больше должна быть длина участка, на которой она происходит, т. е. тем больше L_H .

Как результат аналитических решений уравнений движения вязкой жидкости на начальном участке прямоугольного канала [14] и экспериментальных данных [17] в табл. 3 представлены размеры гидродинамического начального участка L_H для некоторых значений параметра n_1 при ламинарном режиме течения.

Таблица 3

Размеры гидродинамического начального участка L_H при разных значениях параметра n_1

№ п/п	Re	n_1						
		0,1	0,4	1,0	1,4	2	4	∞
1	50	0,048	0,0197	0,0219	0,0212	0	0,039	0,052
2	100	0,096	0,0394	0,0457	0,0423	0	0,078	0,120
3	300	0,288	0,118	0,137	0,127	0	0,285	0,360
4	500	0,480	0,197	0,228	0,211	0	0,392	0,602
5	800	0,769	0,315	0,365	0,339	0	0,628	0,963
6	1000	0,959	0,395	0,456	0,423	0	0,784	1,205
7	1500	1,443	0,591	0,685	0,633	0	1,149	1,805
8	2500	2,402	0,985	1,143	1,058	0	1,963	3,010
	c_H	0,077	0,032	0,036	0,034	0	0,065	0,100

Для определения выше приведены выражения длины начального участка как функции формы эпюры скоростей на входе. Были проведены экспериментальные исследования течения водных растворов глицерина, поливинилового спирта, карбоксиметилцеллюлозы различной концентрации в канале прямоугольного поперечного сечения методом визуализации потока [21]. Условие течения в начальном сечении участка стабилизации, изменились посредством различных углов входа. Машинный эксперимент проводился по каждому из углов входа во всем диапазоне изменения Re и по определению коэффициентов k_0 , k_1 , k_2 .

4. Выводы

На основании аналитических исследований и экспериментальных данных проведен анализ перераспределения кинетической энергии в потоке при течении вязкой жидкости на гидродинамическом начальном участке. Установлена функциональная зависимость коэффициента Кориолиса от гидродинамических условий входа в начальный участок $\alpha = f(n_1)$ и определены формулы для расчета его длины. Полученные результаты позволяют определить, без применения методики гидродинамического участка, дополнительные потери давления связанные с перестройкой профиля скоростей на его длине.

Приведенные в работе исследования имеют практическое применение. В химическом машиностроении в процессе производства вискозных волокон организация входных гидродинамических условий посредством профилирования (рациональной формы) каналов в аппаратах осадительных и пластификационных ванн позволило повысить производительность технологического процесса при сниженных энергозатратах.

В рамках представленной работы проведены исследования характеристик течения вязких жидкостей на начальном участке каналов без учета тепловых и структурных преобразований, происходящих одновременно в процессе плавления полимерных материалов при различных режимах экструзии.

Решение данной задачи связано со значительными трудностями теоретического и экспериментального плана и предполагает самостоятельные исследования.

Литература

1. Торнер, Р. Б. Основные процессы переработки полимеров [Текст] / Р. Б. Торнер. — М.: Химия, 1972. — 452 с.
2. Басов, Н. И. Техника переработки пластмасс [Текст] / Н. И. Басов, В. Брой. — М.: Химия, 1985. — 528 с.
3. Костюк, В. Е. Влияние входной неравномерности потока на гидравлическое сопротивление диффузора камеры сгорания [Текст] / В. Е. Костюк, Е. И. Кирилах // Авиационно-космическая техника и технология. — 2008. — № 4(51). — С. 61–65.
4. Medic, G. On Coupling of RANS and LES For Integrated Computations of Jet Engines [Text] / G. Medic, D. You, G. Kalitzin // Proceedings of ASME Turbo Expo 2007, Montreal, May 14–17, 2007 (GT 2007-27096). — 2007. — Vol. 6. — P. 1181–1187. — Available at: \www/URL: doi:10.1115/GT2007-27096.
5. Гнатив, Р. М. Асимптотический метод исследования диссепативной модели неустановившегося потока жидкости [Текст] / Р. М. Гнатив, М. И. Микитин // Промислова гидравліка і пневматика. — 2012. — № 1(35). — С. 40–44.
6. Носко, С. В. Структура потока в каналах сложной конфигурации при радиальном подводе дополнительного расхода [Текст] / С. В. Носко, А. А. Шевчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 2/7(62). — С. 57–60. — Режим доступа: \www/URL: http://journals.urau.ru/eejet/article/view/12390.
7. Волков, В. З. Входные эффекты при течении вязких жидкостей в цилиндрических насадках [Текст] / В. З. Волков, В. Д. Фрихман, Г. В. Виноградов // Инженерно-физический журнал. — 1976. — Том 31, № 6. — С. 1084–1109.
8. Идельчик, И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов [Текст] / И. Е. Идельчик. — М.: Машиностроение, 1988. — 351 с.
9. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
10. Collins, M. Laminar Flow in the Inlet Section of Parallel Plates [Text] / M. Collins, W. R. Schowalter // AIChE Journal. — 1973. — № 9. — P. 804–808.

11. Петухов, Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах [Текст] / Б. С. Петухов. — М.: Энергия, 1967. — 411 с.
12. Волков, В. З. Входные эффекты при течении упруговязких жидкостей в цилиндрических насадках [Текст] / В. З. Волков, В. Д. Фрихман, Д. В. Виноградов // Инженерно-физический журнал. — 1977. — Том 32, № 1. — С. 1211–1219.
13. Rama Murthy, A. V. Developing Velocity Profiles on the Downstream Side of a Contraction For Inelastic Polymer Solutions [Text] / A. V. Rama Murthy, D. V. Boger // Transactions of the Society of Rheology. — 1971. — Vol. 15, № 4. — P. 709–730.
14. Bogue, D. C. Stability of the Laminar Inlet-Flow Prior to the Formation of Poiseuille Regime [Text] / D. C. Bogue // Ind. Eng. Chem. — 1969. — Vol. 51. — P. 894–899.
15. Botra, A. L. Effect of Non-Uniform Inlet Velocity Profiles in Entrance Region of a Bingham Plastic Flow Between Parallel Plates [Text] / A. L. Botra, K. Miss // Lett. Appl. Engng. Sci. — 1978. — Vol. 16. — P. 529–589.
16. Лимарь, Н. Н. Уравнение неустановившегося напорного движения реальной жидкости [Текст] / Н. Н. Лимарь // Труды Ленинградского ин-та водного транспорта. — 1973. — Вып. 143. — С. 61–63.
17. Тарг, С. М. Основные задачи теории ламинарных течений [Текст] / С. М. Тарг. — М.: Наука, 1961. — 370 с.
18. Яхно, О. М. Исследование инерционного течения вязкой жидкости на начальном участке канала [Текст] / О. М. Яхно, С. В. Носко, И. Е. Онищенко // Гидравлика и гидротехника. — Киев: Техника, 1980. — № 30. — С. 17–23.
19. Емцев, Б. Т. Техническая гидравлика [Текст] / Б. Т. Емцев. — М.: Машиностроение, 1978. — 463 с.
20. Беннет, К. О. Гидродинамика, теплообмен и массообмен [Текст] / К. О. Беннет, Дж. Е. Майерс. — М.: Недра, 1966. — 725 с.
21. Носко, С. В. Исследование кинематических характеристик потока методами визуализации [Текст] / С. В. Носко, В. А. Мосийчук // Вестник Киевского политехнического института. Машиностроение. — 2011. — № 63. — С. 79–82.

ПЕРЕРОЗПОДІЛ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ГІДРОДИНАМІЧНІЙ ПОЧАТКОВІЙ ДІЛЯНКІ

Досліджуються кінематичні характеристики потоку при різних умовах входу в дану ділянку. Встановлені фактори, що приводять до додаткових втрат енергії, які обумовлені проявом інерційних сил в потоці під час розвитку профілю швидкостей. Проведено аналіз перерозподілу кінетичної енергії в потоці. Визначена функціональна залежність коефіцієнта Коріоліса від гідродинамічних умов входу в початкову ділянку.

Ключові слова: гідродинамічні умови входу, перерозподіл кінетичної енергії, довжина початкової ділянки.

Носко Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладной гидроаэромеханики и механотроники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: NoskoS.V.@ukr.net.

Шевчук Александр Анатоліевич, кафедра прикладной гидроаэромеханики и механотроники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: Shevchuk_O_A1992@ukr.net.

Носко Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Шевчук Олександр Анатолійович, кафедра прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Nosko Sergey, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: Nosko S.V.@ukr.net.

Shevchuk Alexander, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: Shevchuk_O_A1992@ukr.net

УДК 681.3

**Зінченко В. П.,
Сарибога Г. В.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДБІР ПАРАМЕТРІВ КОТУШКИ ДЛЯ МІКРОСУПУТНИКА НТУУ «КПІ»

Керування кутовим рухом мікросупутника, або, іншими словами, системи керування відносно центру мас, як правило, — найбільш складна та відповідальна частина бортового обладнання. Ефективність застосування МС та, відповідно, ефективність виконуваних ними практичних задач значним чином залежить від функціональних можливостей цих систем, а також їх технічних та експлуатаційних характеристик. В цій статті визначається продуктивність роботи мікросупутника НТУУ «КПІ» при використанні блоку керування системи — магнітних котушок для орієнтації мікросупутників в просторі.

Ключові слова: момент повороту, магнітні котушки, струм, магнітні пристрої, мікросупутник.

1. Вступ

До систем орієнтації малих супутників і їх компонування пред'являються особливі вимоги у зв'язку з обмеженими розмірами мікросупутника (МС) і досить жорсткими обмеженнями по енергетиці і обчислювальним ресурсам. Якщо до точності орієнтації супутників не пред'являється високих вимог, то можна і доцільно використовувати магнітні системи орієнтації. Принцип її ґрунтується на взаємодії власного магнітного мо-

менту супутника з зовнішнім геомагнітним полем Землі, в результаті якого виникає керуючий механічний момент. Магнітний момент може бути реалізований пасивно за допомогою постійних магнітів і гістерезисних стрижнів або активно за допомогою струмових котушок з намагніченою серцевиною або без неї.

Такі системи конструктивно надійні і відносно прості. Вони дозволяють управляти супутником за допомогою генерування магнітного моменту, тобто внаслідок проходження струму через обмотку котушки. Використання