

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ



**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 20 жылдығы
және механика-математика факультеті
«Механика» кафедрасының құрылғанына 10 жыл толуы аясында өтетін
«МЕХАНИКА ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ» атты
Республикалық ғылыми-әдістемелік конференциясы**

БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**Республиканской научно-методической конференции
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ И МАТЕМАТИКИ»,
посвященной 20-летию Евразийского национального университета
им. Л.Н. Гумилева и 10-летию основания кафедры «Механика»
механико-математического факультета
Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева**

2016 жыл 14-15 қазан

Астана

ӘОЖ 531:510 (063)

КБЖ 22

М 49

В подготовке Сборника к печати принимали участие:

Джайчибеков Н.Ж., Ибраев А.Г., Бургумбаева С.К., Бостанов Б.О.

«Механика және математиканың өзекті мәселелері» атты Республикалық ғылыми-әдістемелік конференциясының БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 20 жылдығы және механика-математика факультеті «Механика» кафедрасының құрылғанына 10 жыл толуына арналған = «Актуальные вопросы механики и математики», посвященной 20-летию Евразийского национального университета им.Л.Н. Гумилева и 10-летию основания кафедры «Механика» механико-математического факультета Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилев. СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ Республиканской научно-методической конференции. Қазақша, орысша. – Астана, 2016, 292 б.

ISBN 998-601-301-808-9

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және ғалымдардың механика, математика, математикалық және компьютерлік модельдеу, механика және математиканы оқыту әдістемесінің өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

В Сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и ученых по актуальным вопросам механики, математики, математического и компьютерного моделирования и методика преподавания механики и математики.

Тексты докладов печатаются в авторской редакции

ISBN 998-601-301-808-9

ӘОЖ 531:510 (063)

КБЖ 22

айына ұқсас ең оңтайлы стратегиялар ССВН және ККГВ тиесілі болды, 2010-2014 жылдарда инвестор, ТSВN және GB_KZMS 30%-дан астам акцияларын сатып алады. Қазан айының барлық кезеңінде ТSВN және HSBK акциялары, минимал шығынның алдын алуға мүмкіндік беретін ойын барысында аса тиімді болатыны есептеулер барысында анықталды. Қараша айында «Цеснабанка» АҚ компаниясының барлық кезеңдегі акциялары табыстырақ болды, 2010-2011 жылдарда инвестор өзіне тиесілі барлық ақша қаражатының 23% және 20%-на сатып алған HSBK, ССВN табысты болды. Желтоқсанда талдау жүргізудің барлық кезеңінде ТSВN акциясының табысы аз ғана өзгеретінін байқаймыз, 2010-2012, 2010-2013 жылдарда «Kaz Minerals PLC» АҚ компаниясының акциялары табыс алып келді, 2010-2014 кезеңінде ТSВN сауда акцияларымен қатар ССВN, RDGS акциялары да инвестордың оңтайлы экономикалық жағдайын тудырды.

Құнды қағаздар портфелін басқарудың алынған әдістемелік тәсілдерін экономикалық мамандықтар бойынша оқыту процесіне мақсатты түрде ендіру қажет. Құнды қағаздар нарығында кәсіби қызметті жүзеге асыру барысында жасалған есептеулер мен алынған нәтижелерді пайдалану, жұмыста берілген негізгі қорытындылар, жанжал жағдайларында, атап айтқанда: биржалық ойындағы тиімді стратегияларды және инвесторлардың оңтайлы әрекеттерін таңдау кезінде, қаржыларды дұрыс басқаруда оңтайлы шешімді анықтау бойынша практикалық жұмыстарда қолданыс табады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. Баймухамедова С., Танкибаева Д. Фондовый рынок и реальный сектор экономики Рынок ценных бумаг Казахстана. - 2000, №8.
2. Царев В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций. – М.: "Питер" баспа үйі, 2004.
3. 07.04.2004 ж. ҚР «Қазақстан Республикасындағы инвестициялық қорлар тура лы» заңы (27.04.2015 ж. өзгерістермен және толықтырулармен).
4. Бейсембетов И.К. Фондовый рынок Республики Казахстан. - Алматы, 2004.
5. Баринов Э.А., Хмыз О.В. Рынки: валютные и ценных бумаг. - М., 2001.
6. Берзон Н.И. Фондовый рынок. - М.: Вига-Пресс, 1998.
7. Khalik G. Guseinov, Emrah Akyar, Serkan A. Düzce. Oyun teorisi: çatışma ve anlaşmanın matematiksel modelleri. – Istanbul: Seçkin Yayıncılık (Yayınları): Fen bilimleri dizisi, 2012.
8. Güler F.Ü, Durmuş A., Risk altında denetim maliyetini minimize edecek stratejilerin oyun teorisi yaklaşımı ile belirlenmesi. – Isparta: SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2011.
9. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970.
10. Костевич Л.С., Лапко А.А. Исследование операций теории игр. – Минск: Вышэйшая школа, 2008.
11. www.kase.kz
12. www.investfunds.kz

УДК 517.958:532/533

ДЕЙСТВИЕ СИЛ СТОКСА, САФФМАНА И МАГНУСА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ В МИКРОКАПИЛЛЯРЕ ПОСТОЯННОГО РАДИУСА

Енсебек Н., Шалабаева Б.С.

n.yensebek@mail.ru

ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

С развитием и усовершенствованием техники, исследования в области микро и нано технологий становятся все более актуальными. Данная отрасль имеет широкую область применения в различных сферах, в том числе и гидродинамике, что в свою очередь получило новое название, как нано-гидродинамика. Эта технология активно применяется в микроэлектронике для печати тонких линий, более известной, как прямая запись или прямая

печать (direct write), так как проводящий материал наносится непосредственно на поверхность платы без использования предварительно сконфигурированных масок. Осаждение материалов на основе аэрозолей является подмножеством процессов прямой записи и использует направленный аэрозольный пучок твердого или жидкого материала для функций печати.

В Aerosol Jet™ аэрозольные жидкости, полученные из nano-частиц металлической суспензии, сфокусированы в головке осаждения и системе сопел, где распыляются на подложку с размером элемента вплоть до 10 мкм. Micro Cold Spray Direct Write (MCS-DW) представляет собой процесс прямой записи на основе аэрозоля, который откладывает сухой аэрозоль, полученный из металлических порошков. MCS-DW показал, что способен печатать медный, оловянный и алюминиевые порошки (частицы с распределением диаметра от 1 до 5 мкм) на гибких и жестких подложках с печатными функциями размером до 50 мкм [1]. Другие ковкие металлы (например, золото, серебро, платина, и свинец) также могут быть напечатаны с помощью данной системы, но еще не были протестированы. В традиционных процессах прямой печати аэрозоля частицы ускоряются до умеренных скоростей (обычно менее 100 м / с). В то время как в процессе MCS-DW, частицы должны быть ускорены до очень высокой скорости, часто превышающей 500 м/с. В данной статье рассматривается влияние сил Саффмана, Стокса и Магнуса на движение аэрозольных частиц в микрокапилляре.

Для того чтобы моделировать поток аэрозольных частиц необходимо учитывать силы, действующие на эти частицы.

Суммарные силы, действующие на частицы аэрозоля, определяются уравнением

$$\sum F = F_{st} + F_{Ba} + F_{vm} + F_{ps} + F_{gr} + F_{Ma} + F_{Sa} \quad (1)$$

где F_{st} – сила сопротивления Стокса, F_{Ba} – сила Бассета, F_{vm} – сила виртуальной массы, F_{ps} – сила градиента давления, F_{gr} – сила плавучести (сила тяжести), F_{Ma} – подъемная сила Магнуса, и F_{Sa} подъемная сила Саффмана .

Движение аэрозольных частиц в результате этих сил может быть определено с помощью второго закона Ньютона [2]

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \rho_p \frac{dv_p}{dt} = \sum F \quad (2)$$

где a – радиус частицы, ρ_p – плотность частицы и v_p – скорость частицы.

Силы, имеющие отношение к этому вычислительному исследованию - сила сопротивления Стокса, подъемная сила Саффмана и подъемная сила Магнуса задаются уравнениями

$$F_{st} = 6\pi a \mu (v - v_p) \quad (3)$$

$$F_{Sa} = 6.46 a^2 (u - u_p) \sqrt{\rho \mu \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|} \text{sign} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) e_y \quad (4)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости, ρ – плотность жидкости, $(v - v_p)$ – относительная скорость частицы по отношению к жидкости, $(u - u_p)$ – относительная осевая (вдоль сопла) скорость частицы по отношению к жидкости, $\frac{\partial u}{\partial y}$ – градиент радиальной

скорости жидкости, и e_y – единичный вектор, направленный вдоль оси y (радиальная составляющая).

Число Рейнольдса частицы Re_p , число Рейнольдса градиента скорости Re_G , и вращательное число Рейнольдса Re_Ω , задаются уравнениями

$$Re_p = \frac{|u - u_p| 2a\rho}{\mu} \quad (5)$$

$$Re_G = \frac{(2a)^2 \rho}{\mu} \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \quad (6)$$

$$Re_\Omega = \frac{|\Omega| (2a)^2 \rho}{\mu} \quad (7)$$

где Ω – скорость вращения частицы аэрозоля.

Поток жидкостей внутри микро-капилляра характеризуется наличием градиента скорости, где скорость газа у стенки капилляра равна нулю и максимальна на оси. Этот градиент скорости может привести к вращению частицы и в последующем силе Магнуса.

Скорость изменения угловой скорости частицы, $\frac{d\Omega}{dt}$, может быть выражена как функция от крутящего момента T , применительно к частице и ее момента инерции I . Момент инерции твердого шара задается уравнением $I = \frac{8}{15} \pi \rho_p a^5$ и, следовательно, угловая скорость может быть определена путем интегрирования уравнения

$$I \frac{d\Omega}{dt} = T \quad (8)$$

где Ω – вектор угловой скорости частицы. Крутящий момент T , действующий на вращающуюся сферу в потоке с градиентом скорости, $\frac{\partial u}{\partial y}$, может быть рассчитан, используя следующее уравнение

$$|T| = 8\pi\mu a^3 \left(\frac{\partial u}{\partial y} - |\Omega| \right) \quad (9)$$

После того, как скорость углового вращения для частицы определена, сила Магнуса, действующая на сферу, может быть рассчитана с помощью уравнения, включая поправочный коэффициент для конечного числа Рейнольдса, предложенного Loth и Dorgan [3]

$$F_M = \pi a^3 \rho C_M \{ \Omega \times (v - v_p) \} \quad (10)$$

$$C_M = 1 - \left\{ 0.675 + 0.15 \left(1 + \tanh \left[0.28 (\Omega_p^* - 2) \right] \right) \right\} \tanh \left[0.18 Re_p^{0.5} \right] \quad (11)$$

где Ω_p^* нормированная угловая скорость заданная как $\Omega_p^* = \frac{2a|\Omega|}{|v - v_p|}$.

На рисунке 1 изображена геометрия сопла капилляра, который был использован для моделирования аэрозольного потока. Сопло имеет входное и выходное отверстие радиусом 400 мкм, длина сопла 50 мкм.

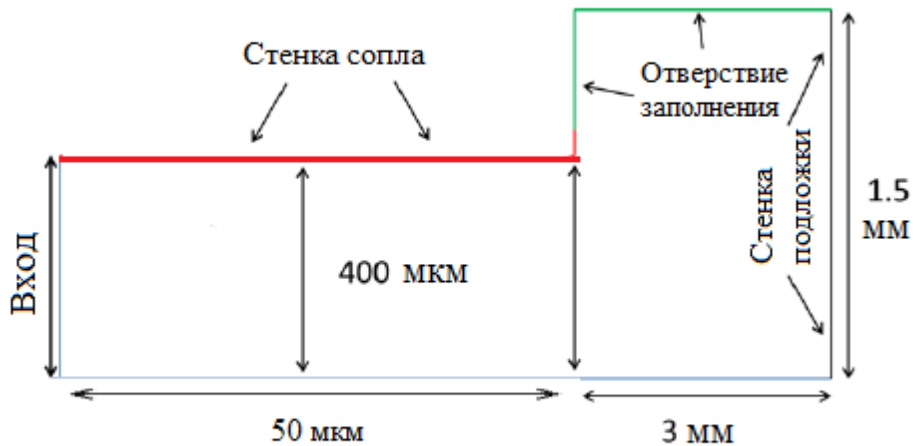


Рисунок 1– Иллюстрация сопла капилляра с постоянным радиусом

Ранее нами было изучено влияние сил Самана и Стокса на моделирование потока аэрозоля в микрокапилляре. В ходе изучения была получена математическая модель данного процесса, а последующая компьютерная модель, составленная на основе математической, показала заметное сходство с результатом лабораторного эксперимента в университете северной Дакоты под руководством профессоров Ахатова И.Ш. и J.M. Ноеу [4]. На данном этапе исследования изучено влияние подъемной силы Магнуса и выявлено, что сила Магнуса в сумме с силами Стокса и Саффмана положительно скажется на концентрации микрочастиц и ускорит их направленность к оси капилляра. Подставив уравнения (3), (4) и (10) в уравнение (2), получим формулу для расчета изменения скорости частицы в потоке.

$$\frac{dv_p}{dt} = 4.5 \frac{\mu}{\rho_p a^2} (v - v_p) + 4.8 \frac{(u - u_p)}{\pi a \rho_p} \sqrt{\rho \mu \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|} \text{sign} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) e_y + 0.75 C_M \{ \Omega \times (v - v_p) \} \quad (12)$$

Пользуясь данным уравнением и поправочными коэффициентами из предыдущих вычислений, была получена компьютерная модель движения микрочастиц в капилляре (рисунок 2).

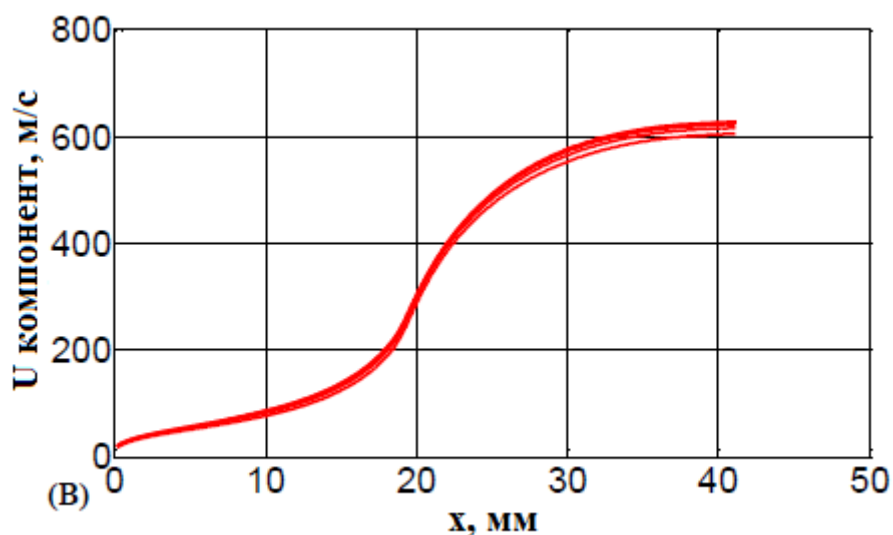


Рисунок 2 – Траектория частиц с применёнными силами Стокса, Саффмана и Магнуса

В данной работе было рассмотрено влияние суммы сил Магнуса, Саффмана и Стокса на движение аэрозоля в микроканале, составлена математическая и компьютерная модель для определения скорости частиц вдоль капилляра. Было выявлено, что сила Магнуса оказывает значительное влияние на частицы большего диаметра (~ 6 мкм). Она может быть применена для моделирования аэрозольного потока в процессах, которые используют аэрозольные частицы с большим диаметром, например, в традиционном холодном распылении.

Список использованных источников

1. Champagne V.K. “Cold Spray Material Deposition Process: Fundamentals and Applications”, Woodhead/CRC Press, 2007.
2. Hoey J. M., Akhatov I. S., Swenson O. F. & Schulz, D. L. (2007). Focusing of aerosol particles. U.S. Provisional Patent Application # 60/956, p. 493.
3. Loth E., Dorgan A.J., “An Equation of Motion for Particles of Finite Reynolds Number and Size”, Environment Fluid Mechanics, vol. 9(2), pp. 187-206, 2009.
4. Akhatov I.S., Hoey J.M., O.F. Swenson, D.L. Schulz (2008). Aerosol focusing in micro-capillaries: Theory and experiment. Aerosol Science 39, p. 691 – 709.

MATHEMATICAL MODELING OF TWO DIAGONAL CAVITIES STRESS-STRAIN STATE.

Masanov Zh., Azhikhanov N., Turymbetov T., Zhunissov N.
nurlan.azhikhanov@iktu.kz

H.A.Yasawi International Kazakh-Turkish University, Kazakhstan, Turkistan.

This paper investigated the stress-strain state of two diagonal cavities of arbitrary cross-sectional shape and the depth of a weighty inclining massif with system slots in terms of elastic and elastic-creep deformation rocks. This study was based on the anisotropic mechanical-mathematical model of inclining multilayer massif with a doubly periodic system of slots studied numerically, the patterns of distribution of elastic-creep stresses, displacements near two diagonal cavities of derived shape, and the depth of the Finite Element Method in generalized plane strain. Calculation algorithm is a designed and compiled software package for the study of the elastic-creep state of