УДК 526.3

**ДИНАМИКА НАНОЧАСТИЦ В ЖИДКОФАЗНОЙ СРЕДЕ С УЧЁТОМ**

 **КОНЕНТРАЦ ИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИИЕНТА ВЯЗКОСТИ И СИЛ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

**А.И. Ливашвили, П.В.Виноградова, Г.В. Костина, М.И. Якунина**

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения (г. Хабаровск)*

***livbru@mail.ru***

 *Изучается динамики концентрации наночастиц в наножидкости, которая подвергается воздействию светового поля с равномерным профилем интенсивности. При этом мы учитываем концентрационный конвективный потоки и поток, обусловленный действием силы светового давления. Полученное балансное нелинейное уравнение преобразуется в линейное уравнение теплопроводности, для которого решается задача Коши.*

**DYNAMICS OF NANOPARTICLES IN A LIQUID-PHASE MEDIUM TAKING INTO**

**ACCOUNT THE CONCENTRATION DEPENDENCE OF THE VISCOSITY COEFFICIENT AND LIGHT PRESSURE FORCES**

**A.I. Livashvili, P.V. Vinogradova, G.V. Kostina, M.I. Yakunin**

*Far Eastern State Transport University (Khabarovsk)*

***livbru@mail.ru***

*The dynamics of the concentration of nanoparticles in a nanofluid, which is exposed to a light field with a uniform intensity profile, is studied. In this case, we take into account the concentration convective fluxes and the flux caused by the action of the force of light pressure. The obtained balance nonlinear equation is transformed into a linear equation of heat conduction for which the Cauchy problem is solved.*

Коллоидные суспензии (наножидкости) характеризуются особыми свойствами переноса, в отличие от крупных дисперсных частиц, они практически не седиментируют, не подвергают эрозии каналы. В частности, их успешно используют для доставки лекарственных препаратов (оптические пинцеты) [1-4].

Несмотря на достаточно большое число публикаций и накопленный фактический материал как экспериментальный, так и теоретический, здесь все еще отсутствуют систематические данные, а результаты экспериментов часто противоречивы. Это, в свою очередь, требует понимания механизмов переноса и физического смысла наблюдаемых эффектов.



*Рис.1* Геометрия задачи

Нашей целью будет изучение динамики концентрации наночастиц в наножидкости, которая подвергается воздействию светового поля с равномерным профилем интенсивности. При этом мы учитываем концентрационный конвективный потоки и поток, обусловленный действием силы светового давления *FS*, определяемом выражением Геометрия задачи показана на рис.1

 (1)

где – диэлектрическая проницаемость частицы,– диэлектрическая проницаемость среды, – размер наночастицы, – длина световой волны, – интенсивность, – скорость света в вакууме. Заметим, что эта сила направлена вдоль распространения волны.

Отметим, что в большинстве опубликованных работах, посвящённых явлениям переноса в наножидкости, её коэффициент вязкости принимается постоянным. В то время как существуют публикации [5 – 6], в которых теоретически и экспериментально доказана её концентрационная зависимость.

Запишем балансное уравнение, описывающее нестационарный перенос частиц в наножидкости (без учёта термодиффузии):

 (2)

В уравнении (2) приняты следующие обозначения: *D* – коэффициент диффузии наночастицы; *V(C)* – скорость концентрационной конвекции, которую принимаем равной , где *v(C)* – кинематическая вязкость, а *l* – характерное расстояние.

Так как, то можем записать . В ряде экспериментальных и теоретических работ показано [3 – 4] , что вязкость пропорциональна концентрации коллоидной суспензии. В дальнейшем мы примем, что где *p>0*. Зависимость концентрации от плотности будем считать несущественной: . Последнее слагаемое в (2) связано с наличием потока, вызванного электрострикцией частиц.

Далее, где – подвижность частицы, *a*0 – размер частицы. С учётом последних равенств уравнение (2) можно записать в виде:

 (3)

Далее будем использовать линейное приближение для зависимости:

 (4)

Переходим в уравнении (3) к безразмерным переменным:

 (5)

где

После дальнейшей параметризации изучаемое уравнение примет вид:

 . (6)

где (7)

Введём новую функцию:

 (8)

Тогда уравнение (6) запишется в виде

 (9)

Видно, что полученное уравнение (9) является уравнением Бюргерса. Подстановка Коула-Хопфа [7]:

 (10)

Преобразует его в уравнение теплопроводности

 (11)

С начальными начальном условиями

 (12)

Его решение известно [8]:

 (13)

Значение определим, используя (10), (8) и начальное условие: :

 (14)

Используя (8), (10),(13) и (14) можно найти :

, (15)

где (16)

Равенства (15) и (16), в принципе, решают поставленную задачу: определяют динамику наночастицы в жидкофазной среде с учётом зависимости коэффициента вязкости наножидкости от концентрации. Дальнейшее изучение зависимости концентрации от оптических, теплофизических и гидродинамических параметров может быть проведено на основе полученных соотношений.

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Черепанов И.Н., Попов В. А*.* Экспериментальное исследование влияния концентрации на параметры наножидкости. // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. 2017. Вып. 2. (36). С. 26–31.

2. Иванов В.И., Ливашвили А.И. Эффект Дюфура в дисперсной жидкофазной среде в поле гауссова пучка // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В. М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып.5. –С. 116-119.

3. Smorodin В.L., Cherepanov L.N., Myznikova B.I, Shliomis M.I. Traveling wave convection incolloids stratifiedby gravity. // Physical ReviewE. 2011. Vol. 84, 026305

4.Рудяк В. Я. Современные проблемы микро и нанофлюидики. / В. Я. Рудяк, А. В. Минаков. – Новосибирск: Наука, 2016. – 296 с.

5. Рудяк В. Я, *Краснолуцкий С.Л*. Моделирование коэффициента вязкости наножидкости методом молекулярной динамики. // СПб.: Журнал техн. физики, 2015. Т. 85. № 6. –С. 9–16

6. Venerus D., BuongiornoJ ., Christianson R., et al. (33 more authors) Viscosity measurements on colloidal dispersions (nanofluids) for heat transfer applications. Applied Rheology, 2010. Vol. FED.

7. Cole J.D. On a quasilinear parabolic equation occuring in aerodynamics. // Quart. Appl. Math. 1951. Vol. 9. P. 225–236.

8. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики.-М.:ФИЗМАТЛИТ.2001.-576 С.