

Моделирование показало, что расчетное значение перепада давления на активной зоне 35,12 кПа, отклонение от эксплуатационного значения составило 0,12 кПа. Это свидетельствует о корректности разработанной геометрии, что позволяет проводить дальнейшие исследования гидравлических характеристик активной зоны.

Ввиду того, что ТВС и бериллиевые блоки имеют разные проходные сечения для теплоносителя, необходимо учитывать распределение теплоносителя в гетерогенной структуре активной зоны.

Расчетное распределение расхода теплоносителя по топливным ячейкам активной зоны реактора ИРТ-Т представлено в табл. 1.

Таблица 1. Расход теплоносителя, м³/ч

Через межтвэльные зазоры ТВС					Через ½ зазора между ТВС				
Ячейка	6	5	4	3	6	5	4	3	Ячейка
7	27,35	29,05	26,47	30,25	2,68	2,63	2,69	2,69	7
6	26,78	28,04	27,02	29,56	2,63	2,59	2,62	2,72	6
5	26,01	Be	Be	28,79	2,50	Be	Be	2,63	5
4	26,45	Be	Be	28,91	2,52	Be	Be	2,65	4
3	25,02	26,73	25,35	28,13	2,66	2,64	2,62	2,69	3
2	27,20	28,53	26,54	30,67	2,72	2,68	2,70	2,66	2

Таким образом, разработана трехмерная модель активной зоны реактора ИРТ-Т. Проведено численное моделирование гидродинамических процессов с целью верификации разработанной модели в Логос Аэро-Гидро. Моделирование показало, что гидравлическое сопротивление на активной зоне соответствует эксплуатационному значению.

В результате дальнейшего моделирования получены следующие характеристики:

- средний расход теплоносителя через ТВС составил 30,28 м³/ч;
- средний расход теплоносителя через межтвэльные зазоры – 2,64 м³/ч;
- средний расход теплоносителя через зазоры бериллиевых блоков – 2,38 м³/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов Г.Г., Диденко А.Н. Ядерный реактор ИРТ-Т НИИЯФ ТПИ в научных и прикладных исследованиях // Атомная энергия. – 1988. – Т. 64. – № 5. – С. 366–370.
2. ЛОГОС Аэро-Гидро. Решатель задач аэро-, гидро-, газодинамики и акустики. – URL: <https://logos-support.ru/logos/aero-hydro/> (дата обращения: 05.11.2024).

ОСАЖДЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ В ЖИДКОСТИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОЛЕ СИЛ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ

Д.В. Лисовская, А.С. Зайцев

Томский политехнический университет, ИШФВП

Научный руководитель: Р.И. Егоров, д.ф.-м.н., проф. ИШФВП ТПУ

Взвеси различных микрочастиц являются очень часто встречающимся фактором, оказывающим влияние на протекание различных процессов в промышленности и в быту. Осаждение таких микрочастиц под действием силы тяжести приводит к образованию осадка на дне емкостей с неподвижным слоем жидкости. При протекании взвесей по каналам микроканальных теплообменников может наблюдаться осаждение микрочастиц на боковые стенки

вследствие влияния сил адгезии. Все это приводит к загрязнению микроканалов и снижению эффективности теплообменника или к загрязнению поверхностей емкостей. И, если при работе с большими объемами жидкостей, технологии их очистки уже достаточно отработаны, то в случае малых объемов общепринятого метода решения данной проблемы пока нет. Даже без учета осаждения, присутствие взвесей сторонних микрочастиц является абсолютно нежелательным явлением в микробиологии и прочих отраслях, где требуется высокая чистота реагентов. Таким образом, разработка методики очистки малых объемов жидкостей является актуальной проблемой в настоящее время. Применение самых простых подходов, вроде отстаивания, зачастую неприменимо в силу длительности этого процесса, а также из-за непредсказуемости распределения осадка по дну емкости.

Применение детерминированного поля сил в объеме взвеси позволяет упорядочить процесс осаждения и локализовать область накопления осадка. Конвекция при локальном (точечном) нагреве [1–3] позволяет получить максимально высокую скорость массопереноса при минимально возможном росте средней температуры жидкости. На рис. 1 показана схема проведения эксперимента: лазерный луч освещает пятно поглощающего свет покрытия на дне ячейки, в результате чего происходит локальный нагрев слоя жидкости, и инициируется конвекция. Течение отслеживается по движению взвешенных микрочастиц с помощью видеокамеры, наблюдающей сбоку плоскость в слое, подсвеченную астигматическим лазерным пучком малой мощности. Анализ поля скорости проводился методом PIV.

Движение жидкости в плоскости слоя отслеживалось второй камерой, наблюдавшей слой сверху. Таким образом, можно составить карты течения жидкости для различных толщин слоя, а также оценить динамику осаждения микрочастиц и плотность их распределения на подложке.

На рис. 2 показаны примеры поля скорости конвекции воды в диаметральной вертикальной плоскости слоя и в главной горизонтальной плоскости слоя при его толщине $h \sim 3$ мм. Красная линия на рис. 2, б показывает ориентацию сечения диаметральной плоскости относительно главной горизонтальной плоскости.

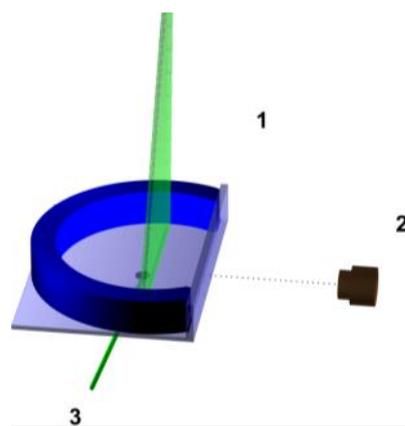


Рис. 1. Схема поведения эксперимента по осаждению микрочастиц в поле сил конвективного течения. На схеме показана ячейка со взвесью (1), видеокамера для наблюдения осаждения (2) и лазерный луч, осуществляющий локальный нагрев жидкости (3)

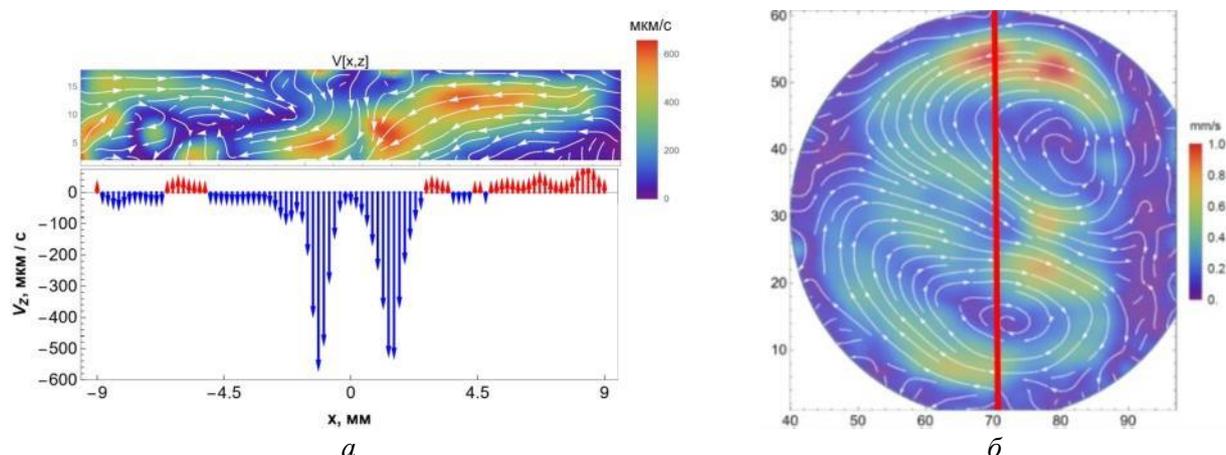


Рис. 2. Мгновенное поле скорости конвекции воды при точечном нагреве мощностью 0,5 Вт. Вид в диаметральной плоскости (а) и распределение скорости прижимающего потока вдоль дна ячейки, вид в главной плоскости слоя (б)

Видно, что вблизи центра ячейки существует область, в которой течение сильно прижимает переносимые микрочастицы ко дну (синие стрелки), что и обуславливает локализацию осаждения вдоль линии составляющей с диаметральной плоскостью угол близкий к прямому.

На рис. 3 показаны области осаждения твердой части суспензии на подложке ячейки, обусловленные полем сил конвекции [3–4]. Видно, что для водной суспензии можно получать различные конфигурации пятна осаждения в зависимости от толщины слоя жидкости. В тонком слое могут быть получены линейные области осаждения с максимальной протяженностью в случае, когда соотношение толщины слоя и его радиуса достигает $h/R \sim 0.3$. При больших толщинах слоя (рис. 3, б) конвективное течение становится хаотичным, когда число Марангони становится сопоставимым с числом Рэлея, и пятно осаждения локализуется вблизи точки нагрева.

В случае водо-спиртовых суспензий, зависимость режима осаждения микрочастиц от условий становится значительно более сложной. В случае, когда доля спирта относительно невелика (~ 20 вес. %), возможно образование локальных областей осаждения подобно тому, как это происходит в воде при больших толщинах слоя. В случае большой концентрации спирта (~ 40 мас. % и более) может происходить коагуляция микрочастиц с образованием хлопьев на свободной поверхности жидкости (рис. 4, з).

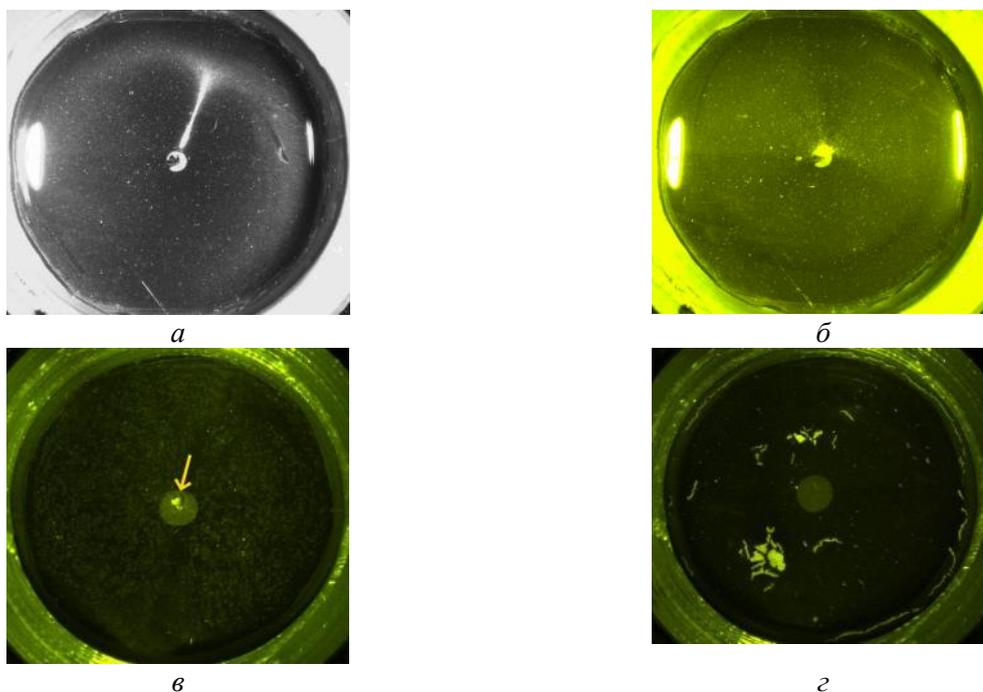


Рис. 3. Картины осаждения водной взвеси микрочастиц диоксида титана в слое толщиной 3 мм (а), 5 мм (б), а также взвеси частиц диоксида титана в 3 мм слое водо-спиртовой (20 вес. % алк.) смеси (в) и водо-спиртовой (40 вес. % алк.) смеси (г).

Обобщая полученные результаты [4–5], можно заключить, что конвективные течения при локальном нагреве являются удобным инструментом для управления режимом осаждения взвесей. Они позволяют стимулировать локальное осаждение при минимальном росте средней температуры жидкости (порядка 10–15 градусов в течение получаса при нагреве 1,5 мл воды мощностью 0,5 Вт).

Конвективные емкости для очистки жидкостей могут быть строены в микрофлюидные чипы, резервуары микроканальных систем теплообмена и другие популярные системы, работающие с течением жидкостей в сильно ограниченных объемах. Предложенный подход позволяет многократно стимулировать осаждение жидкости и, таким образом, производить ее не инвазивную очистку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen Y., Askounis A., Koutsos V., Valluri P., Takata Y., Wilson S.K., Sefiane K. On the effect of substrate viscoelasticity on the evaporation kinetics and deposition patterns of nanosuspension drops // *Langmuir*. – 2020. – V.36. – P. 204–213.
2. Wang F., Wu M., Man X., Yuan Q. Formation of deposition patterns induced by the evaporation of the restricted liquid // *Langmuir*. – 2020. – V.36. – P. 8520–8526.
3. Misyura S.Y., Egorov R.I., Morozov V.S., Zaitsev A.S. Intensifying the particle deposition from a colloidal solution for the purpose of liquid purification: Comparison of deposition mechanisms and rates // *Powder Technology*. – 2024. – V. 434. – № 119346.
4. Misyura S.Y., Egorov R.I., Morozov V.S., Zaitsev A.S. Evaporation of a water layer under local non-isothermal heating // *Appl. Thermal Eng.* – 2023. – V.219, № 119383.
5. Misyura S.Y., Egorov R.I., Morozov V.S., Zaitsev A.S. The velocity field behavior and the nature of deposition of microparticles in a thin layer of colloidal solution at wall heating from one and two laser beams // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2023. – v. 678. – № 132508.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ НА СКОРОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБОГРЕВА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГАЗОВЫМ ИНФРАКРАСНЫМ ОБОГРЕВАТЕЛЕМ

А.В. Вяткин

Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А1-44

Научный руководитель: Б.В. Борисов, д.ф.-м.н., профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Газовые инфракрасные излучатели используются для создания комфортных условий труда на рабочих местах в промышленных помещениях [1–5]. Для оценки формирования комфортных условий в рабочих зонах привлекаются как экспериментальные [6], так и сложные численные исследования [7–9]. Проведение сложных численных исследований связано со значительными временными затратами и требованиями к мощности вычислительной техники. Наиболее точные математические вычисления достигаются в трехмерной постановке [10]. Целью данной работы является исследование влияния размера вычислительной сетки на точность вычисления параметров процесса обогрева рабочей зоны газовым инфракрасным обогревателем.

Математическое моделирование проводилось в условиях, описанных в работе [10]. Рассмотрено помещение известных размеров $L_x = 10L_y = 5L_z = 4,4$ м. Толщина ограждающих конструкций (стен, пола и потолка) данного помещения принята как $L_{wall} = 0,1$ м. В рассматриваемом помещении выделена локальная рабочая зона, в которой находится горизонтальная панель (размеры $L_{x_{tb}} = 0,6$ м, $L_{y_{tb}} = 1,2$ м, $L_{z_{tb}} = 0,05$ м), имитирующая оборудование. Поверхность горизонтальной панели располагалась на оси симметрии ГИИ на высоте 760 мм от пола. Выделенная локальная рабочая зона обогревателем газовым инфракрасным излучателем (размеры $L_{x_{GIE}} = 0,164$ м,

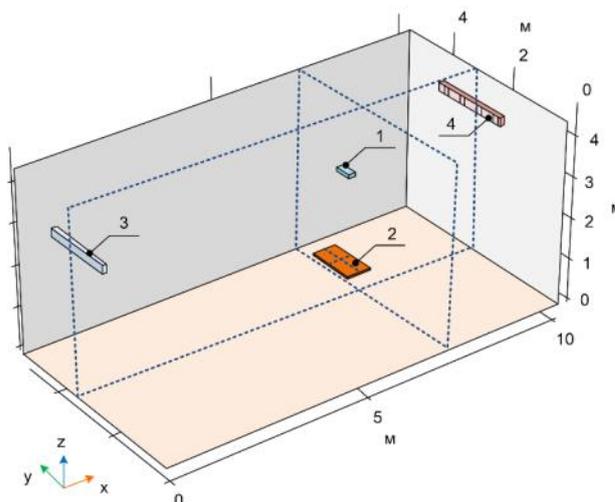


Рис. 1. Схема области решения:
1 – ГИИ, 2 – горизонтальная панель, 3 – зона притока воздуха, 4 – зона оттока воздуха.
Пунктирными линиями выделены рассматриваемые сечения [10]