

2. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда / А.Н. Геннадиев // Вестник Московского университета. – Серия 5. – География. – 2016. – № 6. – С. 30–39.

3. Nosova M.V. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia) / M.V. Nosova, V.P. Seregina, I.M. Fedorchuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 723. – P. 1–6.

4. Nosova M.V. Main Trends in Morphological Properties of Alluvial Soils under Conditions of Local Pollution with Oil Emulsions (Western Siberia) / M.V. Nosova, V.P. Seregina, A.S. Rybin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 723. – P. 1–7.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ЛУПИНГЕ SIMULATION OF A FLOW OF LIQUID IN A LOOPING

**С. В. Артемчук<sup>1,2</sup>, Е. П. Черевань<sup>1,2</sup>**

**S. V. Artsiamchuk<sup>1,2</sup>, E. P. Cherevan<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
et@iseu.by, artemchuk56@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Выполнено моделирование течения потока жидкости в лупинге на трехмерной модели исследуемого участка трубопровода. Проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX. Получены распределение полного (статического) давления по трубопроводу, векторное поле скоростей и зоны турбулентности.

Modeling of the fluid flow in the looping was performed on a three-dimensional model of the use of a pipeline section. Numerical simulation of the structure was carried out using the ANSYS CFX package. Obtaining the total (static) pressure through the pipeline, the vector field of velocities and the turbulence zone.

*Ключевые слова:* лупинг, моделирование, поле скоростей, зоны турбулентности.

*Keywords:* looping, modeling, velocity field, turbulence zones.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-278-281>

Моделирование течений потока с помощью инструментов ANSYS CFX, получение анимации исследуемых явлений, а также результаты исследований в формате изображения используются для решения конкретных практических задач снижения гидравлических потерь и как следствие повышения энергетической эффективности трубопроводных систем.

При решении различных проблем часто приходится встречаться с вопросом о движении различных жидкостей, а также с вопросом о силовом (механическом) воздействии жидкости на те или другие поверхности и на обтекаемые ею твердые тела. Метод технической гидродинамики, согласно которому, как правило, не рассматривается распределения давлений и скоростей в отдельных точках пространства, основан на использовании некоторых осредненных и суммарных (интегральных) характеристик потока. Другой метод математической гидродинамики дает возможность представить поток в виде скалярного поля давлений и векторного поля скоростей, что позволяет определять интересующие нас величины давлений и скоростей, относящимися к отдельным точкам пространства. При решении практических задач приходится сочетать приемы технической гидродинамики жидкости с приемами математической механики жидкости.

Методика преподавания дисциплины «Механика жидкости и газа» использует приемы технической механики жидкости с приемами математической механики жидкости. Раскрывая сущность интегральных зависимостей, относящихся к технической гидродинамике, дает возможность получать точечные характеристики потока, подробно изучаемыми в математической гидродинамике [1].

Моделирование течения потока жидкости в лупинге (вспомогательный трубопровод, присоединяемый параллельно к основному трубопроводу на некоторой длине с целью увеличения пропускной способности) позволяет снять трудности в понимании внутренних процессов, протекающих в трубопроводах при течении жидкости. С этой целью была создана трёхмерная модель участка трубопровода с лупингом на которой проведено численное моделирование течения жидкости.

Для визуализации процессов, происходящих при течении жидкости в трубопроводе, было использовано программное обеспечение ANSYS CFX, находящееся в открытом доступе. Программный пакет ANSYS CFX [2], предназначен для моделирования поведения различных сред, позволяет решать инженерные задачи. С помощью анализа методом конечных элементов (FEA), поддерживаемого программой, возможно настраивать и автоматизировать решения задач, возникающих в различных сферах научных исследований и производства. При помощи ANSYS CFX становится возможной визуализация многих физических явлений и эффектов. При этом, в большинстве случаев, данные, полученные в ходе исследований репрезентативны и с некой погрешностью совпадают с реальными значениями. В связи с этим данный программный пакет является мощным инструментом для эффективного и более глубокого изучения учебного материала, так как даёт максимально наглядное и подробное представление об изучаемых явлениях и эффектах. С помощью ANSYS CFX обучаемый имеет возможность создать модель и, в кратчайшие сроки, получить результат исследования без проведения натурного опыта.

Примером таких результатов является поле скоростей в потоке жидкости на участке трубопровода с лупингом.

Схема исследуемого участка трубопровода представлена ниже на рис.1а, на которой размеры нанесены в миллиметрах, вынос лупинга равен 95 миллиметров, диаметр основной нити трубопровода равен 100 миллиметров, диаметр нити лупинга равен 50 миллиметров. Материал труб – алюминий 1060-H12 (нагартованный).

При проведении исследования был выделен следующий алгоритм действий:

1. Создание трехмерной модели рассматриваемого объекта.
2. Создание и выбор типа сетки.
3. Установка граничных условий, таких как вакуумметрическое давление на выходе из главного трубопровода, определение вида протекающей жидкости и выбор модели турбулентности.
4. Обработка, интерпретация и визуализация результатов исследования.

Трёхмерная модель исследуемого участка была сделана в программном пакете SolidWorks и представлена ниже на рис.1 б).

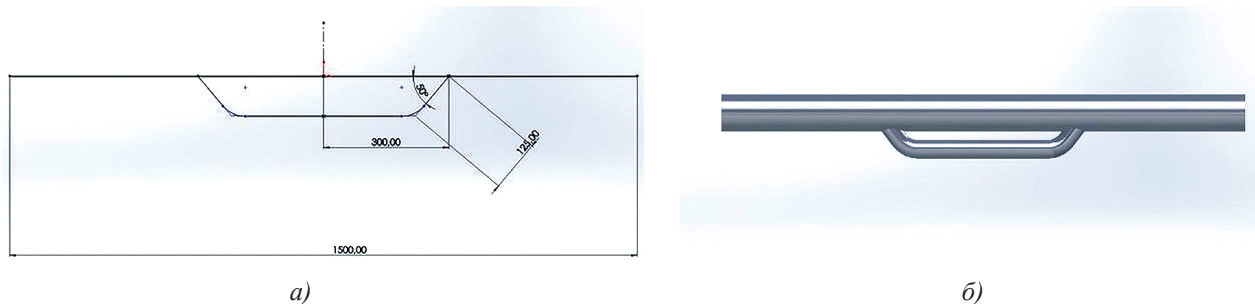


Рисунок 1 – а) схема исследуемого участка трубопровода;  
б) трёхмерная модель исследуемого участка трубопровода

Тип сетки принят тетраэдрический с 5 призматическими слоями. Количество ячеек, на которые был разбит объект - 476106, с размером ячейки в 5 миллиметров. В области пограничного слоя каждый слой толще предыдущего на 20 процентов. Для более точных вычислений в местах присоединения дополнительной нити трубопровода было применено дополнительное измельчение сетки, размер ячеек в таких локациях составляет 2 миллиметра. Визуальное представление сетки изображено ниже на рис. 2 а), б), в)

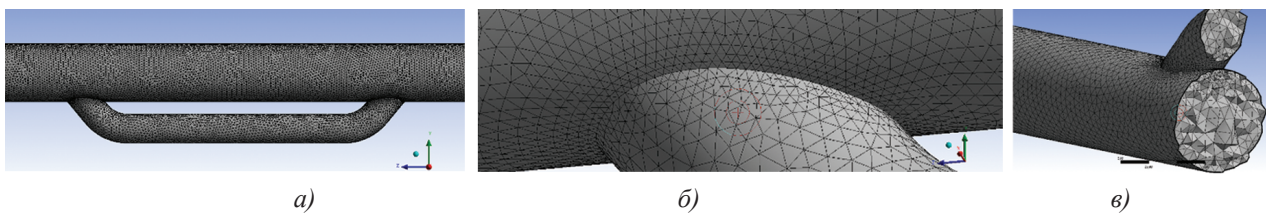


Рисунок 2 – а) общий вид трёхмерной модели с сеткой;  
б) сетка в местах соединения трубопроводов; в) трёхмерная сетка внутри модели трубопровода

Граничные условия для задачи представлены ниже:

1. Тип анализа – квазистационарный (Steady State).
2. В качестве жидкости была выбрана условно несжимаемая вода в однофазном состоянии при 20 градусах Цельсия.
3. Критерий сходимости равен 0,00001.
4. В ходе проведения расчётов было выполнено 250 итераций.
5. В качестве модели турбулентности была выбрана дифференциальная модель турбулентности с двумя уравнениями. В данной модели строятся два дополнительных дифференциальных уравнения переноса для осредненных пульсационных характеристик, через которые выражается коэффициент турбулентной вязкости.

6. Расход на входе в основном трубопроводе равен 10 килограммам в секунду.

7. Шероховатость внутренних стенок трубопровода равна 0,4 микрометра.

Для определения качества работы соединений трубопроводов проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX.

На рис.3а показано векторное поле скоростей в лупинге, по которому видно, что в трубопроводе меньшего диаметра, средняя скорость воды не превышает 0,75 метров в секунду, что почти в два раза меньше, чем средняя скорость в основной нити трубопровода.

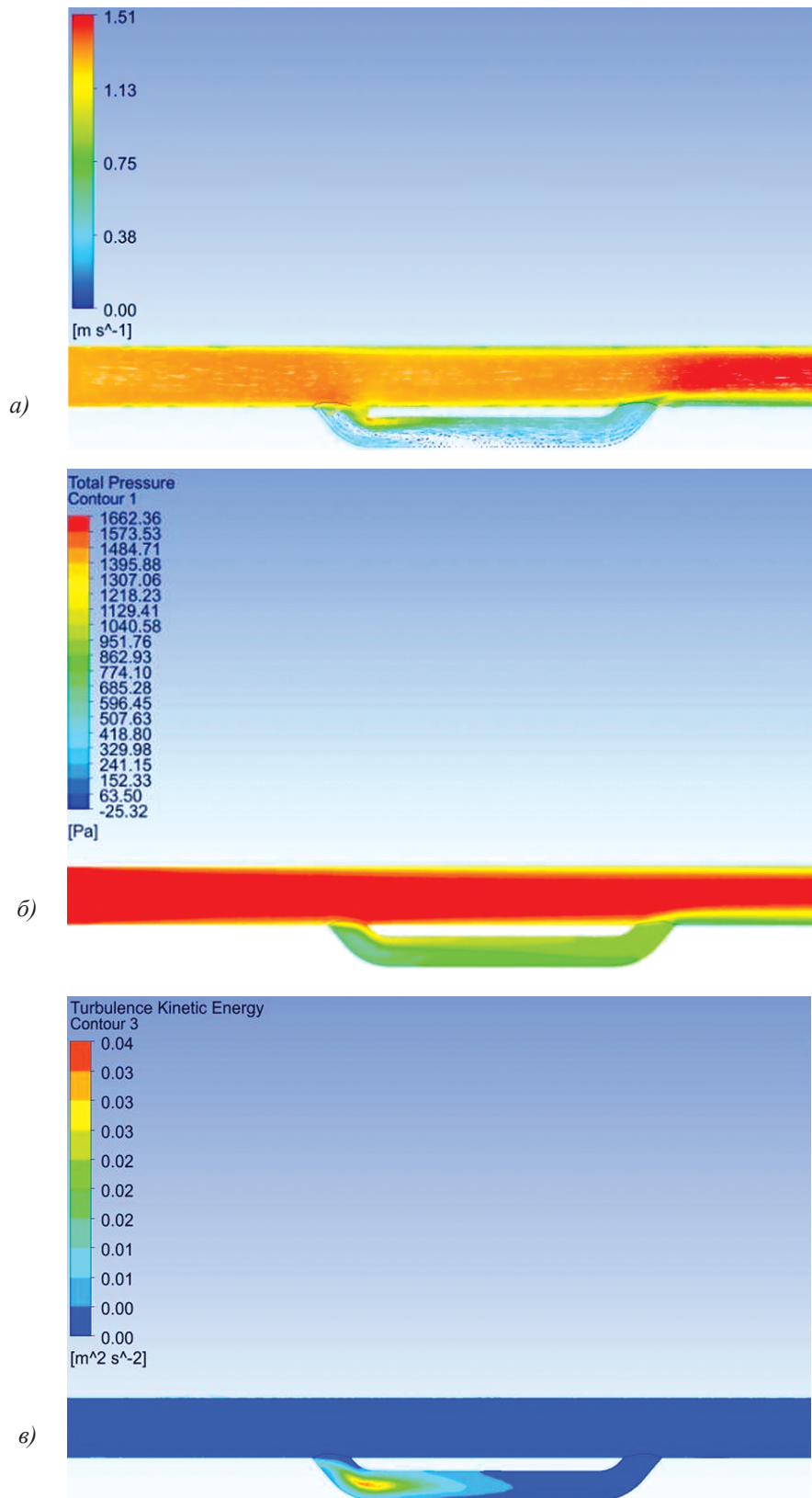


Рисунок 3 – а) векторное поле скоростей;  
б) распределение полного (статического) давления по трубопроводу; в) демонстрация зон турбулентности

Таким образом, выполнено моделирование течения потока жидкости в лупинге на трехмерной модели исследуемого участка трубопровода. Проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX. Полученные распределение полного(статического) давления по трубопроводу, векторное поле скоростей и зоны турбулентности позволяют оценить качество работы соединений трубопроводов и количественные характеристики для практических расчетов. Показан пример использования численного моделирования течения потока в учебном процессе для анализа гидравлических потерь и повышения энергоэффективности трубопроводных систем.

Использование ANSYS CFX как средство расчёта и анализа течения в областях сложной формы в учебном процессе обладает целым рядом преимуществ. Пакет совместим с операционными системами большинства компьютеров – это могут быть персональные компьютеры, рабочие станции, суперкомпьютеры. Отличительной чертой подобных комплексов можно назвать файловую совместимость всех электронных документов программного комплекса со всеми используемыми платформами. Из-за многоцелевой направленности и ориентированности появляется возможность использовать одну и ту же модель для решения не только гидродинамических задач, но и задач на прочность, задач по расчету температурных полей, влиянию магнитных полей и др. При создании модели на персональном компьютере, можно использовать её и на суперкомпьютере, что даёт всем пользователям программного комплекса хорошие возможности для решения разнообразного спектра сложных инженерных задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов М.А. Механика жидкости и газа. Расчет вязкого течения в типовых элементах гидромашин : учеб. пособие / М.А. Арбузов, А.А. Жарковский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с.
2. <https://www.ansys.com/>

### СИНТЕЗ И ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ZnO ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

### SYNTHESIS AND PLASMA MODIFICATION OF NANOSTRUCTURED ZnO-BASED PHOTOCATALYSTS FOR PHOTODEGRADATION OF PHARMACOLOGICAL WASTE

**А. В. Медведский<sup>1,2</sup>, А. А. Щербович<sup>1,2</sup>, И. И. Филатова<sup>3</sup>,  
В. А. Люшкевич<sup>3</sup>, Н. А. Савастенко<sup>1,2</sup>, С. А. Маскевич<sup>1,2</sup>  
А. V. Miadzvetski<sup>1,2</sup>, A. A. Shcherbovich<sup>1,2</sup>, I. I. Filatova<sup>3</sup>,  
V. A. Lyushkevich<sup>3</sup>, N. A. Savastenko<sup>1,2</sup>, S. A. Maskevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
[kfm@iseu.by](mailto:kfm@iseu.by), [aleksandr.miadzvetski@iseu.by](mailto:aleksandr.miadzvetski@iseu.by)

<sup>3</sup>Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси»  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>B. I. Stepanov Institute of Physics

В настоящей работе исследована кинетика реакций фотодегградации кофеина в присутствии катализаторов на основе наноструктурированного оксида цинка.

The kinetics of caffeine photodegradation is investigated in the presence of nanostructured ZnO-based catalysts.

**Ключевые слова:** фармакологические отходы, плазма, фотокатализатор, ZnO, фотодегградация, кофеин, диэлектрический барьерный разряд, обработка в плазме.

**Keywords:** pharmacological waste, plasma, photocatalyst, ZnO, photodegradation, caffeine, dielectric barrier discharge, plasma treatment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-281-285>