

MPHTI 27.35.21

Д.М. Телагисова<sup>1</sup> (Orcid - 0000-0002-9905-9197) – основной автор,  
А.А. Исахов<sup>2</sup> (Orcid - 0000-0002-7539-6826)

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан,  
<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>[danatelagisova@gmail.com](mailto:danatelagisova@gmail.com), <sup>2</sup>[alibek.issakhov@gmail.com](mailto:alibek.issakhov@gmail.com)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

**Аннотация.** Работа посвящена изучению численного моделирования аварийного разлива нефти и нефтепродуктов в реке Урал, распространение этого загрязнения в Каспийском море в зависимости от начальных условий, а также вычисление площади распространения нефтяного пятна за определенный период времени. Для решения использовалась математическая модель процесса загрязнения и распространения нефтяного пятна. Для изучения логики основной задачи были выполнены тестовые задачи, которые изучают моделирование смешивания различных потоков, а также показывают анализ результатов и их сравнение с другими исследованиями. Результаты основного исследования аварийного разлива нефти в Каспийское море через реку Урал показали возможную область загрязнения при различных условиях разлива и тесное влияние площади загрязнения Каспийского моря от скорости течения реки.

**Ключевые слова:** загрязнение воды, аварийный разлив, нефтяное пятно, уравнения Навье-Стокса, Каспийское море, река Урал, математическая модель, турбулентность.

**Введение.** С древних времен населения формировались близ водоемов, рек и водных ресурсов, что сохраняется по сей день. Каспийское море не исключение, так как для населения его прибрежных стран ценность бессточного моря и его бассейна очень велика. Важную роль для экономики стран Каспийского региона играют такие отрасли, как высокоразвитое рыбное хозяйство, сельское хозяйство, гидроэнергетическая, нефтегазодобывающая и химическая промышленности, и другие. Также в недрах Каспия сосредоточены огромные запасы природных ресурсов, в частности нефти и газа [1]. В настоящее время Каспийское море страдает многими проблемами, исходящие от негативного влияния всей деятельности человека. Как и большая часть планеты, Каспийский регион подвергается к загрязнению выбросами, отходами и различным мусором. В данной исследовательской работе изучается загрязнение именно северной части Каспийского моря путем аварийного разлива нефтепродуктов в реку Урал.

Целью данного исследования является анализ экологического состояния Каспийского моря, численное моделирование загрязнения Каспийского моря нефтепромышленными продуктами, именно бензолом, переносимых течением реки Урал и вычисление площади распространения нефтяного пятна, с разными начальными условиями задачи. А также, проведение тестовых задач для получения результатов экспериментальных данных исследований.

Загрязнение водных ресурсов: озер, океанов, морей, рек и так далее - одна из самых актуальных проблем на данный момент, так как на берегах строят немалое количество заводов. В данной статье на примере

рассматриваются водные ресурсы Атырауской области Республики Казахстан, где роль нефтегазовой промышленности в развитии региона является первостепенной. Известно, что это воздействует на среду бессточного моря, который включает в себя постоянные утечки из затопленных шахт и аварийные разливы [2]. Также известно то, что индекс промышленного производства области составил 103.6% за счет увеличения объемов добычи сырой нефти [3]. Река Урал, которая впадает в Каспийское море и обеспечивает всем заводам, как ТОО «Тенгизшевройл», Атырауский нефтеперерабатывающий завод и других, возможные аварийные разливы этих предприятий [4]. Всё это пагубно влияет на окружающую водную среду и всех ее обитателей, потому что химические продукты всячески мешают росту различных видов морских растений, портят содержание воды и ее оригинальный оттенок, замедляют размножение всех видов, обитающих под водой, животных и иногда приводит даже к их вымиранию. Например, в 2019 году погибло более 63 тонн рыбы, что нанесло ущерб государству и жителям города Атырау [5]. Более того, с водами Волги, Куры, Терека и Урала загрязняющие вещества попадают в море и распространяются по всей акватории Каспийского моря. Тем самым, большой процент токсичных веществ накапливается в донных отложениях [6]. Все перечисленные причины негативного влияния загрязнения водных ресурсов иной раз подчеркивают актуальность и необходимую заостренность внимания на данную проблему.

Существует много различных причин разливов нефти, такие как: человеческие ошибки, транспортные аварии, случайный или намеренный сброс отходов, изношенность оборудования и т.д. [7]. При аварийном разливе нефти необходимо провести незамедлительную очистку, чтобы остановить распространение нефти. Поскольку у нефти плотность меньше, чем у воды, она остаётся на поверхности моря, а это упрощает процесс очищения. Известны несколько методов очистки нефти. Одним из популярных является использование нефтяных бонов, но применяется только в первые часы после разлива и для площади небольшого размера [8, 9]. Данный способ эффективен, однако его минус то, что скиммеры легко забиваются при наличии мусора. А современные ученые изучают межфазное разделение нефти и воды путем создания материалов с супергидрофобным и супергидрофильным покрытием [10]. Еще одним способом, который устраняет до 98% разлива нефти, является безопасное сжигание масла. Он применим, когда пятно уже больших размеров [11]. Отрицательным фактором является образование токсичных частиц в воздухе при сжигании, что приносит вред окружающей среде [12].

Чтобы нефтяная отрасль могла сохранить состояние окружающей среды Каспийского моря экологически приемлемой, экономически целесообразной и оптимальной, необходимо провести гидротермальный анализ расхода загрязнения воды. Необходимо рассматривать некоторую группу сценариев технических аварий для каждого объекта нефтегазовой отрасли и ее инфраструктуры со множеством случаев, связанных со сбросом нефти и нефтепродуктов в водную среду, которые представляют потенциальную угрозу экологической безопасности для Каспийского региона [13].

**Математическая модель.** Как уже известно, благодаря положительной плавучести происходит быстрое распространение нефти по поверхности водоема уже на начальной стадии разлива. Скорость распространения

зависит от физических свойств нефти в данных гидрометеорологических условиях. Этот процесс длится от нескольких минут до нескольких дней, в зависимости от объема нефти.

В области нефтяного пятна из-за воздействия ветра и потоков происходит перенос поля загрязнения поверхности и ее деформация. В турбулентном потоке происходит перемежаемость, что означает чередование или сменяемость от ламинарной до турбулентной формы [14]. Движение нефтяных капель в воде идентична тем же факторам, что и нефтяное пятно [15, 16].

Исходя из того, что в данной статье изучается аварийный разлив нефти и нефтепродуктов на водные поверхности, математическая модель имеет следующий вид [17]

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial(-\overline{\rho u_i' u_j'})}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j T}{\partial x_j} = \frac{\partial(-\overline{\rho u_j' T'})}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( D \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j S}{\partial x_j} = \frac{\partial(-\overline{\rho u_j' S'})}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( D \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

$u, v, w$  - компоненты вектора скорости,  $x, y, z$  - Декартовы координаты точек,  $t$  - время,  $\rho$  - плотность,  $T$  - температура,  $S$  - концентрация.

**Численный алгоритм.** Для численного расчета был взят стандартный широко распространенный алгоритм SIMPLE решения уравнений Навье-Стокса. Этот нестационарный алгоритм делится на следующие действия:

1. Идентификация начального поля давления  $p^0$  и пункт назначения  $p^* = p^0, t = 0$ .
2. Нахождение начальных скоростей  $u^0, v^0, w^0$ .
3. Вычисление  $u^*, v^*, w^*$  решая уравнения движения.
4. Решение уравнений  $p'$  и вычисление  $p$  добавляя  $p'$  к  $p^*$ .
5. Нахождение  $u, v, w$  из  $u^*, v^*, w^*$  используя формулы коррекции скорости.
6. Если  $|p'|$  мала во всех узлах расчетной сетки, то  $p^0 = p, u^0 = u, v^0 = v, w^0 = w, t = t + \Delta t$ . В противном случае найти  $p = p^*$  и вернуться на шаг 3.
7. Если  $t < T_{max}$ , то вернуться на шаг 3.

**Реализация тестовых задач.** Первая 2D тестовая задача необходима для выполнения основной задачи, так как экспериментальные данные и вычисления являются основой метода получения численного моделирования исследовательской работы.

Целью исследования в статье является получение модели распространения струи воздуха со скоростью  $V_0=11.969$ м/с и с температурой 354К в ограниченный поток канала со скоростью  $V_1=2.005$ м/с и с температурой 298К. Геометрия 2D модели показана на рисунке 1 [18, 19]. В дополнении, к этим статьям была взята статья исследования термического загрязнения электростанции на реке Иртыш, где также выполнялась данная тестовая задача [20].

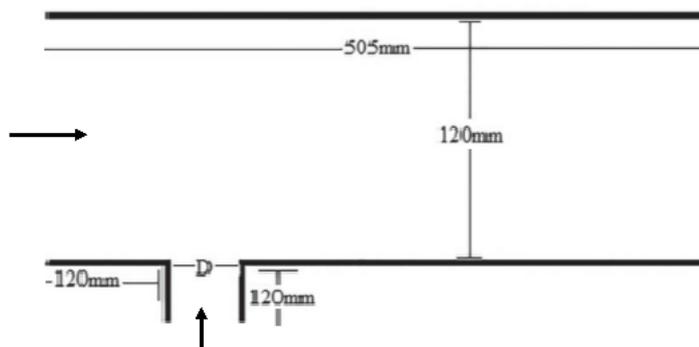


Рис. 1. Схема построения геометрии тестовой задачи

Все данные модели были взяты в точности со статьи, с учетом всех начальных и граничных условий. Построение объекта осуществляется с помощью геометрии SpaceClaimDirectModeler, где понятнее разобраться с точностью размеров и разделением областей. Далее выполняется построение сетки для полученной геометрии. Данный объект разделяется на две части: основной горизонтальный канал и струйный вертикальный канал. Общее количество элементов геометрии составляет 59250, а число узлов 60482.

Следующим этапом указываются начальные и граничные условия задачи. Также выбирается SSTk-omega для турбулентности потока. На рисунке 2 иллюстрируется результат вычисления в виде контура температуры по всей области модели.

Строятся три разных профиля с помощью функции Line, где отмечаются координаты линии, которые вычисляются с помощью данных X/Дравных 2, 6 и 10. Данные линии отмечены на рисунке 3. Эти графики линий необходимы для сравнения уже полученных результатов исследователей в статьях.

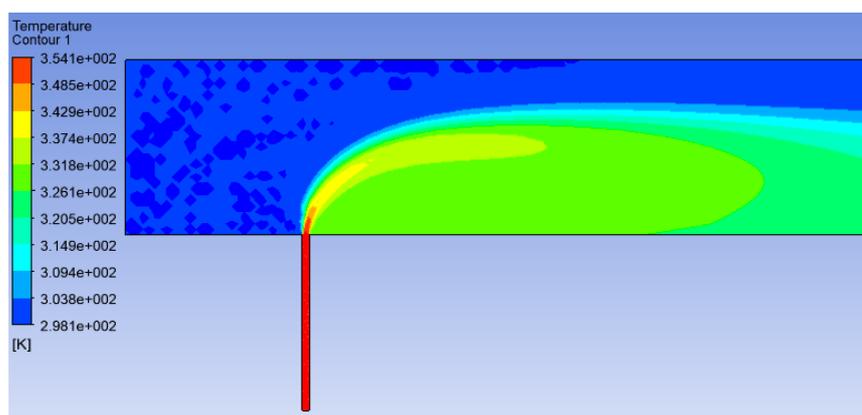


Рис. 2. Контур температуры объекта

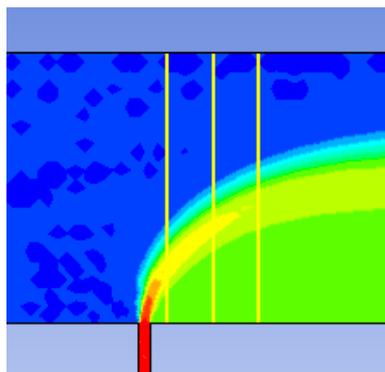


Рис. 3. Расположение выбранных линий для графиков

Во второй тестовой задаче изменяется конструкция геометрии, а также условия температуры и скорости потоков (Рисунок4). Точнее, меняются длина струйного канала на 20 мм и его угол направления на 60 градусов, также добавляется симметричный струйный канал наверху объекта с одинаковой скоростью равной 13.745 м/с и температурой  $T=333\text{K}$ . Помимо этого, в горизонтальном канале изменяется скорость потока на 2.37 м/с и температура  $T=297\text{K}$  [18, 20].

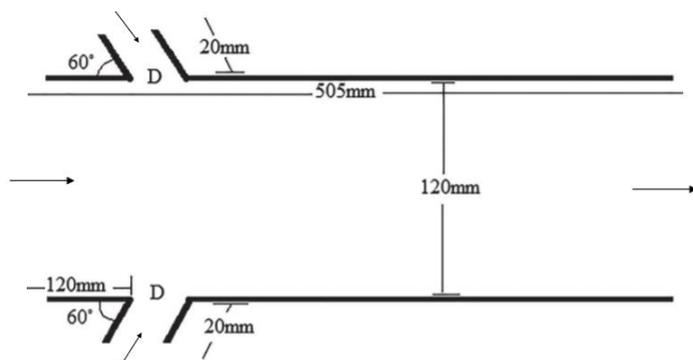


Рис. 4. Схема построения геометрии второй тестовой задачи

Все данные второй модели были взяты в точности со статьи, с учетом всех начальных и граничных условий. Общее количество элементов геометрии сетки составляет 60800, а число узлов 61466. Все проделанные действия остаются, как и в первой тестовой задаче, за исключением указания измененных начальных условий, как температура, скорость. Стоит отметить, что скорости струй указываются с изменением угла потока, с помощью формул:

$$X = V_j \cos 60^\circ \quad (4)$$

$$Y = V_j \sin 60^\circ \quad (5)$$

Расчет проводится также и занимает некоторое время. Кроме того, определенные 3 линии выбраны для получения графиков, а именно координаты  $X/D=3, 9, 15$ , что показано на рисунке 6. В дальнейшем эти вычисления сравниваются с результатами статьи и других исследований.

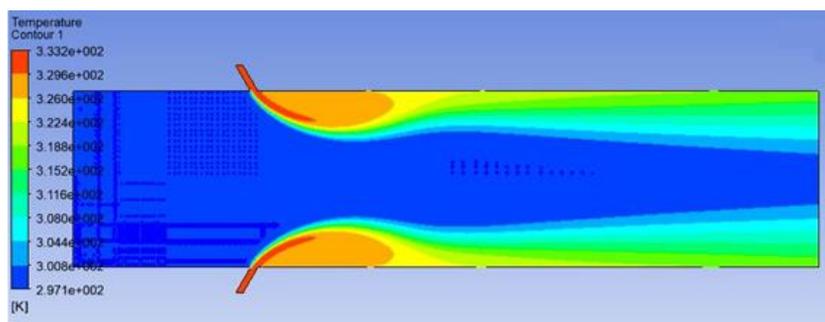


Рис. 5. Контур температуры объекта второй задачи

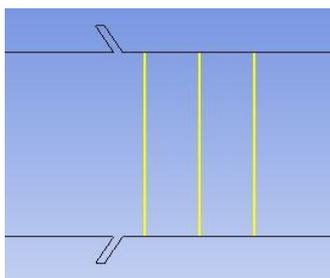
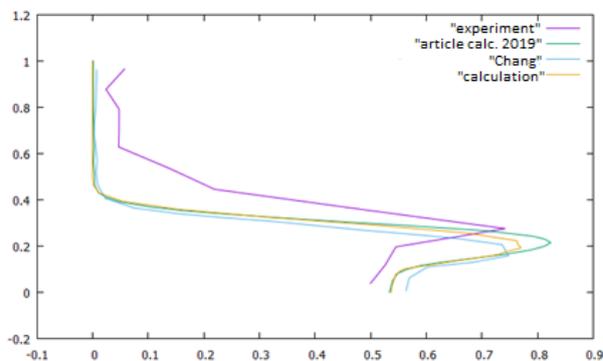


Рис. 6. Расположение линий для графиков тестовой второй задачи

Все графики из статей [18-20] оцифровываются с помощью программы GetData. Затем, на график выводятся все три оцифрованных графиков: экспериментальный, результат Чанга [18] и результаты вычислений статьи [20]. А также, выведенные результаты добавляются к ним. Общие графики температур модели с одним струйным каналом изображены на рис. 7, 8 и 9.

Таким же способом выводятся графики для второй тестовой задачи, а именно общие графики скорости  $U$  трех результатов: результат Чанга [18], результат вычислений статьи [20] и ранее полученные результаты.

В заключении, сравнив все выше продемонстрированные графики, проведенные тестовые задачи, а точнее их результаты, показывают схожесть значений и поведения модели с результатами других исследований. Анализируя результаты двух тестовых задач появляется вывод в том, что задача с двумя симметричными струями приводит к лучшему тепловому смешиванию при большей турбулентности.

Рис. 7. График температуры модели с одной струей на  $X/D=2$

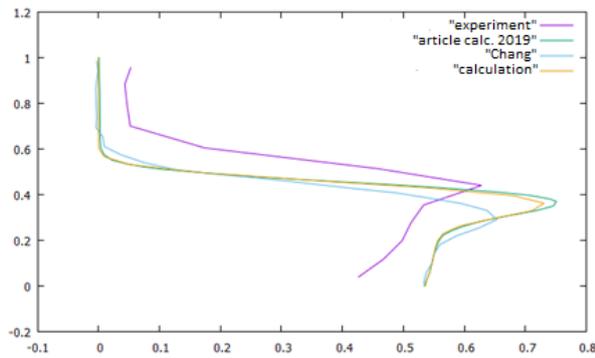


Рис. 8. График температуры модели с одной струей на  $X/D=6$

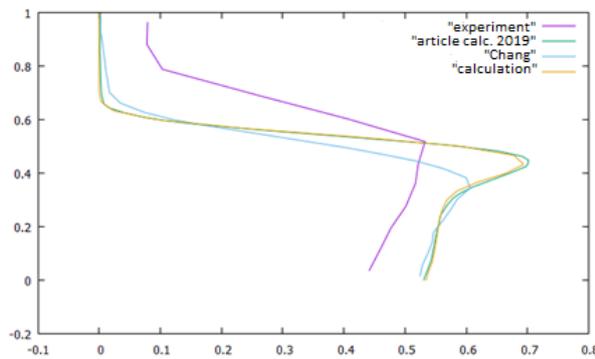


Рис. 9. График температуры модели с одной струей на  $X/D=10$

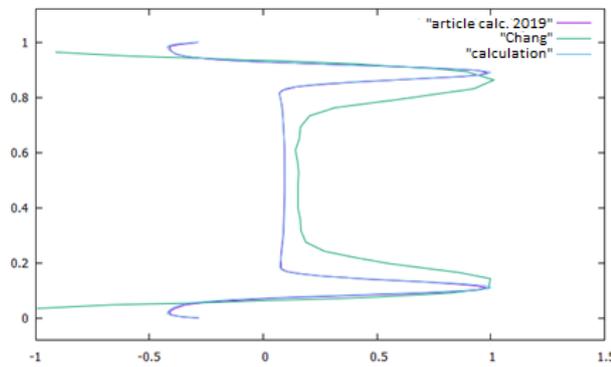


Рис. 10. График скорости модели с двумя струями на  $X/D=3$

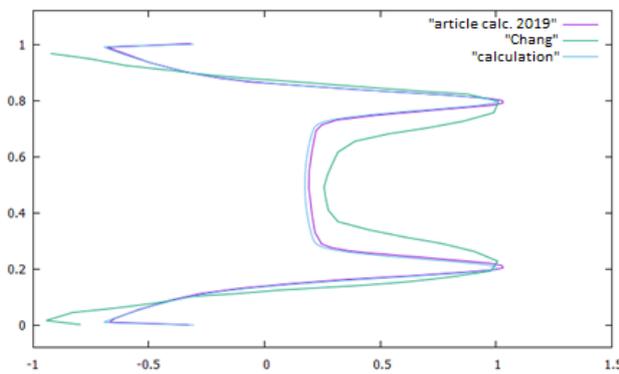
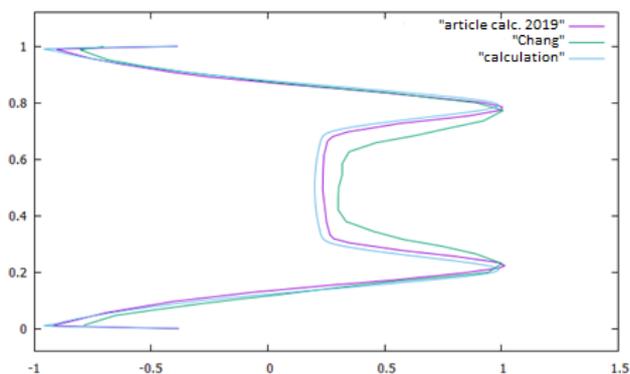


Рис. 11. График скорости модели с двумя струями на  $X/D=9$

Рис. 12. График скорости модели с двумя струями на  $X/D=15$ 

**Реализация основной задачи.** Для получения геометрии часть Каспийского моря была вырезана из карты Яндексa. Данная геометрия северной части Каспийского моря отображена на рисунке 13. Следует отметить тот факт, что геометрия в реальных размерах равняется максимально по горизонтали 190 км, по вертикали около 107 км, а ширина реки Урал в пределах 150-228 м.

После получения геометрии происходит переход к построению сетки для нее, что является одним из важных этапов, поскольку все это зависит от результатов расчета. Общее количество элементов геометрии составляет 268040, а число узлов 275681. На рисунке 14 изображена приближенная сетка границ реки Урал. Отдельные области с разными шагами были построены для реки Урал и Каспийского моря.

Далее, для проверки корректности модели были проведены три эксперимента с тремя скоростями реки Урал: 0.5, 1.0 и 2.0 м/с, которые являются граничными условиями в этой задаче. А температура установлена 305.15 К для бензола и для воды 293.15К. Более того, бензол заливают в реку Урал, поэтому для расчетов концентрация была равна 5.3%, а остальное занято водой – 94.7%. Каждый из трех экспериментов был запущен для расчета трех дней, что означает более 86 640 итераций и более 1420 временных шагов.

Первое исследование со скоростью течения 0.5 м/с. Ниже показан контур концентрации бензола и захваченная им площадь Каспия за 3 дня. Также при скорости течения реки 1.0 и 2.0 м/с. Все полученные контуры концентрации всех трех экспериментов показаны на рисунках 15-17. Благодаря, гидродинамической турбулентности в контурах видны полученные вихри потоком смешивания бензола с водой.

Более того, на каждом полученном результате построены одинаковые линии. На рисунке 18 показывается полная визуализация модели загрязнения относительно всей взятой площади Каспийского моря. Таким же площадь Каспия, которая равняется 19545 кв км. Все вычисленные данные площади собраны в Таблице 1, в добавок, указываются процентное соотношение площади загрязнений относительно всей выбранной территории Каспийского моря. Также, для наглядности на рисунке 19 изображен график, где меняется площадь в зависимости от скорости течения.

Подводя итог, можно сказать, что скорость течения реки Урала имеет большое влияние на загрязнение Каспийского моря, то есть чем больше

скорость реки, тем больше площадь распространения загрязнения на поверхности воды.

Таблица 1

Полученные результаты площади загрязнения

Скорость течения (м/с)	Площадь загрязнения (м <sup>2</sup> )	Процентное соотношение (%)	Концентрация бензина (С6Н6)
0.5	1.7812e+007	0.0912	0.053
1.0	4.0112e+007	0.2054	0.053
2.0	9.4454e+007	0.4837	0.053

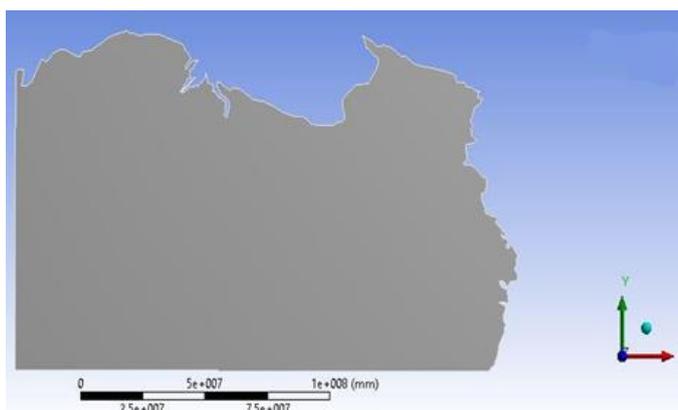


Рис. 13. Итоговая геометрия основной задачи

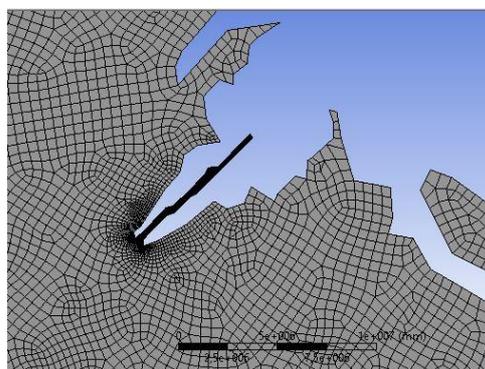


Рис. 14. Результат сетки для реки Урал

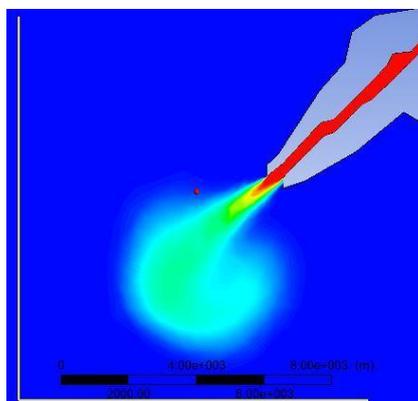


Рис. 15. Результаты расчета при скорости 0.5 м/с

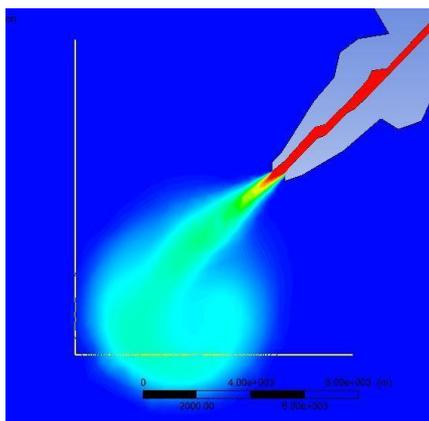


Рис. 16. Результаты расчета при скорости 1.0 м/с

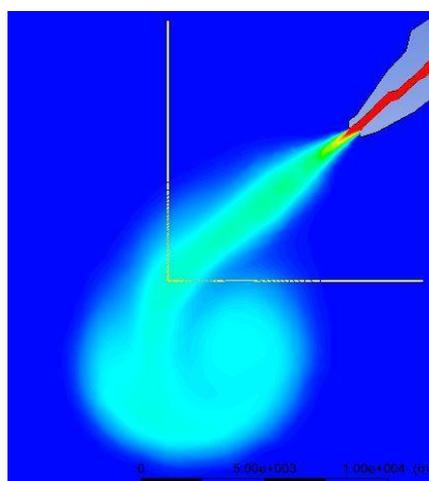


Рис. 17. Результаты расчета при скорости 2.0 м/с

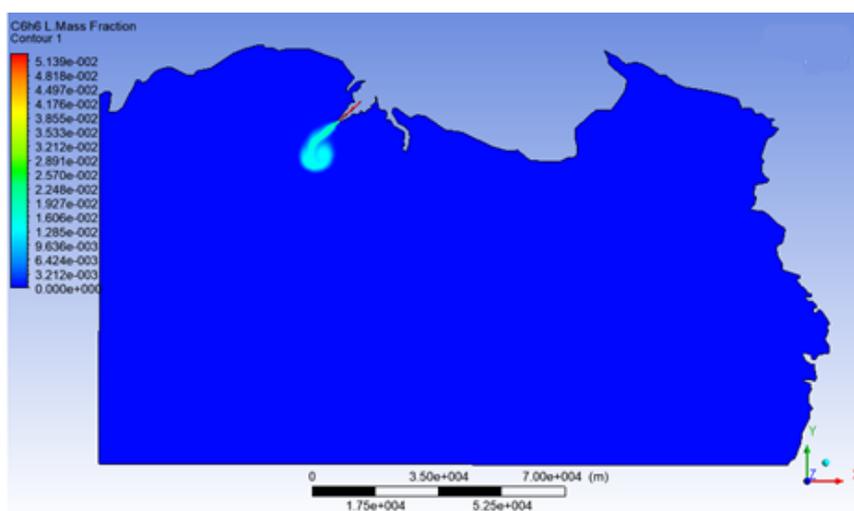


Рис. 18. Результаты со скоростью течения реки 2.0 м/с

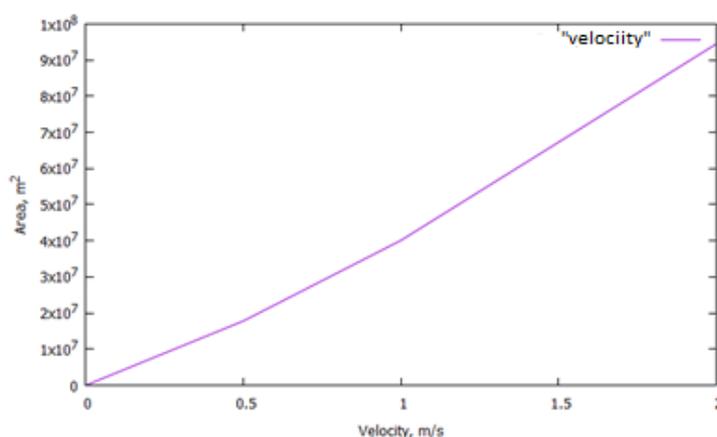


Рис. 19. График изменения площади в зависимости от скорости реки

**Заключение.** В ходе выполнения исследовательской работы было получено численное моделирование аварийного разлива нефти и нефтепродуктов в реке Урал с дальнейшим его распространением в Каспийском море. Следовательно, достигнута поставленная цель этой работы. Кроме того, проведены анализы изучения темы нефтепромышленного загрязнения, также анализ численных результатов с экспериментальными данными.

Исходя из результатов тестовых задач можно прийти к заключению о том, что все полученные графики задач демонстрируют схожесть значений модели и поведение ее смешивания. Представленные выше заключения тестовых задач внесли вклад на выполнение основной задачи и численное вычисление ее результатов.

В заключении, данная тема статьи напрямую относится к загрязнению окружающей среды, поэтому решением этой проблемы является очистка загрязняемой территории от химических продуктов и контроль его содержания.

#### Список литературы

1. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. – М.: Триада лтд, 2016. – 378 с.
2. CEP. Transboundary diagnostic analysis revisit. - 2007, December.
3. Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан. Итоги работы промышленности [Электронный ресурс]. – Статистика промышленного производства. – 2020, январь. – Режим доступа: <https://stat.gov.kz/official/industry/151/statistic/6>.
4. Ручевская И., Митрофанов И., Гучгельдиев О., Емелин В. и Крутов А. Каспийское море. Состояние окружающей среды. – 2011. – 110 с.
5. Омаров Е. 63 тонны погибшей рыбы собрали на реке Урал в Атырау // Мой ГОРОД. – 2019, январь.
6. TACIS. Caspian Water Quality Monitoring and Action Plan for Areas of Pollution Concerns. – 2009, august.
7. Ye X., Chen B., Lee K., Storesund R. & Zhang B. An integrated offshore oil spill response decision making approach by human factor analysis and fuzzy preference evaluation. Environmental Pollution. – 2020. - 114294.
8. Fang F. & Johnston A. J. Oil Containment by Boom in Waves and Wind. I: Numerical Model // Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, - 2001a. - 127(4). - P. 222–227.

9. AzinAmini& Anton J. Schleiss. Numerical Modeling of Oil-Water Multiphase Flow Contained by an Oil Spill Barrier. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2009. - 3:2. – P. 207-219.
10. Tang L., Wang G., Zeng Z., Shen L., Zhu L., Zhang Y. & Xue Q. Three-dimensional adsorbent with pH induced superhydrophobic and superhydrophilic transformation for oil recycle and adsorbent regeneration. Journal of Colloid and Interface Science. – 2020.
11. Daae R.L. et al. The sensitivity of the surface oil signature to subsurface dispersant injection and weather conditions // Marine Pollution Bulletin 127. – 2018. – P. 175–181.
12. Afshar-Mohajer N. et al. Impact of dispersant on crude oil content of airborne fine particulate matter emitted from seawater after an oil spill // Chemosphere 256. – 2020. – 127063.
13. Zatsepa S.N., Diansky N.A., Zhuravel V.I., Korotenko K.A., Solbakov V.V. Simulation of oil spills in the sea for planning measures to ensure environmental safety in oil and gas projects. Part 1. Methodology // Arctic and Antarctic Issues. – 2015. – № 4 (106). – P. 26-38.
14. Носов М.А. Общефизическое и гидродинамическое определения турбулентности. Турбулентные и ламинарные течения // Статическая гидромеханика и океаническая турбулентность. – 2009. – С. 3-8.
15. Zhilnikova N.A., Matelenok I.V., Smirnova A.S. and Smirnova V.O. Special aspects of modeling on accidental oil spills in inland sea waters. – Saint-Petersburg, 2019.
16. Лебедев С.А. Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами черного и каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов. – Москва, 2009. – С. 6-9.
17. Исахов А.А. Математическое и компьютерное моделирование физических процессов. – Алматы, 2018. – С. 253-264.
18. Chang Y. R. & Chen K. S. Prediction of opposing turbulent line jets discharged laterally into a confined crossflow // Heat Mass Transfer. – Taiwan, 1995. – Vol. 38, No. 9. – P. 1693-1703.
19. Chen K.S. and Hwang J.Y. Experimental study on the mixing of one- and dual-line heated jets with a cold crossflow in a confined channel // AIAA. – 1991. – Vol. 29. – P. 353-360.
20. Issakhov A. and Zhandalet Y. Numerical simulation of thermal pollution zones formations in the water environment from the activities of the power plant // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2019. – Vol. 13, No. 1. – P. 279-299.

Материал поступил в редакцию 16.04.22.

**Д.М. Телагисова<sup>1</sup>, А.А. Исахов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан,  
<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

#### **СУ КӨЗДЕРІНЕ МҰНАЙ ЖӘНЕ МҰНАЙ ӨНІМДЕРІНІҢ АПАТТЫҚ ТӨГІЛУІН САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

**Аннотация.** Жұмыс Жайық өзеніндегі мұнай мен мұнай өнімдерінің апаттық төгілуін сандық модельдеуді, осы ластанудың Каспий теңізінде бастапқы жағдайларға байланысты таралуын, сондай-ақ белгілі бір уақыт кезеңіндегі мұнай дақтарының таралу аймағын есептеуге арналған. Шешу үшін мұнай дақтарының ластануы мен таралу процесінің математикалық моделі қолданылды. Негізгі тапсырманың логикасын зерттеу үшін әртүрлі ағындарды араластыруды модельдеуді зерттейтін, сонымен қатар нәтижелерді талдауды және оларды басқа зерттеулермен

салыстыруды көрсететін тест тапсырмалары орындалды. Жайық өзені арқылы Каспий теңізіне мұнайдың авариялық төгілуін негізгі зерттеу нәтижелері төгілудің әртүрлі жағдайларында ластанудың мүмкін болатын аймағын және Каспий теңізінің ластану алаңының өзен ағысының жылдамдығынан тығыз әсерін көрсетті.

**Тірек сөздер:** судың ластануы, авариялық төгілу, мұнай дақтары, Навье-Стокс теңдеулері, Каспий теңізі, Орал өзені, математикалық модель, турбуленттілік.

**D.M. Telagisova<sup>1</sup>, A.A. Isakhov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

#### **NUMERICAL SIMULATION OF AN EMERGENCY SPILL OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS ON WATER SURFACES**

**Abstract.** This research studies numerical modeling of an accidental spill of oil and oil products in the Ural River, the spread of this pollution in the Caspian Sea depending on the initial conditions, as well as the calculation of the area of distribution of an oil slick over a certain period of time. For the solution, a mathematical model of the pollution process and the spread of an oil slick was used. To study the logic of the main task, test tasks were performed that study the modeling of the mixing of various flows, and also show the analysis of the results and their comparison with other studies. The results of the main study of the accidental oil spill into the Caspian Sea through the Ural River showed the possible area of pollution under different conditions of the spill and the close influence of the area of pollution of the Caspian Sea on the speed of the river flow.

**Keywords:** water pollution, emergency spill, oil slick, Navier-Stokes equations, Caspian Sea, Ural River, mathematical model, turbulence.