

УДК 532.5

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВОДНЕНИЯ В ПОЙМЕ РЕКИ НАРЫН ВБЛИЗИ ГОРОДКА ШАМАЛДЫ-САЙ

Курбаналиев¹ А.Ы., Калмурзаева² А. Т.

¹Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан

²Кызылский гуманитарно-педагогический институт Баткенского государственного университета, г. Кызыл-Кыя, Кыргызстан

В данной работе рассмотрена задача численного моделирования возможного наводнения в местности около городка Шамалды-Сай в пойме реки Нарын, Кыргызстан в рамках открытого пакета вычислительной гидродинамики OpenFOAM. Моделирование трехмерного нестационарного двухфазного (вода и воздух) течения основано на полных уравнениях Навье-Стокса - RANS, дополненными с соответствующими моделями турбулентности. Положение границы раздела воды и воздуха определялось при помощи метода объема жидкости – VOF.

Ключевые слова. Наводнение, Нарын, двухфазное течение, нестационарность, RANS уравнения, модели турбулентности, метод объема жидкости – VOF, OpenFOAM, interFoam.

НАРЫН ДАРЫЯСЫНЫН ШАМАЛДЫ-САЙ ШААРЧАСЫНЫН ЖАНЫНДАГЫ СУУ КАПТООНУ САНДЫК МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Курбаналиев¹ А.Ы., Калмурзаева² А. Т.

¹Ош мамлекеттик университети, Ош шаары, Кыргызстан

²Баткен мамлекеттик университетинин Кызыл-Кыя гуманитардык-педагогикалык институту, Кызыл-Кыя шаары, Кыргызстан

Эсептөө гидродинамикасынын OpenFOAM пакетинин алкагында Нарын дарыясынын Шамалды-Сай шаарчасынын жанындагы суу каптоону сандык моделдештирүү маселеси каралды. Үч өлчөмдүү стационардык эмес эки фазалуу(суу жана аба) агымды моделдештирүү турбуленттүүлүктүн тиешелүү моделдери менен толукталган Навье-Стоксун толук теңдемелерине - RANS негизделген. Суу менен абанын ортосундагы чек аранын абалы суюктунтун көлөмү - VOF ыкмасынын жардамында аныкталды.

Баштапкы сөздөр. Суу каптоо, Нарын, эки фазалуу агым, стационардык эмес, RANS теңдемелер, турбуленттүүлүктүн моделдери, суюктунтун көлөмү - VOF ыкмасы, OpenFOAM, interFoam.

NUMERICAL SIMULATION OF FLOODING IN THE FLOODPLAIN OF THE NARYN RIVER NEAR THE VILLAGE OF SHAMALDY-SAI

Kurbanaliev¹ A.Y., Kalmurzayeva² A. T.

¹Osh State University, Osh, Kyrgyzstan

²Kyzylkyya Humanitarian and Pedagogical Institute of Batken State University, Kyzyl-Kyya, Kyrgyzstan

The problem of numerical simulation of a possible flood in the area near the township of Shamaldy-Sai in the floodplain of the Naryn River, Kyrgyzstan within the framework of the OpenFOAM computational fluid dynamics package is considered in this paper. Modeling of a three-dimensional unsteady two-phase (water and air) flow is based on the complete Navier-Stokes-RANS equations supplemented with corresponding turbulence models. The position of the water–air interface was determined using the volume of fluid method - VOF.

Keywords. Flood, Naryn, two–phase flow, unsteadiness, RANS equations, turbulence models, fluid volume methods - VOF, OpenFOAM, interFoam.

Введение. Наводнения являются частыми и широко распространенными стихийными бедствиями, часто связанными с серьезными социально-экономическими потерями и воздействием на окружающую среду. Экстремальное затопление пойм крупных равнинных рек представляет опасность для населения из-за обширности затопленных территорий. В городских районах воздействие может быть особенно сильным как из-за прямого ущерба, вызванного затоплением имущества и критически важной инфраструктуры, например, электрических подстанций, мостов и дренажных систем [1].

Почти все существующие исследования численного моделирования течения при прорыве плотины основаны на интегрированных по глубине уравнениях мелкой воды [2,3]. Хотя эти модели эффективны в вычислительном отношении для моделирования крупномасштабных разливов рек, принятые в этих моделях допущения,

например, предположение о гидростатическом давлении, ограничивают более детальное исследование процесса на начальной стадии потока с демпфированием.

В работах [4-6] представлены результаты математического моделирования крупномасштабных потоков в районах со сложным топографическим рельефом. Трехмерное моделирование нестационарного двухфазного турбулентного течения основано на усредненных по Рейнольдсу полных уравнениях Навье—Стокса. Хорошо известный метод определения объема жидкости, использован для отслеживания местоположения свободной границы раздела двух фаз. Адекватность математической модели проверяется путем сравнения с экспериментальными данными. Эффективность применяемой технологии проиллюстрирована на примере моделирования прорыва плотин Андижанского (Узбекистан) и Папанского (близ города Ош, Кыргызстан) водохранилищ.

Постановка задачи. Рассматривается задача возможного наводнения в пойме реки Нарын около Шамалды-Сай (смотрите рисунки 1, 2).

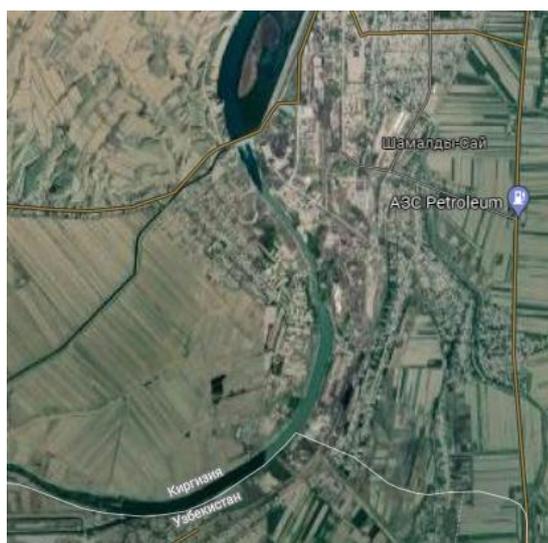


Рис.1. Рельеф местности.

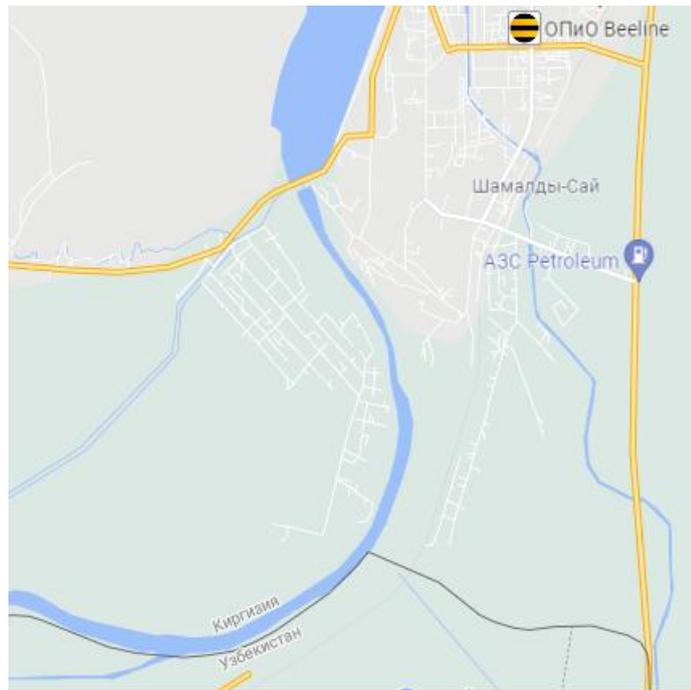


Рис. 2. Карта поймы р. Нарын

Сетка строится на основе DEM data из US Geology Survey[7], преобразованной в последующем в текстовый ASCII файл стереографического формата stl. Утилита snappyHexMesh входящая в комплект пакета OpenFOAM7 использована для генерации трёхмерной сетки. Созданная таким образом трёхмерная расчётная сетка размером 10 000 м × 6 000м × 500м поймы реки Нарын вблизи посёлка городского типа Шамалды-Сай приведена на рисунке 2.

Вертикальная координатная ось отсчитывается от дна реки Нарын. Более подробную информацию об уравнения переноса основных величин, методах дискретизации и решения полученных систем линейных уравнений можно найти в работе [4].

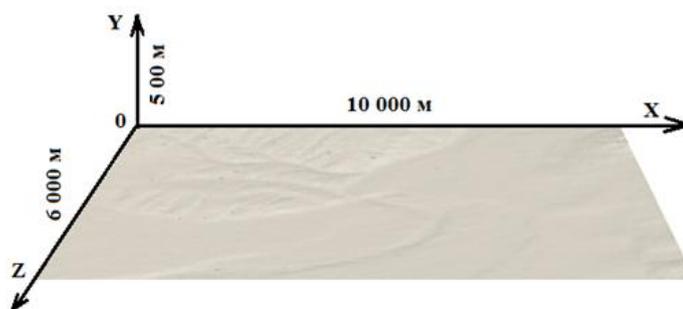
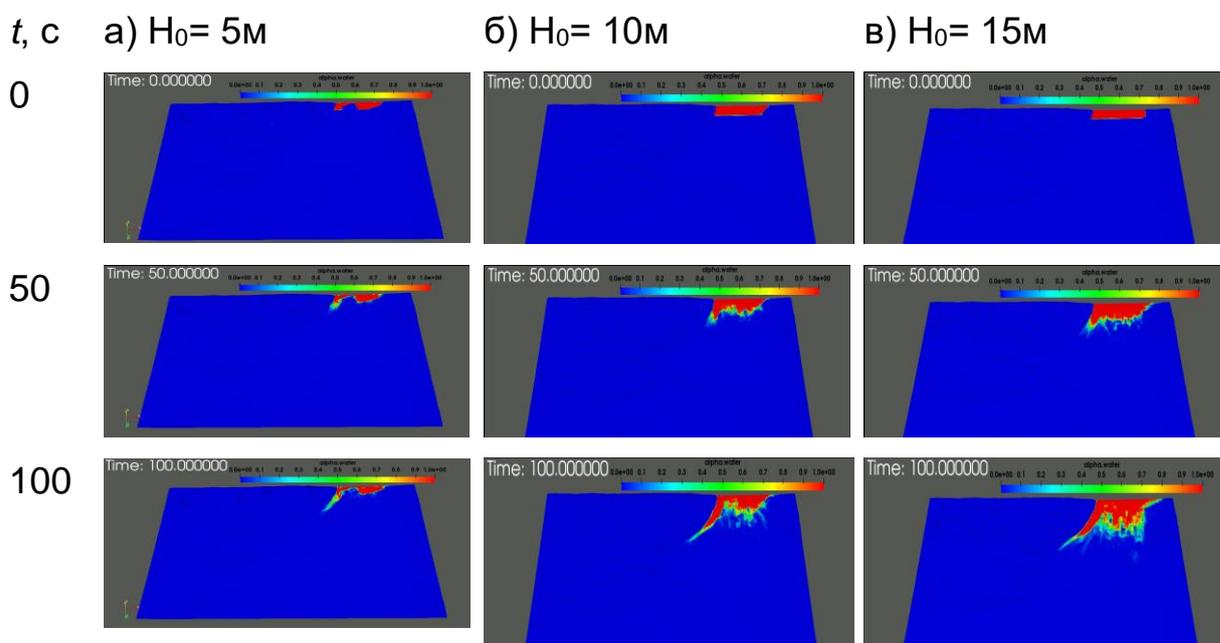


Рис.3. Трёхмерная расчетная сетка поймы реки Нарын

Расчетная сетка состоит из 1 387 149 гексаэдров, 151 призмы и 187470 полиэдров, а общее число контрольных объёмов равно 1 574 770. Общее время расчета на компьютере с процессором Intel ® Core i5-8250U с частотой 1.60 ГГц и установленной оперативной памятью 8 ГБ составило 183 373с, или около 51 час.

Распределение объемной доли воды в разные моменты времени показаны на следующем рисунке 3. Расчеты были проведены для трёх различных начальных высот водного столба $H_0 = 5\text{ м}$, 10 м и 15 м . Видно, что чем выше эта начальная высота, тем больше площади покрывает волна затопления за те же моменты времени.



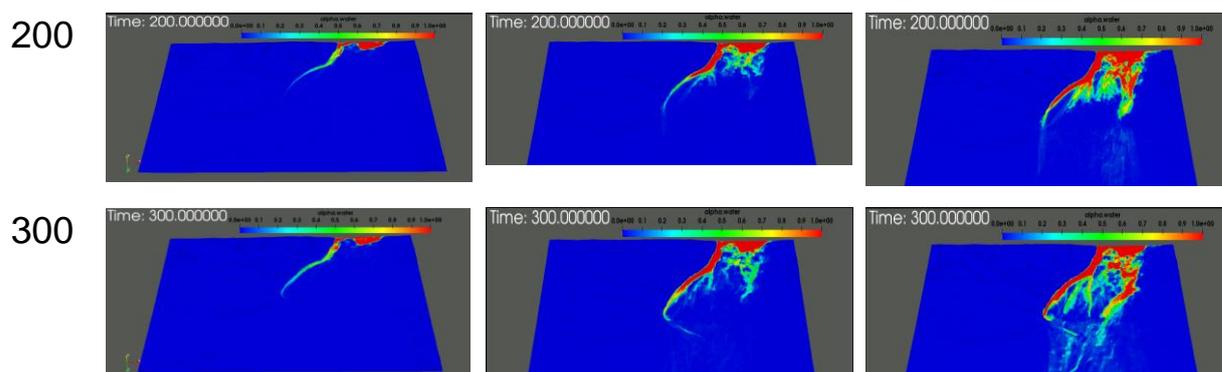


Рис. 4. Развитие волны прорыва для разной высоты водного столба

За время около 300с или 5 мин фронт волны наводнения проходит вниз по руслу реки Нарын расстояние 6000 м (см. рисунок 4в). В при этом не учитывается взаимодействие потока воды с растительностью русла реки и различными строениями, которые заметно изменяют общую картину течения, приводя к увеличению зоны затопления.

Далее рассмотрен случай наводнения на этой местности, дополненной с моделями восьми домов. Первая пара домов показана на рис. 5

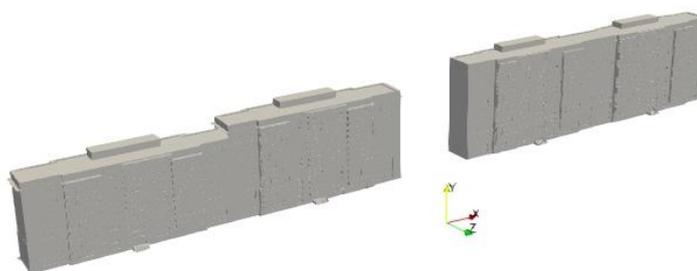
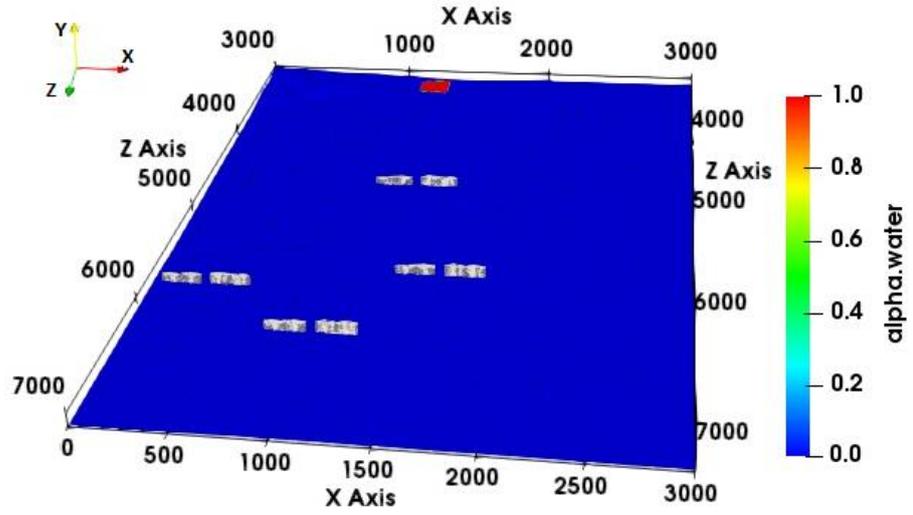


Рис. 5. Модель первой пары домов.

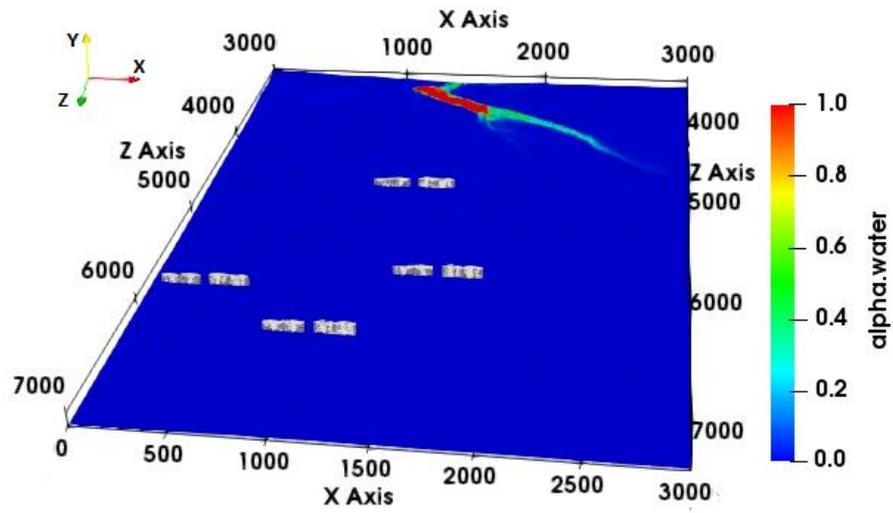
В этом случае общее число вычислительных ячеек равно 2 062 935, из них 1 786 565 гексаэдров, 11 819 призмы, 262 740 полиэдров и 1 811 тетраэдров. Общее время расчета на компьютере с процессором Intel® Core i5-8250U с частотой 1.60 ГГц и установленной оперативной памятью 8 ГБ составило 369 628с, или около 103 часа.

t, c
0

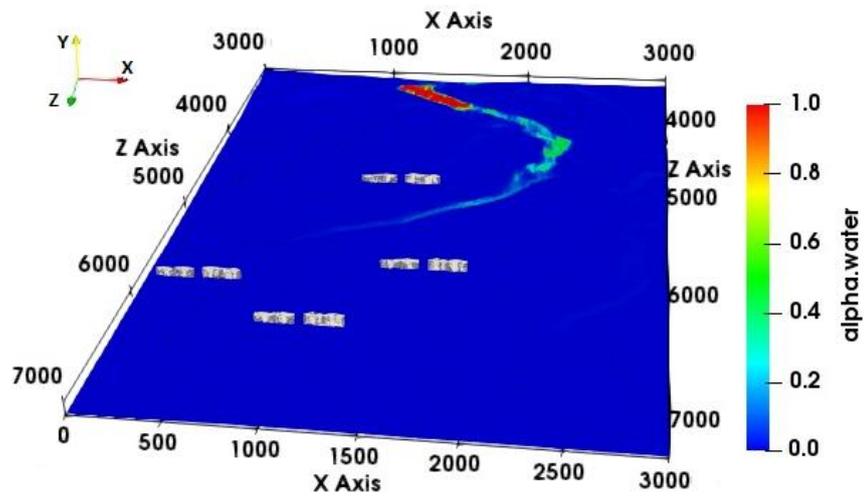
alpha.water



100



250



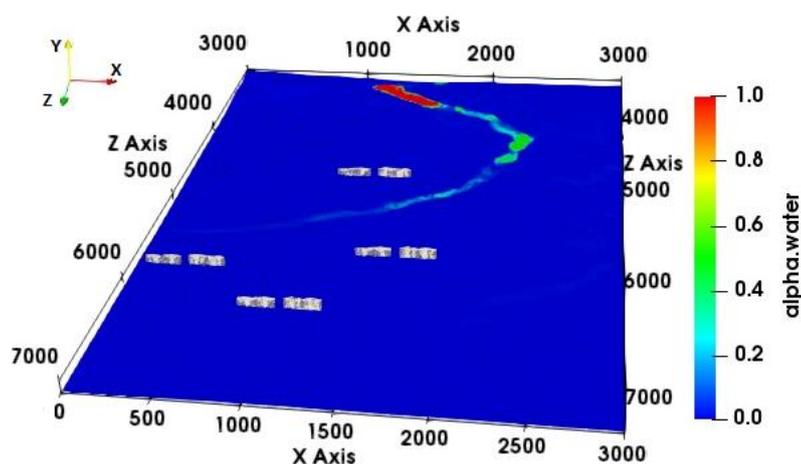


Рис. 6. Эволюция волны прорыва для начальной высоты водного столба $H=15\text{м}$.

В целях экономии вычислительного времени, размер расчетной области уменьшен примерно в 3 раза по сравнению с первым случаем и был равен $3000\text{м} \times 7000\text{м} \times 500\text{м}$.

Здесь необходимо особо отметить, что из-за ограниченности вычислительных возможностей имеющегося компьютера, размер расчетной сетки был выбран относительно большим. Поэтому, приведенные результаты расчета следует признать, как оценочные, которые требуют верификации на более мелкой сетке с использованием высокопроизводительных вычислительных систем.

Выводы. В работе проведено численного моделирование возможного наводнения в местности около городка Шамалды-Сай в пойме реки Нарын, Кыргызстан в рамках открытого пакета вычислительной гидродинамики OpenFOAM. Моделирование трехмерного нестационарного двухфазного (вода и воздух) течения основано на полных уравнениях Навье-Стокса - RANS, дополненными с соответствующими моделями турбулентности. Положение границы раздела воды и воздуха определялось при помощи метода объема жидкости – VOF. Обнаружено, что чем выше эта начальная высота, тем

больше площади покрывает волна затопления за те же моменты времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cea L.; Costabile, P. Flood risk in urban areas: modelling, management and adaptation to climate change. A review. *Hydrology* 2022, 9, 50
2. Wu W., and S.S.Y. Wang. 2007. One-dimensional modeling of dam-break flow over movable beds, *J Hydr Eng*, 133(1), 48-58.
3. Abderrezzak, K.E.K., A. Paquier, and B. Gay. 2008. One-dimensional numerical modelling of dambreak waves over movable beds: application to experimental and field cases, *Environmental Fluid Mechanics*, 8(2), 169-198.
4. Kurbanaliev, A.Y., Oichueva, B.R., Alieva, C.M., Bokoev, K.A., Mamaev, S.S. Mathematical Modeling and Visualization of Large-Scale Flooding in the Flood Plain of Naryn River Using OpenFOAM. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022, 503 LNNS, pp. 357–365.
5. Kurbanaliev, A.I., Maksutov, A.R., Obodoeva, G.S., Oichueva, R. Using OpenFoam multiphase solver interFoam for large scale modeling. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2019, 2019-October, pp. 366–370.
6. A. Zh. Zhainakov, A. Kurbanaliev. Verification of the open package OpenFOAM on dam break problems. *Thermophysics and Aeromechanics*, 20(4), Nonember 2013.
7. USGS Maps. <https://www.usgs.gov/products/maps>. Дата доступа: 05.09.2023