

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ
ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ
ИСКУССТВЕННОГО ЛЕДОВОГО ОСТРОВА**

**Конов Денис Сергеевич, Муратов Максим Викторович,
Бирюков Владимир Александрович**

Техник, научный сотрудник, младший научный сотрудник

Кафедра Вычислительной Физики МФТИ, Москва, Россия

E-mail: konov1999@gmail.com, max.muratov@gmail.com,

biryukov.vova@gmail.com

Научный руководитель — Петров Игорь Борисович

Один из перспективных способов освоения Арктики, в частности нефтегазовых месторождений на шельфе — искусственные ледовые острова, в связи с экономической целесообразностью скоростью возведения и другими факторами. Важнейшей задачей при эксплуатации и сооружении этих островов является их устойчивость в том числе к механическим воздействиям и таянию. В данной работе обсуждается численное моделирование тепловых процессов в толще ледового острова, а на основе разработанных методов и программных средств обсуждается термическая устойчивость ледового острова при различных условиях внешней среды.

Для моделирования численных процессов сформулирована задача Стефана, которая на основе работ [1-4] с использованием энтальпии переформулирована таким образом, чтобы было возможно решить ее с помощью численного алгоритма сквозным счетом. Используется схема Писмена-Рекфорда. Алгоритм был модифицирован с целью расчета областей произвольной формы, а также учета течений воды. Численный алгоритм с использованием схемы Писмена-Рекфорда реализован программно на языке C++, для удобства использования программы и анализа результатов расчетов реализованы скрипты на языке python.

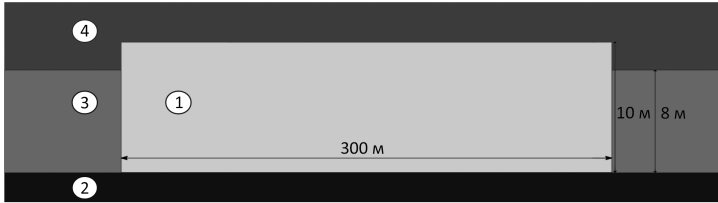
Программа решает задачу в несколько этапов. В начале происходит проверка корректности входных данных и строится равномерная сетка по переданным данным. После этого вычисляется начальное поле теплосодержаний, на основе физической модели и начального распределения температур. Численный метод состоит из двух шагов, каждый шаг - явный по одному направлению и неявный по другому. Метод распараллелен с помощью OpenMP. Вывод и визуализация результатов производится в формате VTK с помощью программы ParaView и библиотеки matplotlib.

В работе рассматривается модель двухмерного ледового острова, которая представлена на рисунке ниже. Для этого ледового острова найдено распределение температур после намораживания в разных постановках. После этого поставлены численные эксперименты при различных внешних условиях и сделаны выводы об устойчивости островов, а также факторах, влияющих на их таяние. Кратко проведен анализ корректности вычислений, а также способов учесть ветер, соленость воды.

Характеристики веществ (СИ) и форма острова представлены в таблице и иллюстрации ниже.

№	Вещество	Плотность	Теплопроводность	Удельная теплоемкость
1	Лед	917	0,591	2100
2	Грунт	2500	0,8	750
3	Вода	1000	2,22	4180
4	Воздух	1,60	0,022	—

Иллюстрации



Модель ледового острова в расчетах.

Литература

1. Албу А. Ф. Применение методологии быстрого автоматического дифференцирования к решению задач управления тепловыми процессами с фазовыми переходами // Автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. М., 2016.
2. Jonsson T. On the one-dimensional Stefan problem with some numerical analysis // Department of Mathematics and Mathematical Statistics of Umea University, Sweden, 2013
3. White R.E. An enthalpy formulation of the Stephan problem // SIAM J. Numer. Anal. V. 19, No. 6. 1982. P. 1129—1157

4. White R.E. A numerical solution of the enthalpy formulation of the Stephan problem // SIAM J. Numer. Anal. V. 19, No. 6. 1982. P. 1158–1172.