

**Исследование эффективности использования различных математических моделей для решения задачи динамики склонового потока**

**Научный руководитель – Эглит Маргарита Эрнестовна**

***Романова Дарья Игоревна***

*Аспирант*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Механико-математический факультет, Кафедра гидромеханики, Москва, Россия

*E-mail: romanovadi@gmail.com*

Водоснежные и грязекаменные потоки, снежные лавины, сели и другие склоновые потоки представляют большую опасность для жителей предгорья и различных отраслей народного хозяйства на данных территориях. Для организации защиты строят направляющие сооружения (стенки, искусственные русла, лавинорезы, клинья), тормозящие и останавливающие сооружения (надолбы, холмы, траншеи, дамбы, пазухи), пропускающие сооружения (галереи, навесы, эстакады). Для расчёта таких защитных сооружений необходимо знать силу воздействия потока на препятствие, для изучения которой необходимо проводить трёхмерное численное моделирование. Расчёт силы давления набегающего потока на препятствие происходит, в том числе, из учёта профиля скорости. А значит, что для расчёта заградительных сооружений необходимо, чтобы полученный в расчётах профиль скорости, а также другие параметры потока хорошо описывали реальное движение потока по склону. Расчёт склоновых потоков затруднён из-за больших характерных размеров задачи в горизонтальной плоскости и относительно малых по вертикали.

В работах [1-4] представлены результаты моделирования склоновых потоков разными подходами. В работе [1] авторы производят расчёт комплекса заградительных сооружений. Для расчёта водоснежного потока непосредственно с места зарождения авторы используют пакет RAMMS 1.6 Avalanche который численно решает уравнения динамики, осреднённые по глубине. Пакет OpenFOAM используется авторами для 3D моделирования воздействия водоснежного потока с комплексом защитных сооружений. Из расчёта в пакете RAMMS авторы берут параметры на входе в расчётную область для 3D моделирования, что примерно на 20 метров выше первых заградительных сооружений (валов).

В работах [5, 6] авторы создают решатель на базе свободно распространяемого пакета с открытым исходным кодом OpenFOAM для моделирования склонового потока с использованием уравнений мелкой воды. Данный решатель является аналогом пакету RAMMS Avalanche, однако в нём реализован больший функционал, например реализован механизм захвата материала подстилающей поверхности [7].

В настоящей работе производится сравнение вышеописанных подходов для моделирования динамики снежной лавины на склоне горы Юкспор (Хибины). Оценивается точность таких параметров потока, как дальность выброса лавины, форма лавинных отложений, максимальная скорость потока, прирост массы потока за счёт захвата материала на дне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90105.

**Источники и литература**

- 1) Hafór Örn Pétursson, Kristín Martha Hákonardóttir, Áki Thoroddsen. Use of OpenFOAM and RAMMS Avalanche to simulate the interaction of avalanches and slush flows with dams. Proceedings to the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows. Siglufjörur, Iceland, April 3–5, 2019.
- 2) K.M. Hákonardóttir, K.H. Ágústsdóttir. The design of slushflow barriers: Laboratory experiments. Proceedings to the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows Siglufjörur, Iceland, April 3–5, 2019.
- 3) C. Jaedicke, M. Kern, P. Gauer, M.-A. Baillifard, K. Platzler. Chute experiments on slushflow dynamics. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 51, 156–167, 2008.
- 4) Y. Yamaguchi, S. Takase, S. Moriguchi, K. Terada, K. Oda, I. Kamiishi. Three-dimensional nonstructural finite element analysis of snow avalanche using non-newtonian fluid model. *Transactions of the Japan Society for Computational Engineering and Science*, 2017.
- 5) M. Rauter, A. Kofler, A. Huber, W. Fellin. *fasavagehutterfoam 1.0*: depth-integrated simulation of dense snow avalanches on natural terrain with openfoam. *Geoscientific Model Development*, 11(7):2923–2939, 2018.
- 6) M. Rauter, Z. Tukovic. A finite area scheme for shallow granular flows on three-dimensional surfaces. *Computers & Fluids*, 166:184 – 199, 2018.
- 7) Dieter Issler. Dynamically consistent entrainment laws for depth-averaged avalanche models. *Journal of Fluid Mechanics*, 759:701–738, 2014.