

канале создающего тягу течения с детонационной волной, стабилизирующейся в расширяющейся части канала.

Изучено влияние изменений числа Маха входящего потока, добавок в поступающую в канал горючую смесь (например, мелких инертных частиц пыли) и геометрических параметров канала на положение стабилизированной в потоке волны. Предложен ряд способов управления положением детонации с целью увеличения создаваемой потоком тяги.

Установлена возможность формирования создающего тягу течения со стабилизированной детонацией без затрат энергии в случае формирования детонационной волны в потоке перед препятствием, расположенным в определенном месте канала и существующим в течение некоторого времени.

Работа выполнена в соответствии с планом исследований НИИ механики МГУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 14.G39.31.0001 от 13.02.2017г.), Совета по грантам Президента РФ (проект НШ-8425.2016.1), Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН (Программа I.31) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-01092). Исследования выполнены с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова.

## **Моделирование склоновых потоков с учетом неньютоновских свойств движущейся среды**

<sup>1</sup>Ю. С. Зайко, <sup>2</sup>М. Э. Эглит, <sup>3</sup>А. Е. Якубенко

<sup>1,2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

<sup>1,3</sup>*НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*m.eglit@mail.ru*

<sup>3</sup>*yakub@imec.msu.ru*

Рассматриваются природные геофизические потоки, движущиеся по склонам под действием силы тяжести, такие как снежные лавины, сели, быстрые оползни. Знание их динамических параметров и границ распространения необходимо для организации защиты различных объектов в горах. Большая часть существующих математических моделей геофизических склоновых потоков основана на уравнениях, осредненных по толщине потока. В

этой работе строятся и исследуются модели склоновых потоков с использованием полных (не осредненных по толщине) уравнений механики сплошных сред. Модели учитывают следующие три важных фактора: сложные нелинейные реологические свойства движущегося материала, захват потоком подстилающего материала и возможность турбулентного режима движения. Предполагается, что захват донного материала происходит вдоль нижней поверхности потока, когда касательное напряжение на дне потока достигает значения предела прочности на сдвиг материала дна. Для задания реологических свойств среды используются модели Хершеля - Балкли, которые при надлежащем выборе входящих параметров соответствуют ньютоновской (линейно-вязкой) жидкости, жидкости с нелинейной зависимостью эффективной вязкости от скорости деформации, а также средам, характеризующимся наличием предела текучести. Для описания турбулентных характеристик предлагается трехпараметрическая модель турбулентности, предложенная В.Г. Лущиком, А.А. Павельевым и А.Е. Якубенко для расчетов движения жидкостей и газов вдоль проницаемых и непроницаемых стенок в присутствии градиента давления, массообмена и других процессов. Сформулированные модели используются для исследования влияния перечисленных трех факторов на динамику потока и величину скорости вовлечения донного материала на примере движения по длинному однородному склону с постоянным уклоном, в предположении, что все параметры потока не зависят от продольной координаты. В частности, показано, что, как в ламинарных, так и в турбулентных потоках, при движении по длинному однородному склону с захватом подстилающего материала скорость и толщина потока при больших временах растут пропорционально времени, а скорость захвата донного материала стремится к константе. Величина этой константы зависит только от свойств движущегося материала и склона и от режима течения, и не зависит от величины средней скорости или толщины потока.

Работа поддержана РФФИ (проекты 15-01-00361, 15-01-08023)