

# Об автоколебательных режимах проникания свободных или затопленных струй через поверхность жидкости

<sup>1</sup>В. П. Карликов, <sup>2</sup>А. Т. Нечаев, <sup>3</sup>С. Л. Толоконников

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>1</sup>karlikovvp@mail.ru

<sup>2</sup>artm26@mail.ru

<sup>3</sup>tolsl@mail.ru

Представлен краткий обзор наиболее существенных результатов выполненных в Институте механики МГУ исследований нового класса нестационарных течений несжимаемой жидкости, возникающих при проникании затопленных или свободных турбулентных струй разной формы через поверхность покоящейся жидкости. Изучались проникание вертикальных затопленных или свободных плоских и осесимметричных водяных струй через поверхность воды, находящейся в относительно узких каналах, а также проникание через поверхность воды в сосуде прямоугольной формы свободных тонкостенных водяных струй, вытекающих из конического щелевого сопла с вертикальной осью.

Обнаружено существование широких диапазонов значений определяющих параметров, при которых в жидкости формируются неизвестные ранее автоколебательные режимы течений. Описаны разные механизмы возникновения таких режимов и характерные особенности найденных экспериментально и численно зависимостей периода автоколебаний от основных определяющих параметров. Указаны возможные приложения полученных результатов.

## Плоские задачи механики морского льда

<sup>1</sup>Е. Карулин, <sup>2</sup>М. Карулина, <sup>3</sup>А. Марченко, <sup>4</sup>А. Сахаров,

<sup>5</sup>П. Чистяков

<sup>1,2</sup>Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Университетский центр на Сvalъбарде, Лонгирбюен, Норвегия

<sup>4,5</sup>Московский государственный университет имени М.В.

Ломоносова

<sup>1,2</sup>for.marina.m.k@gmail.com

<sup>3</sup>aleksey.marchenko@unis.no

<sup>4,5</sup>asakhmst@gmail.com

Для нахождения предельных нагрузок воздействия морского льда на шельфовые сооружения необходимо построение механических моделей его деформирования и разрушения на основе экспериментальных данных. Температура льда в естественных условиях близка к точке плавления, в связи с этим полная механическая модель деформирования и разрушения льда должна учитывать его вязко-упруго-пластические свойства и их зависимости от температуры и солености льда, а также от его структуры [1]. Эксперименты по определению предельных нагрузок, приводящих к разрушению образцов плавающего морского льда, регулярно проводятся на Шпицбергене с 2011 года. Оригинальная геометрическая конфигурация образцов и разработанное оборудование, позволяющее прикладывать нагрузку по всей толщине льда, дают возможность определить прочности льда на сжатие, растяжение, срез и изгиб, а также сопротивление льда при внедрении цилиндрического индентора [2–8]. Эксперименты проводились на льду толщиной от 30 до 80 см. Хотя геометрическая конфигурация испытуемых образов льда двумерна, наличие вертикального градиента свойств льда влияет на характеристики его деформирования и разрушения. В частности, обнаружены масштабные эффекты уменьшение прочности льда на сжатие и растяжение по сравнению с лабораторными экспериментами и получены зависимости изгибной прочности от направления приложения нагрузки.

В ряде экспериментов на растяжение и сдвиг, где нагрузка прикладывалась в плоскости льда, разрушение носило двумерных характер и происходило с образованием вертикальных трещин, проходящих сквозь толщину пластины льда. Для интерпретации результатов этих экспериментов в данной работе теоретически исследуются две задачи предельного равновесия в условиях плоского напряженного состояния, в которых свойства льда по вертикали полагаются однородными. Лед моделируется изотропным материалом, а предельная поверхность в пространстве напряжений, задаваемая в виде объединения конуса и цилиндра, соосных гидростатической оси, зависит только от гидростатического давления  $p$ , температуры и солености  $s$  льда. На плоскости главных напряжений предельная кривая состоит из дуги эллипса, соответствующего критерию Мизеса при высоких давлениях  $p > p_c$ , и дуги параболы, соответствующей критерию разрушения при наличии сдвигов [9]. Эллипс определяется параметром, находящимся из эксперимента на двухосное сжатие. Парабола опре-

деляется двумя параметрами из экспериментов на одноосное растяжение и сжатие.

Первая задача о равновесии клина, равномерно нагруженного по боковой грани, решается в предположении осесимметрии. Для задачи предельного равновесия существуют две ветви решений. Первое решение приводит к равномерным полям напряжений и в случае острого клина к разрывному решению. В натурных экспериментах [10] разрушение острых клиньев происходит в основном за счет развития трещины отрыва, поскольку велика доля изгибной составляющей в напряженном состоянии. Для клиньев с углами большими  $\pi/3$  можно ожидать реализации сценария, отвечающего представленному решению. В случае тупого клина построено непрерывное решение для напряжений, где области равномерного напряженного состояния, примыкающие к сторонам клина, сопрягаются с помощью второй ветви решений. Вторая задача о растяжении пластинки с круговыми боковыми вырезами относится к эллиптическому типу и допускает простое решение для напряжений в полярной системе координат.

## Литература

1. Sanderson T.J.O., 1988. Ice Mechanics – Risks to Offshore Structures. Graham and Trotman.
2. Chistyakov, P., Karulin, E., Marchenko, A., Sakharov, A., Lishman, B., 2016. The tensile strength of saline and freshwater ice in field tests. Proc. of the 23rd IAHR Symposium on Ice, Ann Arbor, Michigan, paper 4872921.
3. Karulin, E., Marchenko, A., Karulina, M., Chistyakov, P., Sakharov, A., Ervik, A., Sodhi, D., 2014. Field Indentation Tests of Vertical Semi-Cylinder on First-Year Ice. Proc. of the 22th IAHR Symposium on Ice, Singapore, paper 1125.
4. Karulina, M., Marchenko, A., Sakharov, A., Karulin, E., Chistyakov, P., 2016. Experimental Studies of Fracture Mechanics for Various Ice Types. Proc. of the 23rd IAHR Symposium on Ice, Ann Arbor, Michigan, paper 4869357.
5. Konstantinova, M., Marchenko, A., Karulina, M., Sakharov, A., Karulin, E., Chistyakov, P., 2016. In-situ investigations of ice deformations and loads in indentation tests. Proc. of the 23rd IAHR Symposium on Ice, Ann Arbor, Michigan, paper 4870465.

6. Marchenko, A., Karulin, E., Chistyakov, P., Sodhi, S., Karulina, M., Sakharov, A., 2014. Three dimensional fracture effects in tests with cantilever and fixed ends beams. Proc. of the 22th IAHR Symposium on Ice, Singapore, paper 1178.
7. Murdza, A., Marchenko, A., Chistyakov, P., Karulin, E., Sakharov, A., Karulina, M., 2016. Test with L-shaped cantilever beam for complex shear and bending strength. Proc. of the 23rd IAHR Symposium on Ice, Ann Arbor, Michigan, paper 4855605.
8. Sakharov, A., Karulin, E., Marchenko, A., Karulina, M., Sodhi, D., Chistyakov, P., 2015. Failure envelope of the brittle strength of ice in the fixed-ends beam test (two scenarios). POAC15-00230, Trondheim, Norway, 8 pp.
9. Schulson, E.M., Duval, P., 2009. Creep and Fracture of Ice. Cambridge University Press.
10. Karulina, M., Marchenko, A., Sakharov, A., Karulin, E., Chistyakov, P., 2016. A Study of Ice Oblique Drift Action onto the Structure Partially Sheltered by another Object. POAC17, Busan, Korea, v.185, p.1-10.

## Большие деформации материалов в условиях ползучести и пластического течения

**<sup>1</sup>Л. В. Ковтаник, <sup>2</sup>А. О. Лемза, <sup>3</sup>Г. Л. Панченко**

<sup>1</sup>Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН

<sup>1,2</sup>Дальневосточный федеральный университет

<sup>3</sup>Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН

<sup>3</sup>Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

<sup>1</sup>lk@iacp.dvo.ru

<sup>2</sup>alsu-24@yandex.ru

<sup>3</sup>panchenko.21@yandex.ru

Для ряда конструкционных материалов холодная формовка, основанная на медленном процессе ползучести, оказывается наиболее перспективной технологией получения крупногабаритных изделий [1]. Присутствующие в этом случае области пластического течения существенно изменяют поле напряжений, а значит, и основной процесс ползучести. При этом хотя бы не обратимые