

ставляющая касательных напряжений на свободной поверхности, обусловленных ветровой нагрузкой;  $P_l^B$  и  $P_l^T$  – нормальные вязкие и турбулентные напряжения, осредненные по поперечному сечению потока воды.

Приведенные уравнения (1) могут использоваться при численном (компьютерном) моделировании неустановившегося движения в открытых руслах в виде волн перемещения, а также для определения основных параметров этих волн: средней скорости и глубины такого потока в любой момент времени, например, методом конечных разностей или конечных приращений.

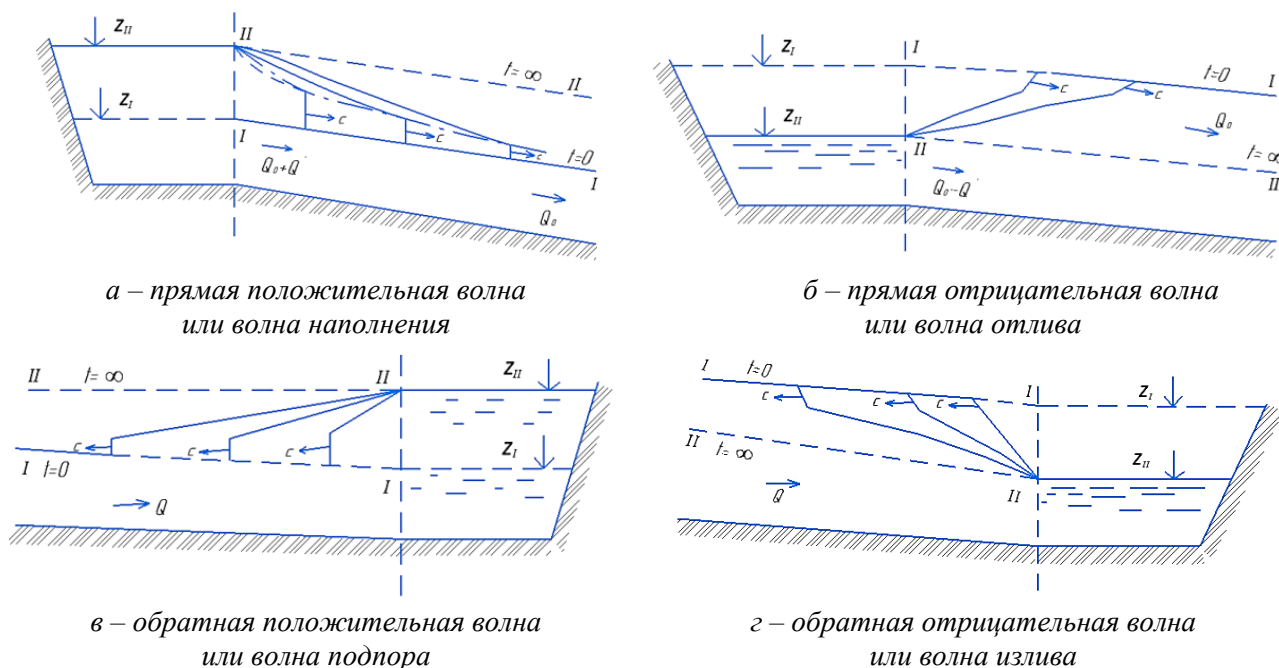


Рисунок 1 – Неустановившееся движение в открытом русле в виде волны перемещения

#### Список использованных источников

1. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Высш.шк. Головное издательство, 1984. – 343 с.
2. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учеб. для ВУЗов / А.Д. Гиргидов. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: изд-во Политехнического университета, 2007. – 545 с.

УДК 678(66.018.2+66.017+67.017)

### РАЗРАБОТКА НОВЫХ СУПЕРКОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ- НАНОКОМПОЗИТОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ КАК ЗАМЕНИТЕЛЕЙ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА В РАМКАХ ПРОЕКТА «POLYADAMANTIUM» И ДЛЯ УЧАСТИЯ В ПРОГРАММЕ «АРКТИКА-2035»

*Д.В. Чернобай*

*Белорусский национальный технический университет*

В настоящее время российские ученые прилагают много усилий для разработки новых конструкционных материалов для освоения Арктики – это и использование сверхвысокомодульного полиэтилена (СВМПЭ), морозостойких резин и эластомеров, фторопластов, стекло- и базальтопластиков на базе ударопрочного полистирола, полиэфирэфиркетона (РЕЕК) и др. полимеров в роли заменителей некоторых металлических изделий и узлов для техники и в конструкции зданий и сооружений. Например, Специалисты НИТУ «МИСиС» создали устойчивые к трению полимерные изделия, которые можно использовать при морозе до минус 80 градусов Цельсия. Для широкомасштабной добычи полезных ископаемых в Арктике требуется сложное промышленное оборудование и тяжелая техника с большим количеством узлов трения. При этом в поляр-

ных широтах зафиксирована температура ниже минус 67 градусов. Условия Крайнего Севера диктуют жесткие требования к надежности оборудования. При низкой транспортной доступности каждая поломка подшипника или трубы, не выдержавших сильный холод, может означать большие финансовые потери.

Работы над новыми типами стойких к холоду полимеров и композитов на их базе ведется на базе российских лабораторий и R&D-центров (Лаборатории прогрессивных полимеров в КБГУ, функциональных полимерных материалов в НИТУ «МИСиС», ФГУП «ВИАМ»; исследовательские центры и лаборатории ООО «Формопласт», ООО «Новые полимеры» и др.).

В Республике Беларусь на базе инициативного стартап-проекта «POLYADAMANTIUM» проводится НИОКР, пока за счет самофинансирования. В данный момент в рамках проекта разрабатывается теоретическая база для разработки образцов и MVP-прототипа семейства суперконструкционных материалов для Арктики, подводного и космического использования с экстремальными температурными и прочностными характеристиками (заменители металлов, стекло- и углепластиков). Некоторые из «младших» версий нанокompозитов основываются на базе длинноволоконных композитов на базе стеклянного, углеродного волокна (LFT-G), базальтопластиков, а более дорогие – уже на базе сплавов суперконструкционных полимеров или их сплавов с термопластичными фторопластами (Ф-50/40 и др.) (см. табл. 1)

Таблица 1 – Сравнение характеристик, имеющих в производстве и перспективных полимеров для использования в условиях Крайнего Севера

Характеристики	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Жесткость (модуль упругости при растяжении), ГПа	Миним. рабочая температура, грд. С	Ударная прочность по Шарпи при низких темп., кДж/м <sup>2</sup>	Цена 1 кг гранул или полуфабрикатов, \$
Фторопласт Ф-4	2,20	1,5	-269	Без разрушения	от 8
Поликарбонат	1,20	2,4	-60	130	от 12
СВМПЭ	0,93	0,68...1,2	-80...-90	200-1000	15-180
Полиимид (PI)	1,34	2,9...7,0	-270	1,5-6,0	1-2000
Матрица для нанокompозита на базе жесткоцеппных типов полимеров, в.т.ч. SRP [2]	1,12	8,3...9,6 (посл. при -270 град.), на уровне металлов и УВ При наноусилении возрастает минимум на 30...50 %	-270 (самоупрочняется при криогенн. темп.)	1200 (в 3...4 раза прочнее поликарбоната, т.е. уникальное соотношение прочности к весу, близкое к титану, как у полибензимидазола (PBI))	В сплаве с Ф-50 – до 150...500, на базе самого SRP 800...2000 Семейство включает разные ценовые уровни

**Заключение.** В результате работы над материаловедческой частью и схемами нанокompозитов было выяснено, что нанокompозиты, т.н. «полимерные заменители металлов» применимы для активного использования в Арктике, а также для ВПК [1], в космической, ядерной промышленности.

#### Список использованных источников

1. Чернобай Д.В. Перспективы объединения макро- и наноструктур в гибридных нанокompозитах для создания новых конструкционных материалов для наноброни, элементов бронезащиты экзоскелетов. 8-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16-17 мая 2019 г.): сборник научных статей. В 5 ч. Ч. 5 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск: Лаборатория интеллекта, 2019. – 100 с. – С. 97-99.

2. Инженерные и суперконструкционные полимеры Ensigner [Электронный ресурс] / High performance and engineering thermoplastics TDS's – Режим доступа: [http://www.sdplastics.com/ensinger/Tecamax\\_SRP.pdf](http://www.sdplastics.com/ensinger/Tecamax_SRP.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.