

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

¹Ракин Г.В.*, ²Беккер Д.С.

¹*Каспийский институт морского и речного транспорта
им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
²Волгоградский государственный медицинский университет*

*grisha_rakin@mail.ru

В работе рассматривается возможность применения дилатантной неньютоновской жидкости на основе полимерных материалов в различных сферах. На данный момент разработан состав, полностью удовлетворяющий предъявляемым требованиям и успешно прошедший экспериментальные испытания.

Ключевые слова: применение неньютоновских жидкостей, дилатантные жидкости.

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF NONLINEAR LIQUIDS BASED ON POLYMER MATERIALS

¹Rakin G.V., ²Bekker D.S.

¹*F.M. Apraksin Caspian Institute of Sea and River Transport – branch of the FSBEI HE «VSUWT»
²Volgograd State Medicinal University*

The paper considers the possibilities of using a dilatant non-Newtonian fluid based on polymeric materials. At the moment, a composition has been developed that fully meets the requirements and has successfully passed experimental tests.

Keywords: application of non-Newtonian fluids, dilatant fluids.

Введение

Нелинейные жидкости, также более известные как неньютоновские, на данный момент широко применяются во многих сферах, таких как оборонная и гражданская промышленность, медицина и т. п. Рассмотрим возможность применения разработанного состава дилатантной неньютоновской жидкости на основе полимерных материалов.

Дилатантные жидкости – это разновидность неньютоновских жидкостей, вязкость которых увеличивается при увеличении скорости деформации сдвига. У дилатантных жидкостей зависимость касательного напряжения τ от напряжения сдвига описывается степенным законом Оствальда

$$\tau = K \cdot \left(\frac{dv}{dx}\right)^{m-1} \cdot \left(\frac{dv}{dx}\right), \quad (1)$$

где K – коэффициент консистенции, $m > 1$ индекс течения, определяющий возрастание эффективной вязкости при увеличении скорости сдвига [1].

Известно, что неоднократно применялись попытки разработки пуленепробиваемых бронежилетов с защитным элементом на основе дилатантных жидкостей. Примерами являются такие разработки как D30 (Великобритания), Shear-Thickening Fluid от института безопасности Moratex (Польша), а также

разработки Национального исследовательского технологического университета МИСИС. Однако на данный момент отсутствует информация о реализованных разработках в этой области.

Эксперимент

При решении поставленной задачи, заключающейся в разработке состава дилантантной жидкости, пригодной для использования при изготовлении различных видов средств индивидуальной защиты (СИЗ), например, защитные каски, спецодежда и т. д., были установлены необходимые требования, которым должен отвечать разрабатываемый состав:

1. Высокие показатели коэффициентов динамической (не менее 1500 Па·с) и кинематической вязкостей.
2. Высокий показатель дилатации.
3. Широкий диапазон рабочих температур.
4. Неиспаряемость.

В результате проведенного исследования был разработан состав, проявляющий свойства дилантантной неньютоновской жидкости, практически полностью отвечающий заданным требованиям. Жидкой фазой разработанного состава является полиметилсилоксановая жидкость с коэффициентом динамической вязкости 1000000 (миллион) сантистоксов (ПМС-1000000). В качестве твердой фазы использовался мелкодисперсный карбид бора F1200, размер основной фракции которого составляет 4,5–3,0 мкм. Использование данного абразивного материала позволило улучшить дилантантные свойства раствора.

Результаты и их обсуждение

Разработанный состав был использован при создании комбинированного защитного элемента СИЗ. Защитный элемент, состоящий из двух частей: твердой, представляющей собой несколько слоев высокомолекулярной ткани и жидкой – слоя дилантантной жидкости толщиной 3 см, был подвергнут экспериментальным испытаниям, в ходе которых состав несколько раз был подвергнут кратковременному механическому воздействию. Результаты эксперимента представлены на *рис. 1*.



Рис. 1. Результат 1-й серии проведенных экспериментальных испытаний

В результате проведенных испытаний было установлено, что разработанный состав не только не вытекает после нескольких механических воздействий, но и сохраняет свои свойства. Кроме того, на основе полученных результатов эксперимента была выдвинута гипотеза о том, что при правильном расположении компонентов защитного элемента (сначала твердая часть защитного элемента, а затем жидкая часть) разработанный состав отлично справляется со своей основной задачей: импульс от механического воздействия поглощается дилантантной жидкостью, что существенно позволяет снизить риск получения пользователем СИЗ тупой контузионной травмы, часто возникающей при кратковременном механическом воздействии.

Для проверки данной гипотезы были проведены повторные испытания, в ходе которых комбинированный защитный элемент, состоящий из твердой части, изготовленной на основе из сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности (СВМПЭ) и жидкой части – слоя дилантантной неньютоновской жидкости, был подвергнут 2-й серии экспериментальных испытаний. Результаты проведенных испытаний представлены на *рис. 2*.



Рис. 2. Результат 2-й серии проведенных экспериментальных испытаний

Полученные результаты полностью подтвердили выдвинутую ранее гипотезу. В случае механического воздействия на комбинированный защитный элемент СИЗ происходит деформация его твердой части, а остаточную кинетическую энергию, возникающую при кратковременном механическом воздействии, успешно рассеивает слой неньютоновской жидкости, что в свою очередь сводит к минимуму риск получения человеком, использующим СИЗ тупой контузионной травмы.

Кроме того, опираясь на полученные результаты было сделано предположение о том, что полученный состав может быть использован в качестве жидкого наполнителя, при разработке швартовых судовых кранцев – специализированных прокладок между судном и другим объектом, предотвращающих повреждение борта (рис. 3).



Рис. 3. Судовой швартовый кранец

Проведенные исследования показали, что судовой швартовый кранец, содержащий жидкий наполнитель на основе дилантантной неньютоновской жидкости имеет ряд преимуществ перед аналогами, а именно: хорошие амортизирующие и демпферные свойства, быстрота и лёгкость ремонта при повреждении, удобство при монтаже и демонтаже, а также экологичность. Однако, несмотря на все свои достоинства, данному виду кранцев очень трудно конкурировать с наиболее на данный момент используемым видом – старыми автомобильными покрышками, которые используются в данном качестве и по сей день, несмотря на многочисленные запреты и недостатки в процессе использования [2].

Последним направлением использования разработанного состава является его применение в качестве средства временного ремонта дорожного полотна. На данный момент имеется информация об удачных результатах проведенного экспериментального исследования, целью которого было использование дилантантной неньютоновской жидкости в качестве средства ремонта дорожного полотна. В представленном исследовании была использована смесь картофельного крахмала и воды в пропорции 1:1. Согласно полученным результатам данный раствор проявляет свои дилантантные свойства даже при движении легкового автомобиля со скоростью 5 км/ч [3].



Рис. 4. Результат использования дилантантной жидкости на основе смеси картофельного крахмала и воды в качестве средства для ремонта дорог

Подобный опыт был также проведён с разработанным раствором дилантантной неньютоновской жидкости на основе полимерного материала. Отличие состояло в том, что вместо реального автомобиля использовалась модель грузового автомобиля. Тем не менее результаты проведенного исследования оказались успешными, что, в свою очередь, доказывает справедливость гипотезы о возможности применения разработанного состава в качестве средства временного ремонта дорожного полотна. Однако нерешенными на данный момент являются вопросы о том, из каких материалов должна быть изготовлена оболочка, содержащая жидкий наполнитель, а также как осуществить и обеспечить сохранность применяемого изделия, возможность его быстрого и лёгкого демонтажа для последующего использования после установки.

Выводы

Таким образом, была рассмотрена и экспериментально доказана возможность использования дилантантной неньютоновской жидкости на основе полимерного материала в различных сферах. Очевидно, что имеются определенные моменты, затрудняющие полноценное её применение в названных примерах, однако, данные вопросы активно обсуждаются и ищутся пути решения названных проблем.

Библиография

1. Астарита Дж., Марруччи Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М.: Мир, 1978. 300 с.
2. Ракин Г.В., Левицкая В.И., Лядов Н.Д. Разработка модели кранца, содержащего жидкий наполнитель на основе дилантантной жидкости // Транспорт. Горизонты развития: Труды 2-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 07–09 июня 2022 года. Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2022. С. 17.
3. Макаркин И., Тарасов Е.А. Проект по теме «Неньютоновская жидкость и возможность её использования при ремонте автодорог» // Портал поддержки дистанционных мультимедийных интернет-проектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://дмип.рф/files/works/661_9295.pdf (дата обращения 28.05.2023 г.).