



# ТОНКАЯ РАБОТА

Фото: istockphoto.com

**Нанотехнологии для зимней уборки дорог: новые горизонты в борьбе с обледенением и снежным покровом.**

Зимняя погода в России с ее морозами, снегопадами и обледенением создает проблемы для транспортной инфраструктуры, угрожая безопасности движения и увеличивая расходы на содержание дорог. Традиционные методы борьбы с зимними осадками, такие как использование соли и песка, имеют ряд существенных недостатков. Соль, будучи агрессивным веществом, корродирует дороги и транспортные средства, наносит вред окружающей среде, вызывая засоление почв и грунтовых вод. Песок же, особенно в условиях сильного снегопада или обледенения, часто оказывается неэффективным, не обеспечивая должного сцепления шин с дорогой.

В поисках более эффективных решений ученые обратились к нанотехнологиям. Наноматериалы предлагают инновационные методы предотвращения обледенения, удаления снега и повышения безопасности дорожного движения зимой.

## НАНОПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

- Нанопокрывтия из диоксида титана. Диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) — материал с фотокаталитическими свойствами, то есть он способен разлагать органические вещества под воздействием солнечного света. Нанопокрывтия из диоксида титана, нанесенные на дорожное полотно, препятствуют образованию льда за счет разложения органических веществ, которые провоцируют его образование. Кроме того,  $\text{TiO}_2$  обладает гидрофильным свойством, способствуя самоочищению поверхности от грязи и пыли, что также снижает вероятность образования льда.

- Нанопокрывтия из оксида графена. Оксид графена обладает высокой прочностью, гидрофобностью (отталкиванием воды) и способностью к самоочищению. Нанопокрывтия из оксида графена, нанесенные на дорожное полотно, препятствуют образованию льда за счет снижения адгезии воды к поверхности. Кроме того, оксид графена обладает высокой электропроводностью, что позволяет использовать его в системах обогрева дорожного покрытия, повышая эффективность борьбы с обледенением.
- Нанопокрывтия из углеродных нанотрубок. Углеродные нанотрубки, обладающие высокой прочностью, электропроводностью и способностью к самовосстановлению, представляют собой перспектив-

ный материал для создания нанопокрывтий, предотвращающих образование льда. Нанесенные на дорожное покрытие углеродные нанотрубки создают проводящий слой, обеспечивающий равномерный прогрев поверхности, что препятствует образованию льда.

## НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОБАВЛЕНИЯ В АСФАЛЬТ

- Наночастицы из оксида цинка. Наночастицы  $\text{ZnO}$  обладают высокой температурой плавления, что позволяет повысить устойчивость асфальта к образованию льда. Кроме того,  $\text{ZnO}$  способен отражать инфракрасное излучение, что снижает нагрев асфальта в летний период и препятствует его деформации.
- Наночастицы из оксида железа. Наночастицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  обладают способностью поглощать солнечные лучи и преобразовывать их в тепловую энергию, что позволяет повысить температуру асфальта и снизить вероятность образования льда. Кроме того, оксид железа может быть использован в качестве пигмента для создания светлых асфальтовых покрытий, которые отражают больше света, что снижает нагрев асфальта в летний период.
- Наночастицы из кремнезема. Наночастицы  $\text{SiO}_2$  обладают гидрофобными свойствами, то есть отталкивают воду. Добавление кремнезема в асфальт повышает его гидрофобность и снижает вероятность образования льда. Кроме того, кремнезем обладает способностью к самоочищению, что позволяет сохранять дорожное покрытие чистым и снизить риск образования льда.

## НАНОМАТЕРИАЛЫ В СОСТАВЕ АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЕЙ

- Наночастицы из полиэтиленгликоля. Наночастицы PEG обладают способностью снижать температуру замер-

зания воды, что позволяет использовать их в антиобледенительных жидкостях для повышения их эффективности. PEG также является экологически чистым материалом, что делает его привлекательным для использования в зимней уборке дорог.

- Наночастицы из карбоксиметилцеллюлозы. Наночастицы СМС обладают способностью к образованию геля, который задерживает воду и препятствует ее замерзанию. Добавление СМС в антиобледенительные жидкости повышает их эффективность и снижает количество используемых материалов. СМС также является биоразлагаемым материалом, что делает его экологически безопасным.

## НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СНЕГА

- Нанопокрывтия из политетрафторэтилена. PTFE, известный как тефлон, обладает очень низким коэффициентом трения. Нанесение PTFE на лопасти снегоочистительной техники снижает трение и повышает эффективность ее работы. Кроме того, PTFE имеет гидрофобные свойства, что препятствует прилипанию снега и льда к лопастям, повышая производительность техники.
- Нанопокрывтия из оксида графена. Оксид графена, как было сказано выше, имеет высокую прочность и способен к самоочищению. Нанесение оксида графена на лопасти снегоочистительной техники повышает их износостойкость и предотвращает прилипание снега. Кроме того, оксид графена может быть использован в качестве проводящего материала для создания систем обогрева лопастей, что позволит снизить прилипание снега и повысить эффективность работы техники.
- Наночастицы из оксида алюминия. Наночастицы  $Al_2O_3$  обладают способностью повышать плотность и вязкость жидкости. Добавление оксида алюминия в растворы для размягчения снега повышает эффективность очистки и снижает расход материалов. Кроме того, оксид алюминия может повысить прочность и износостойкость шлангов и насосов снегоуборочной техники.
- Наночастицы из карбоната кальция. Наночастицы  $CaCO_3$  способны адсорбировать влагу, поглощая ее со снежного покрова. Поэтому добавление их в растворы для размягчения снега ускоряет процесс его таяния. Кроме того, карбонат кальция является экологически чистым материалом, что делает его привлекательным для использования в зимней уборке дорог.

## ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

- В Финляндии используют нанопокрывтия из диоксида титана ( $TiO_2$ ), которые предотвращают образование льда за счет разложения органических веществ, повышая противоскользкие свойства дорожного покрытия.
- В Швеции применяют наночастицы из оксида железа ( $Fe_2O_3$ ), их добавляют в асфальт для повышения его температуры и снижения вероятности образования льда, обеспечивая более длительный срок службы асфальтового покрытия.

- В США разработан антиобледенительный раствор на основе наночастиц из полиэтиленгликоля (PEG), который повышает эффективность работы снегоуборочной техники и снижает потребность в использовании соли, минимизируя вредное воздействие на окружающую среду.
- В России ведутся исследования по применению наночастиц из оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) для повышения эффективности снегоочистительных работ, улучшения качества и скорости уборки снега с дорог.
- В Китае используют нанопокрывтия из углеродных нанотрубок для защиты мостов и тоннелей от обледенения, обеспечивая безопасное движение транспорта в сложных зимних условиях.
- В Южной Корее разрабатывают нанопокрывтия для автомобильных шин, которые повышают сцепление с дорогой в зимних условиях, тем самым снижая риск дорожно-транспортных происшествий.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Нанотехнологии, «сориентированные» на снегоуборочные работы, находятся в стадии активного развития. Они обещают весьма эффективные и экологически чистые решения для борьбы с обледенением и снегопадом.

- Интеллектуальные нанопокрывтия. В ближайшем будущем нанопокрывтия для дорог могут быть снабжены датчиками, которые будут контролировать образование льда и автоматически включать систему обогрева, обеспечивая безопасное движение в зимний период.
- Самовосстанавливающиеся нанопокрывтия. Разрабатываются нанопокрывтия, способные к самовосстановлению после повреждений. Это позволит продлить срок службы дорожного полотна, сократить затраты на его ремонт и уменьшить стоимость дорожных работ.
- Наноматериалы для оптимизации энергопотребления. Разрабатываются наноматериалы, которые смогут эффективно накапливать и выделять тепловую энергию, что позволит оптимизировать энергопотребление при борьбе с обледенением и снегопадом, сокращая затраты на электроэнергию и снижая экологический след зимней уборки.
- Нанотехнологии для создания умных дорог. Разрабатываются системы мониторинга и управления дорожным покрытием, которые в реальном времени будут отслеживать погодные условия, уровень осадков и температуру, автоматически включая системы обогрева, очистки и посыпки дороги.

Нанотехнологии предлагают перспективные решения для борьбы с обледенением и снегопадом, обеспечивая новый уровень безопасности и комфорта на дорогах в зимний период. Разработка и внедрение наноматериалов для зимней уборки дорог — важный шаг к созданию более безопасной, комфортной и экологически чистой транспортной инфраструктуры.

*Егор Шестаков*