

УДК 624.139

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Козлов С.И., преподаватель кафедры АДиГК,  
Абрамова А.С., студент гр. СДб-211, IV курс

Научный руководитель: Иванов С.А., доцент, к.т.н. кафедры АДиГК

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Строительство автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты – сложную техническую задачу, обусловленная специфическими климатическими и геологическими условиями. Вечная мерзлота характеризуется нестабильностью грунтов, вследствие изменения температуры, образуются деформации, выраженные просадками дорожного полотна, широкими трещинами в дорожной одежде, развитием склоновых процессов на откосах дороги. Это требует применения инновационных методов укрепления грунтов для обеспечения долговечности и безопасности дорожного полотна.



Рисунок 1 – деформации на автомобильной дороге в зоне вечной мерзлоты

Зона вечной мерзлоты охватывает значительные территории России, Канады, Аляски и других регионов. В этой зоне грунт остаётся замершим в течение двух и более лет. Основные проблемы при строительстве дорог в этих условиях:

- нестабильность грунтов из-за сезонного оттаивания и замерзания,
- возможность просадки дорожного полотна,
- необходимость минимизации теплового воздействия на грунт.

Эти факторы требуют применения специальных методов укрепления грунтов и проектирования дорожных конструкций.

## Традиционные методы укрепления грунтов

До недавнего времени для укрепления грунтов в зоне вечной мерзлоты использовались следующие методы [1]:

- Устройство теплоизоляционных слоев из пенополистирола или других материалов для предотвращения оттаивания грунта.
- Использование дренажных систем для отвода воды и снижения воздействия влаги на грунт.
- Применение щебеночных и гравийных подушек для стабилизации дорожного полотна.

Однако эти методы не всегда обеспечивают достаточную надежность, особенно в условиях изменения климата.

## Иновационные методы укрепления грунтов

Современные технологии направлены на повышение устойчивости дорожных конструкций и минимизацию воздействия на вечную мерзлоту. Среди них выделяются:

### 1 Термостабилизация грунтов.

- Использование термосвая (термостабилизаторов). Это устройства, которые погружаются в грунт и обеспечивают его охлаждение. Они работают по принципу теплообмена [2]. Верхняя часть термосвая находится в контакте с холодным воздухом, а нижняя — с грунтом. Зимой термосвая отводят тепло из грунта, способствуя его замерзанию. Летом они предотвращают проникновение тепла в грунт, сохраняя его замерзшим.

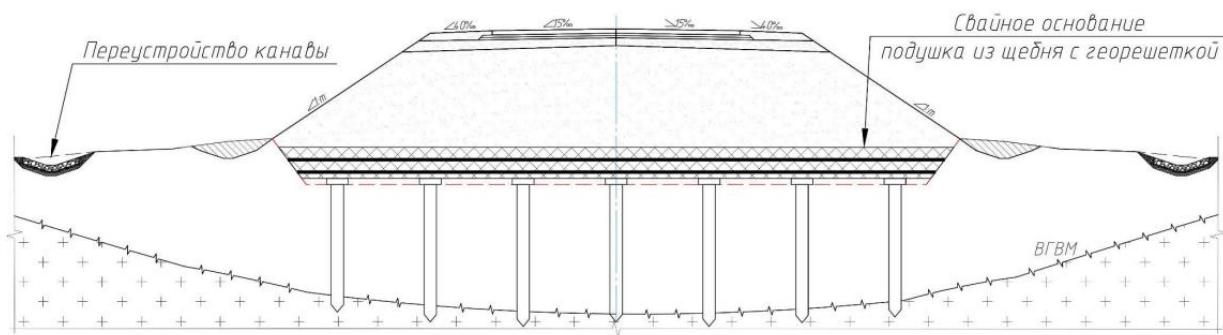


Рисунок 2 – устройство основания на термосваях

- Применение активных систем охлаждения, таких как тепловые насосы, для регулирования температуры грунта. Они отводят тепло от грунта и рассеивают его в атмосфере.

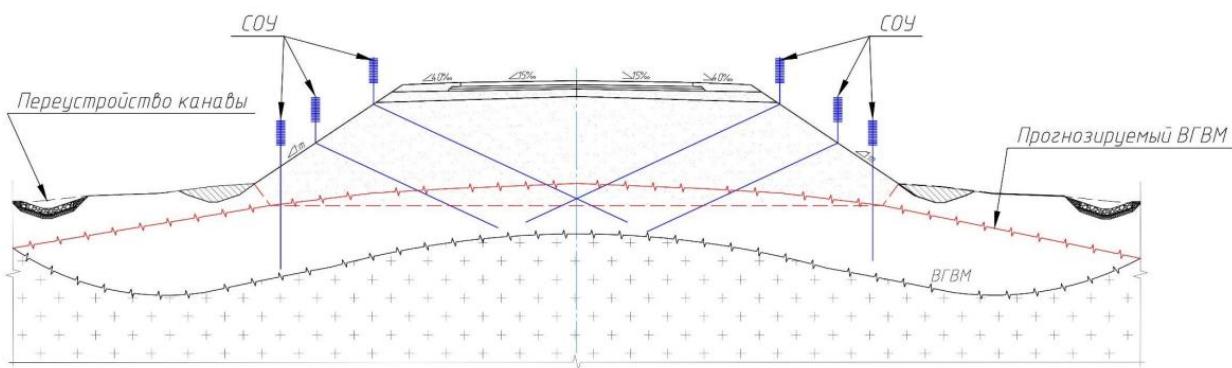


Рисунок 3 – Сезонные охлаждающие устройства (СОУ) по периметру дороги

- Для предотвращения теплопередачи используются теплоизоляционные материалы, такие как пенополистирол или минеральная вата. Они укладываются под дорожным полотном, чтобы минимизировать тепловое воздействие на грунт. Теплоизоляция особенно эффективна в сочетании с другими методами термостабилизации.

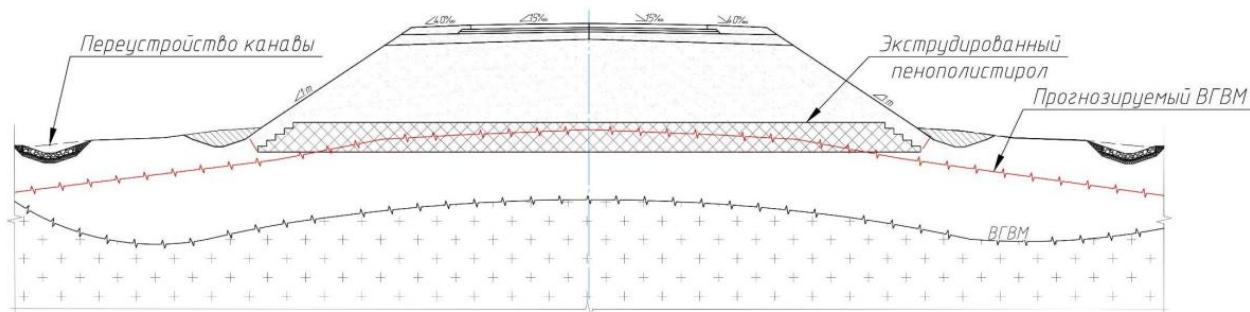


Рисунок 4 – теплоизоляция всего полотна автодороги экструдированным пенополистиролом (ЭПС)

## 2. Геосинтетические материалы.

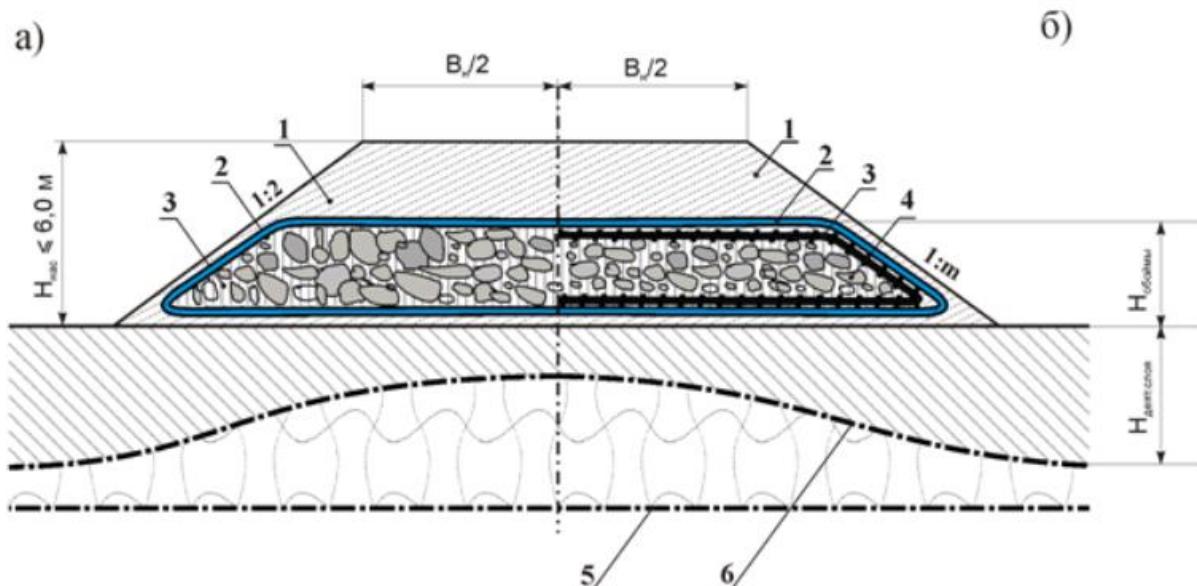
Использование геосинтетических материалов [3] при строительстве автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты является эффективным решением для повышения устойчивости и долговечности дорожных конструкций. Эти материалы позволяют решать проблемы, связанные с нестабильностью грунтов, и обеспечивают надежность дорожного полотна в сложных климатических условиях.

Геотекстиль – нетканый или тканый материал, используемый для разделения слоев грунта и фильтрации воды, предотвращающий смешение грунтов и улучшают дренажные свойства дорожного полотна.

Георешетки – это объемные конструкции из полимерных лент, которые армируют грунт и повышают его несущую способность. Используются для стабилизации слабых грунтов и предотвращения их смещения.

Геомембранны – герметичные пленки, применяемые для гидроизоляции и защиты грунта от проникновения воды. Особенно важны в условиях вечной мерзлоты, где избыточная влага может привести к оттаиванию грунта.

Геосетки представляют собой плоские конструкции с ячейками, которые армируют грунт и распределяют нагрузки. Применяются для усиления дорожного полотна и предотвращения трещинообразования.



1 – грунт насыпи; 2 – ГМ «КАНВАЛАН-М»; 3 – георешетка «АПРОЛАТ СД(М)»; 4 – грунт, в т.ч. мерзлый комковатый (глинистый или торфяной) в нижней части насыпи; 5 – ВГММГ в естественных условиях; 6 – то же после постройки насыпи

Рисунок 5 – конструктивное решение по применению геосинтетических материалов в районах распространения вечномерзлых грунтов и островной мерзлоты

### 3. Химическое укрепление грунтов.

Этот подход предполагает введение в грунт химических реагентов для изменения его физико-химические свойства свойств, повышения прочности и устойчивости. Основные принципы:

- Связывание частиц грунта для повышения его прочности.
- Снижение влажности грунта за счет химических реакций.
- Создание устойчивой структуры к деформациям.

Силикатные растворы (например, жидкое стекло) вводятся в грунт, где они вступают в реакцию с его компонентами. В результате образуется гель, который связывает частицы грунта и повышает его прочность.

Цементные и известковые растворы используются для стабилизации грунта. Они образуют твердую матрицу, которая укрепляет грунт и предотвращает его деформацию.

Полимерные добавки (например, акриловые смолы) вводятся в грунт для улучшения его свойств, создают прочные связи между частицами грунта, повышая его устойчивость к нагрузкам. Реагенты, такие как хлорид кальция, используются для снижения влажности грунта. Они абсорбируют воду, что способствует укреплению грунта.

#### 4. Мониторинг и управление температурным режимом.

Для отслеживания состояния грунта используются специальные датчики, которые позволяют собрать и проанализировать данные. Собранные данные позволяют эффективно контролировать состояние грунта и предотвращать негативные последствия, связанные с изменением климата и эксплуатационных нагрузок.

#### 5. Биотехнологические методы.

Использование микроорганизмов. Некоторые бактерии способны выделять вещества, укрепляющие грунт, что может быть использовано для повышения его стабильности.

Преимущества инновационных методов:

- Повышение долговечности дорожных конструкций.
- Снижение затрат на обслуживание и ремонт дорог.
- Минимизация экологического воздействия на вечную мерзлоту.
- Улучшение безопасности и комфорта для транспортных средств.

Инновационные методы укрепления грунтов в зоне вечной мерзлоты открывают новые возможности для строительства надежных и долговечных автомобильных дорог. Они позволяют учитывать специфические условия вечной мерзлоты и минимизировать риски, связанные с деформацией грунтов. Дальнейшее развитие этих технологий будет способствовать улучшению транспортной инфраструктуры в северных регионах и повышению их экономического потенциала.

**Список литературы:**

1. Иванов А.В. «Строительство дорог в условиях вечной мерзлоты». М.: Стройиздат, 2020.
2. Петров С.И. «Иновационные технологии в дорожном строительстве». СПб.: Дорога, 2019.
3. ГОСТ Р 55028-2012 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства».