

# ВЛИЯНИЕ МОРОЗОЗАЩИТНОГО СЛОЯ ИЗ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ НА МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Р.С Картабаев обучающийся 4-го курса

Руководитель: И.А Федосова, преподаватель специальных дисциплин первой квалификационной категории  
 ГАПОУ НСО «Новосибирский колледж автосервиса и дорожного хозяйства»  
 г.Новосибирск



## Проблема:

Глубокое сезонное промерзание, широкое распространение пучинистых грунтов и повышенная увлажненность территории являются основными условиями появления большого количества деформаций и разрушений дорожных конструкций после каждого цикла промерзания/оттаивания грунта земляного полотна. Данный факт значительно **СНИЖАЕТ КАЧЕСТВО И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ** работы автомобильных дорог

## Актуальность

Результаты многолетних исследований для территории средней и южной частей Западной Сибири, показали, что изменение транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог во многом определяется динамикой природно-климатических условий, особенно в районах с избыточным увлажнением и глубоким сезонным промерзанием грунтов

## Цель:

исследовать влияния морозозащитного слоя из гранулированной пеностеклокерамики на температурный режим и морозное пучение грунтов земляного полотна при моделировании инженерных сооружений, работающих в режиме сезонного промерзания.

## Задачи:

1. Разработать экспериментальный стенд, необходимый для моделирования и исследования процессов промерзания в конструкциях инженерных сооружений.
2. На разработанном экспериментальном стенде провести исследования температурного, влажностного и деформационного режима грунтов земляного полотна инженерных сооружений, работающих в режиме промерзания, с морозозащитным слоем из ГПСК в сравнении с другими теплоизоляционными материалами и без них.
3. На основании проведенных исследований обосновать конструктивные решения и разработать практические рекомендации по проектированию и модернизации автомобильных дорог на пучинистых участках с использованием ГПСК в качестве морозозащитного слоя

## Практическая значимость:

Разработанный экспериментальный стенд позволяет воспроизвести условия промерзания дорожной конструкции и сравнить эффективность морозозащитных слоев из разных теплоизоляционных материалов в конструкциях инженерных сооружений, работающих при различных температурных и грунтовых условиях. Полученные данные необходимо использовать при принятии проектных решений в пользу тех или иных конструкций.

## Методы исследования:

использованы методы исследования, включающие: литературный и патентный поиск; анализ и систематизация существующих методов устройства морозозащитных слоев в конструкциях автомобильных дорог на основе отечественного и зарубежного опыта инженеров-дорожников, инженеров-геологов, геокриологов, теплофизиков, мерзлотоведов; выполнены теоретические исследования и теплофизические эксперименты с использованием методов математического моделирования и математической статистики.

## Основной этап:

Пучинами называют деформации дорожных одежд и земляного полотна, проявляющиеся в холодный период года во взбухивании и потере ровности покрытия, а в период оттаивания при проезде автомобилей – в проломах дорожной одежды, вызванных снижением прочности переувлажненных грунтов

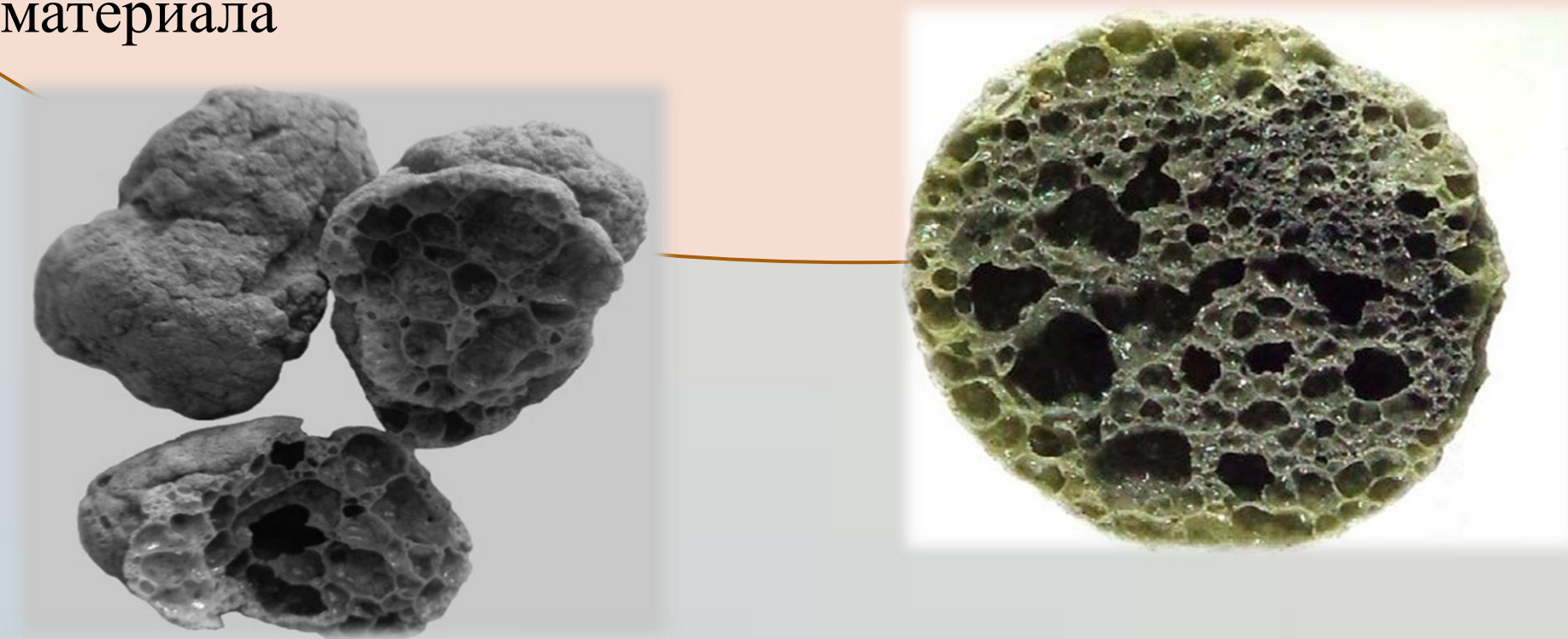


Гранулированная пеностеклокерамика разных фракций

### Основные свойства гранулированной пеностеклокерамики

| Наименование показателя   | Значения, по фракциям, мм |         |        |         |
|---|---------------------------|---------|--------|---------|
|   | 1,25 - 2,5                | 2,5 - 5 | 5 - 10 | 10 - 20 |
| Насыпная плотность, кг/м³   | 350                       | 270     | 220    | 190     |
| Прочность при сжатии в цилиндре, МПа                                  | 2,8                       | 2,2     | 1,7    | 1,2     |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) в сухом состоянии                          | 0,090                     | 0,085   | 0,086  | 0,082   |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) в водонасыщенном состоянии                 | -                         | 0,205   | 0,159  | 0,143   |
| Водопоглощение по массе, %  | -                         | -       | -      | 4 - 6   |
| Морозостойкость, циклы  | -                         | -       | -      | 150     |
| Потери массы при испытании на стойкость против силикатного распада, % | -                         | -       | -      | 0,1     |

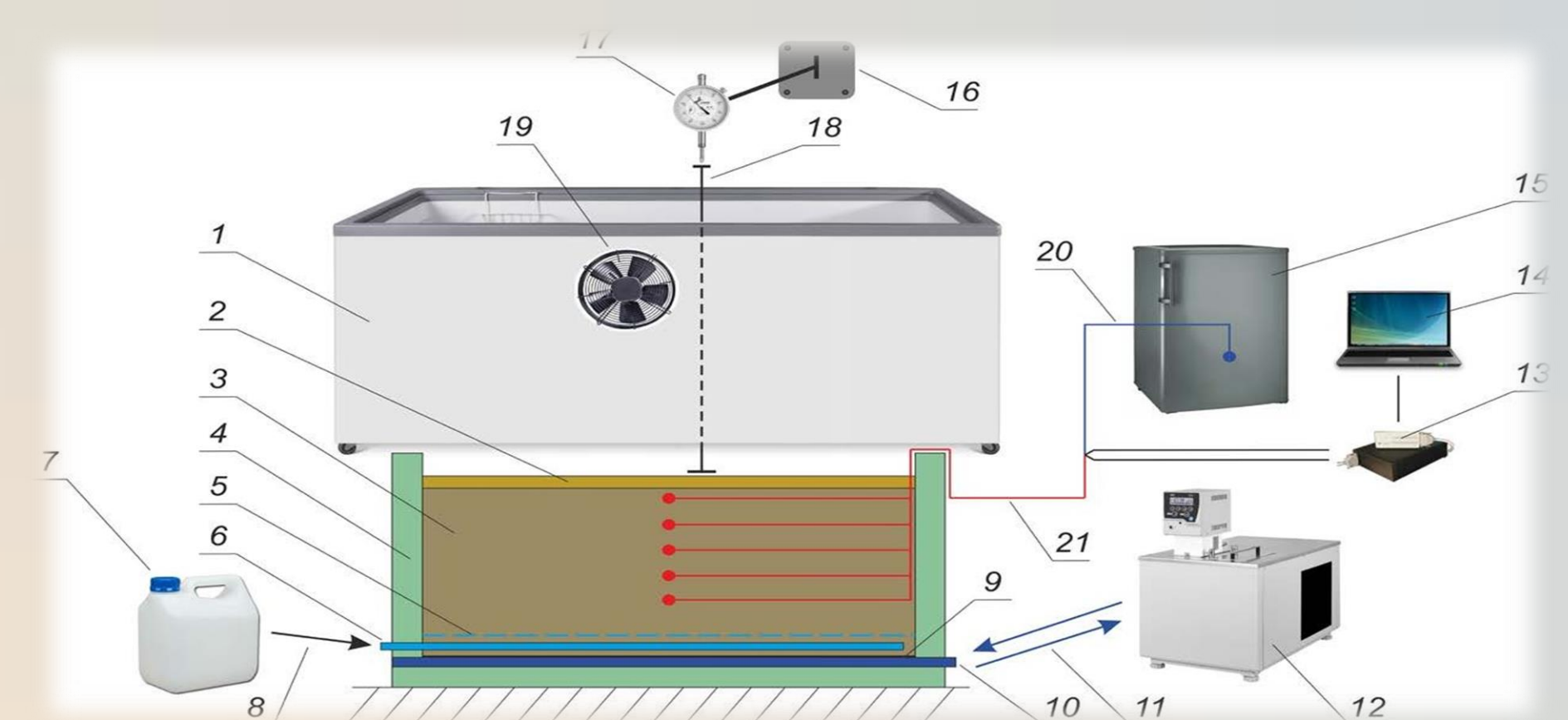
**Гранулированная пеностеклокерамика (ГПСК)** представляет собой окатанный материал в виде гравия серо-зеленого цвета разных фракций ГПСК имеет высокую пористость, за счет чего достигаются высокие теплоизоляционные характеристики материала



Применение в автодорожном строительстве

## Практический этап:

### Схема разработанного экспериментального стенда



1 – морозильная камера, 2 – теплоизоляционный слой, 3 – грунт, 4 – грунтовый лоток, 5 – уровень грунтовых вод, 6 – перфорированная трубка, 7 – внешний резервуар для подачи воды, 8 – патрубков для подачи воды, 9 – металлическая пластина, 10 – трубчатая охладительная система, 11 – входящий и исходящий патрубки подачи хладагента, 12 – термостат, 13 – измеритель температуры многоканальный, 14 – ноутбук, 15 – холодильная камера, 16 – устройство крепления индикатора часового типа, 17 – индикатор часового типа, 18 – металлический стержень, 19 – вентилятор (внутри морозильной камеры), 20 – шлейф с нулевыми спаями разностных термодатчиков, 21 – шлейф с измерительными спаями разностных термодатчиков

### Внешний вид экспериментального стенда



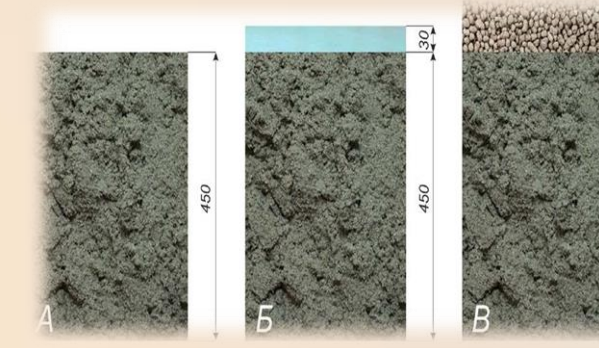
### Экспериментальное исследование

Эксперимент проводился для 3 моделируемых конструкций: модель с пенополистиролом, модель с ГПСК фракции 5-10 мм и в дополнение к двум моделям с устройством слоя каждого из перечисленных теплоизоляционных материалов, была организована одна дополнительная модель без теплоизолятора. Конструкции испытываемых моделей показаны на рисунке.

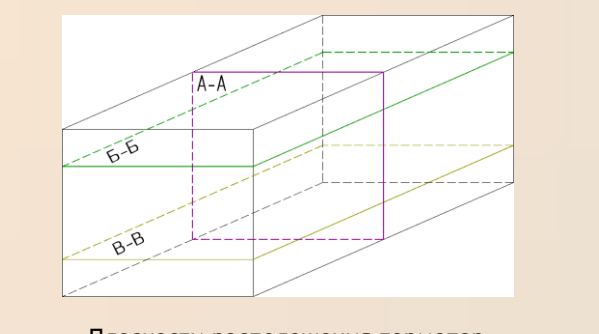
В качестве земляного полотна использовался супесок легкой пылеватой с изначальной влажностью 17%. В модели с пенополистиролом толщина морозозащитного слоя составила 60 мм. Характеристики материалов, взятых для испытаний, представлены в таблице 1

Предполагается, что модель без теплоизолятора должна промерзнуть на значительную глубину, что инициирует процессы морозного пучения. Модели с устройством теплоизоляционного слоя должны промерзнуть на меньшую глубину (при этом незначительное промораживание земляного полотна является приемлемым).

Пенополистирол укладывался на подготовленное суффинное земляноеполотно одной плитой в соответствии с размерами открытой части лотка 900×500 мм. В модели с ГПСК засыпка материала производилась на всю площадь подготовленного суффинного земляного полотна из гранул фракции 5-10 мм.



Экспериментальные модели: А – без теплоизолятора, Б – пенополистирольный плиты, В – гранулированная пеностеклокерамика



Плоскости расположения термодатчиков

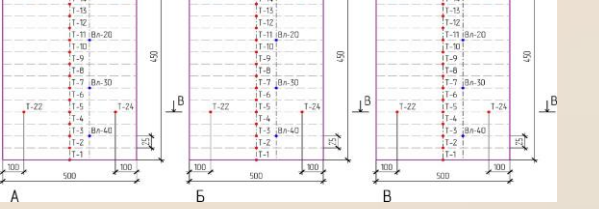
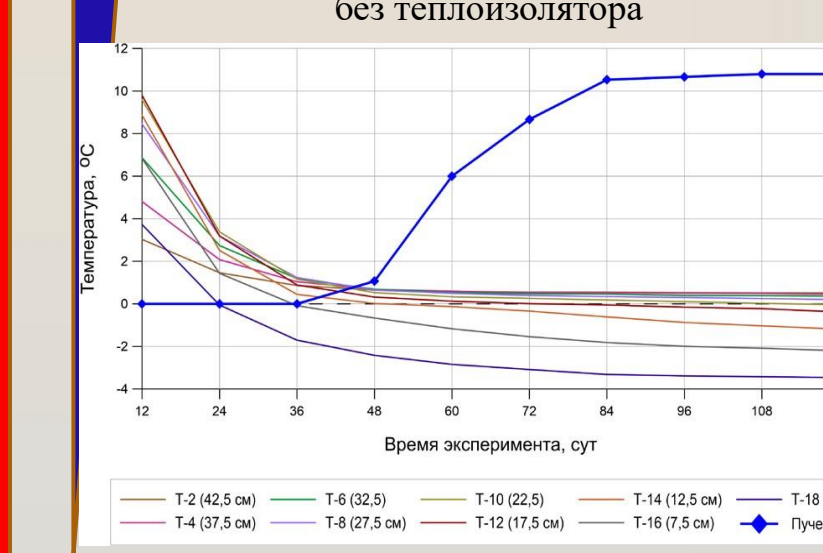


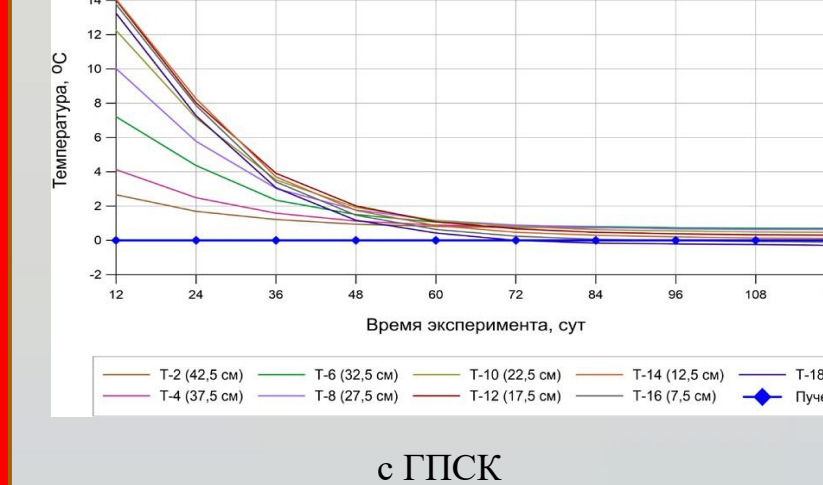
Схема расположения плоскости термодатчиков

### Мониторинг результатов:

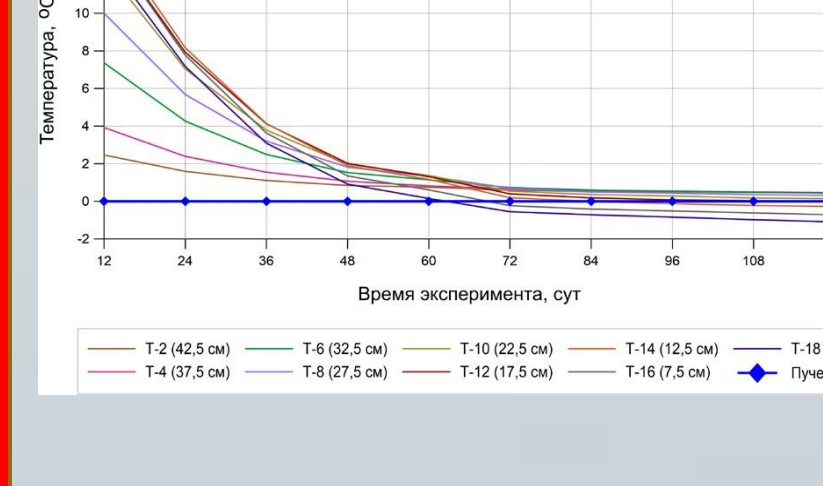
без теплоизолятора



с пенополистиролом



с ГПСК



Динамика температуры и морозного пучения в экспериментах № 1, №2, №3

1. В нижнюю часть лотка помещался капиллярно-пористый материал (крупнозернистый песок) толщиной 7,5 см. На верхнюю часть слоя укладывался водонепроницаемый тканевый материал для предотвращения перемешивания различных грунтовых сред.
  2. Приготовленный для эксперимента влажный грунт (W=17%) послойно укладывался в лоток под некоторым усилием для устранения воздушных прослоек и пустот. Совместно с укладкой грунта устанавливались термодатчики согласно описанным выше схемам. На момент укладки датчиков они уже были пронумерованы, подключены к АЦП и готовы к работе. Для каждого эксперимента использовался новый грунт, доставленный с места отбора.
  3. В систему моделирования уровня грунтовых вод добавлялась вода.
  4. Уложенный послойно влажный грунт оставлялся на 12 часов для восстановления локального перераспределения полей влажности, возникших в ходе укладки до равномерного состояния. А также для достижения нулевой влажности (в зависимости от модели) и одновременно сверху морозильная камера закрывалась теплоизолирующей крышкой. Прут крепился к датчику перепадов (ИЧ-2) для измерения вертикальных деформаций
  5. На следующем этапе предусматривалась укладка теплоизоляционного материала. В модель без теплоизолятора (эксперимент №1) дополнительно на поверхность грунта укладывалась полиэтиленовая пленка во избежание изменения влажности в процессе эксперимента за счет испарения. С этой же целью засыпка ГПСК в эксперименте №3 производилась на полиэтиленовую пленку. В эксперименте №2 пенополистирол укладывался сразу же на подготовленный грунт.
  6. Перед установкой морозильной камеры на боковые грани лотка укладывались теплоизоляционные прослойки из плотного тканевого материала, чтобы избежать больших щелей в местах соприкосновения морозильной камеры с лотком. Сверху на лоток устанавливалась морозильная камера. Дополнительно с внутренней стороны камеры тщательно изолировались образовавшиеся щели между морозильной камерой и лотком мягким тканевым материалом во избежание теплообмена с внешней средой в процессе эксперимента
  7. На подготовленные подставки в центр морозильной камеры устанавливался и фиксировался вентилятор. Далее монтировался металлический прут с квадратной подложкой на грунт или слой теплоизоляционного материала (в зависимости от модели) и одновременно сверху морозильная камера закрывалась теплоизолирующей крышкой. Прут крепился к датчику перепадов (ИЧ-2) для измерения вертикальных деформаций
  8. На следующем этапе включали термостат и выставляли заданную температуру на терморегуляторе равную 0°C. Циркуляционная жидкость приобретает данную температуру в течение 20 минут и путем перекачки тосола по циркуляционному замкнутому контуру передает ее металлической плите, установленной в нижней части лотка. В свою очередь плита начинает равномерно охлаждать до нужной температуры нижние слои грунта экспериментальной модели. Проверка температуры циркулирующей жидкости осуществлялась путем термометра под номером Т-30, установленной в ванну с тосолом в термостате. Отклонений от заданной температуры не наблюдалось. Это говорит о том, что поддержание температуры строго соблюдалось на протяжении всего эксперимента. По различным источникам в природных условиях температура почвы в осенний период до начала промерзания на глубине 50 см колеблется около 0°C и меняется для конкретной местности в зависимости климатической зоны. Исходя из этих соображений значение температуры для нижней границы экспериментальной модели принимается равным 0°C
  9. После включения в настройку термостата на нужной режим подключалась морозильная камера. При проведении экспериментальных испытаний в морозильной камере поддерживалась температура воздуха минус 8,5 °С. Условия и последовательность проведения экспериментов по предложенной методике близки к условиям, prevailing зимой при промерзании дорожных конструкций. Теплоизоляция всей экспериментальной установки в целом достаточно эффективна, чтобы исключить существенный приток тепла извне. На протяжении хода экспериментов контроль температуры в морозильной камере осуществлялся установленной в нее термометра под номером Т-29. Скачков температуры не наблюдалось.
  10. Далее включался вентилятор с необходимой скоростью вращения лопастей.
  11. На последнем этапе включался АЦП и переводился в мониторинговый режим. Запись данных с термодатчиков осуществлялась каждые 30 секунд.
- В общей сложности каждый эксперимент по промораживанию опытной модели длился 120 часов, в течение которых в грунт формируются поле влажности и температуры. По истечении 120 часов показания термодатчиков уже практически не изменялись, что указывает на окончание процесса промерзания.
- Условия и последовательность проведения экспериментов по предложенной методике близки к условиям, prevailing зимой при промерзании дорожных конструкций. Теплоизоляция всей экспериментальной установки в целом достаточно эффективна, чтобы исключить существенный приток тепла извне. На протяжении хода экспериментов контроль температуры в морозильной камере осуществлялся установленной в нее термометра под номером Т-29. Скачков температуры не наблюдалось.

В результате проведенных исследований определено: наблюдение за температурным режимом показало, что глубина промерзания в одинаковых условиях на кончике эксперимента составила: в модели без теплоизолятора 24 см, в модели с пенополистиролом – 10,5 см, в модели с ГПСК – 13,5 см;

- наблюдение за морозным пучением показало, что высота поднятия грунта в модели без теплоизолятора составила 8,1 мм, при тех же условиях поднятие грунта в моделях с теплоизоляторами не зафиксировано;
- наблюдение за влажностным режимом показало, что в модели без теплоизолятора

наблюдались процессы подсоса влаги к границе промерзания с образованием широким льда, в моделях с пенополистиролом и ГПСК таких процессов не зафиксировано.

1. Результаты экспериментальных исследований показали, что положительный эффект от использования ГПСК для устройства морозозащитного слоя в конструкциях инженерного сооружения достигается за счет снижения глубины сезонного промерзания грунтов земляного полотна, и, следовательно, исключения процессов морозного пучения.
2. Сопоставление экспериментальных данных с результатами математического моделирования показало хорошую сходимость – расхождение результатов физического и математического моделирования составляет 5-10%.

## Вывод:

При устройстве дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды из ГПСК положительный эффект, в виде стабилизации температурного и водного режима дорожной конструкции будет наблюдаться уже в первый год эксплуатации. Грунт естественного основания и тела насыпи приобретет дополнительную устойчивость к сезонным циклам промерзания/оттаивания, что существенно скажется на устойчивости и долговечности всей конструкции