IndorPavement

Pavement

Руководство пользователя

Проектирование дорожных одежд в IndorPavement

Оглавление

Введение 4

1. Начало работы 7

1.1. Обзор главного окна системы 8

1.2. Создание, открытие и сохранение проектов 13

1.3. Настройка параметров системы 16

2. Задание параметров проекта 18

2.1. Общие параметры 19

2.2. Параметры района проектирования 21

2.3. Параметры дороги 25

2.4. Расчётные параметры нагрузки 29

2.5. Библиотека расчётных типов автомобилей 34

2.6. Расчётные параметры относительной влажности грунта 36

2.7. Дополнительные группы параметров 38

3. Формирование конструкции дорожной одежды 39

3.1. Структура дорожной одежды 40

3.2. Работа с грунтом земляного полотна 42

3.2.1. Назначение грунта земляного полотна 43

3.2.2. Редактирование параметров грунта земляного полотна 44

3.3. Работа с конструктивными слоями 48

3.3.1. Добавление конструктивного слоя 49

3.3.2. Редактирование параметров конструктивного слоя 51

3.3.3. Выбор марки битумного вяжущего 59

3.3.4. Перемещение конструктивного слоя 61

3.3.5. Удаление конструктивного слоя 62

3.4. Работа с геосинтетическими материалами 63

3.4.1. Добавление геосинтетического материала 64

3.4.2. Редактирование параметров геосинтетического материала 65

3.4.3. Перемещение и удаление геосинтетического материала 67

3.5. Проектирование на основе типовых конструкций 68

4. Расчёт нежёстких дорожных одежд 73
4.1. Расчёт на упругий прогиб 74
4.2. Расчёт на сдвигоустойчивость 77
4.3. Расчёт на сопротивление при изгибе 80
4.4. Расчёт на статическую нагрузку 85
4.5. Расчёт морозозащитного и теплоизолирующего слоёв 88
4.6. Расчёт дренирующего слоя 91
4.7. Прогнозирование образования колей 96
4.8. Особенности расчёта конструкций под большегрузные автомобили 99
4.9. Расчёт для дорог с низкой интенсивностью движения 101
4.10. Усиление конструкции дорожной одежды 103
4.11. Ход работы 107
5. Расчёт с учётом геосинтетических материалов 109
5.1. Учёт геосинтетического материала в расчёте конструкции 110
5.2. Геотекстиль 112
5.3. Плоские георешётки в слоях оснований 114
5.4. Армирующие геосетки в слоях асфальтобетона 116
5.5. Пространственные георешётки 119
5.6. Использование нескольких типов геосинтетики в конструкции 121
Глава 6. Работа с библиотекой материалов 122
6.1. Обзор окна библиотеки материалов 123
6.2. Характеристики материалов 126
6.3. Создание пользовательских материалов 137
Глава 7. Расчёт жёстких дорожных одежд 141
7.1. Расчёт конструкции с цементобетонным покрытием 142
7.2. Расчёт конструкции со сборными покрытиями из плит 149
7.3. Расчёт конструкции на цементобетонном основании 153
8. Анализ и оптимизация конструкции дорожной одежды 157
8.1. Работа с вариантами 158
8.2. Технико-экономический анализ вариантов 163

8.3. Оптимизация конструкции 165
8.3.1. Настройка параметров оптимизации 166
8.3.2. Анализ результатов оптимизации 168
9. Формирование отчётной документации 173
9.1. Подготовка чертежа 174
9.1.1. Настройка параметров чертежа 175
9.1.2. Экспорт чертежа 180
9.2. Краткий отчёт 184
9.3. Расшифровка расчёта 186

Введение

Система расчёта дорожных одежд IndorPavement предназначена для расчёта нежёстких и жёстких конструкций дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования, городских улиц и дорог. Система позволяет производить расчёты дорожных одежд как для нового строительства, так для усиления существующих конструкций.

Основные возможности системы:

- проектирование нескольких вариантов конструкций в рамках одного проекта для проведения технико-экономического анализа;
- расчёт нежёстких и жёстких дорожных одежд на прочность по различным критериям;
- проверка конструкций на морозоустойчивость, расчёт толщины теплоизолирующего, морозозащитного и дренирующего слоёв;
- расчёт остаточных деформаций в слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна для прогнозирования колееобразования;
- учёт геосинтетических материалов в конструкциях;
- расчёт усилений конструкций;
- встроенная библиотека материалов конструктивных слоёв, геосинтетики и грунтов земляного полотна;
- оптимизация толщин слоёв конструкций;
- подготовка отчётной документации.

Система IndorPavement поддерживает следующие расчётные методики

- для нежёстких дорожных одежд:
    - ПНСТ 265–2018. «Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежёстких дорожных одежд»;
    - ОДН 218.046–01. «Проектирование нежёстких дорожных одежд»;
    - МОДН 2–2001. «Проектирование нежёстких дорожных одежд»;
    - ВСН 46–83. «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа»;

    - СП РК 3.03–104–2014. «Проектирование дорожных одежд нежёсткого типа»;
    - Инструкция по расчёту дорожных одежд нежёсткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузоподъёмностью 27–180 т;
- для жёстких дорожных одежд:
    - «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд»;
    - СП РК 3.03–103–2014. «Проектирование жёстких дорожных одежд»;
    - ОДМ 218.3.030–2013. «Методика расчёта армированных цементобетонных покрытий дорог и аэродромов на укреплённых основаниях»;
- для учёта геосинтетических материалов в конструкции:
    - ОДМ 218.5.003–2010. «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог»;
    - ОДМ 218.5.002–2008. «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешёток) для усиления слоёв дорожной одежды из зернистых материалов»;
    - ОДМ 218.5.001–2009. «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешёток для армирования асфальтобетонных слоёв усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог»;
    - ОДМ 218.5.001–2009. «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешёток для армирования асфальтобетонных слоёв усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог»;
    - ОДМ 218.3.032–2013. «Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешётками (геосотами)»;
    - СТО 09686559–002–2015. «Георешётки пластмассовые экструдированные гексагональные Tensar серии TX»;
    - Р РК 218–78–2009. «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог в условиях Республики Казахстан»;

- уточняющие:
    - СТО АВТОДОР 2.6–2013. «Требования к нежёстким дорожным одеждам автомобильных дорог Государственной компании «Автодор»;
    - ОДН 218.3.039–2003. «Укрепление обочин автомобильных дорог»;
    - ОДН 218.1.052–2002. «Оценка прочности нежёстких дорожных одежд»;
    - СП 313.1325800.2017. «Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства».

Данное руководство состоит из 9 глав, содержащих подробное описание возможностей системы IndorPavement, пользовательского интерфейса и инструментальных средств, используемых для расчёта дорожных одежд и формирования отчётной документации.

1. Начало работы

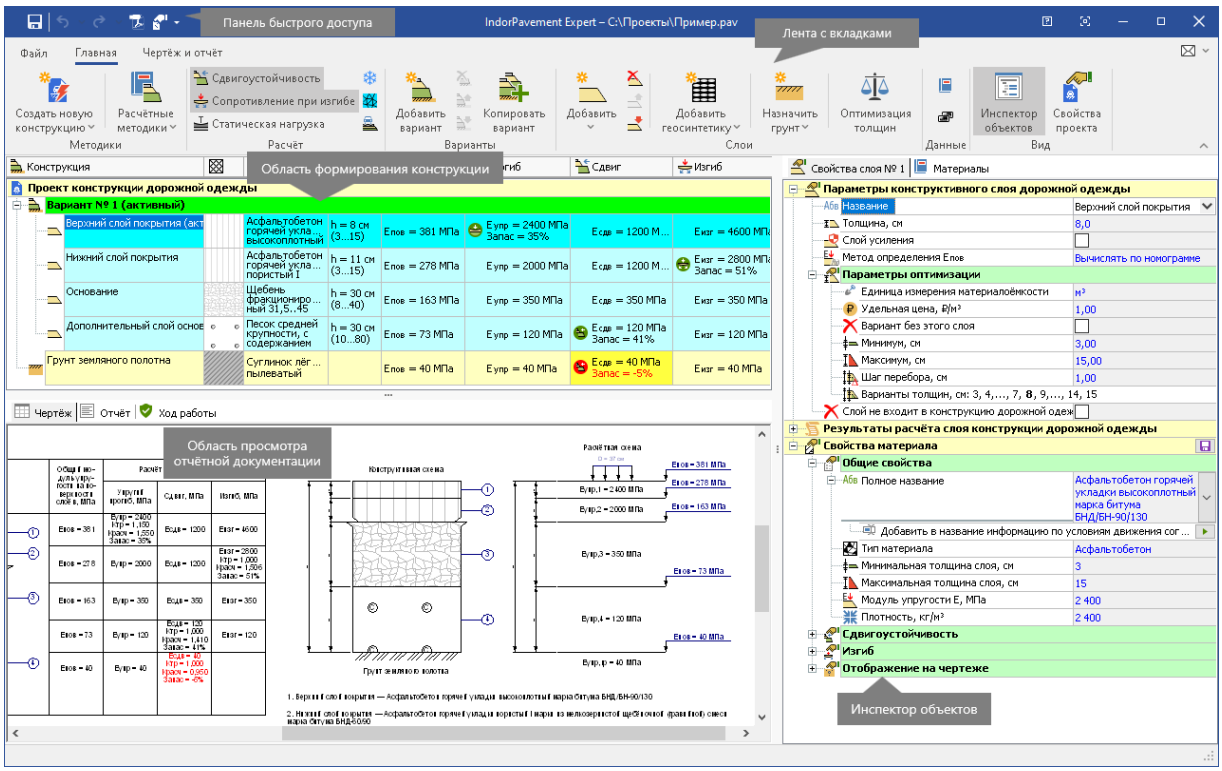
Вы приступаете к изучению системы расчёта дорожных одежд IndorPavement. В этой главе вы можете ознакомиться с элементами интерфейса системы и такими базовыми операциями, как создание, открытие, сохранение проектов и настройка системы.

1.1. Обзор главного окна системы

Главное окно системы IndorPavement состоит из следующих элементов:

- **Лента** и **Панель быстрого доступа**. Все доступные на текущий момент команды системы располагаются на вкладках ленты и панели быстрого доступа. На панели быстрого доступа размещается набор часто используемых команд.

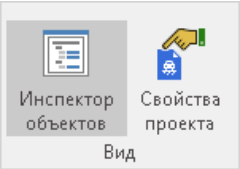
  Панель быстрого доступа может настраиваться пользователем. Нажмите правой кнопкой мыши на интересующей кнопке на ленте и в контекстном меню выберите пункт **Добавить на панель быстрого доступа**. Аналогичным способом можно удалить кнопку с панели быстрого доступа.



- **Область формирования конструкции**. Располагается в центральной части окна, здесь проектируются конструктивные решения: выполняются различные действия (создание, удаление, перемещение, копирование) с вариантами конструкций и состоящими из них слоями дорожной одежды. Для одного и того же участка проектирования можно рассчитать неограниченное количество вариантов конструкций и выбрать наиболее оптимальный. В области формирования конструкции также удобно анализировать конструктивные решения на основе краткой информации о результатах расчётов.

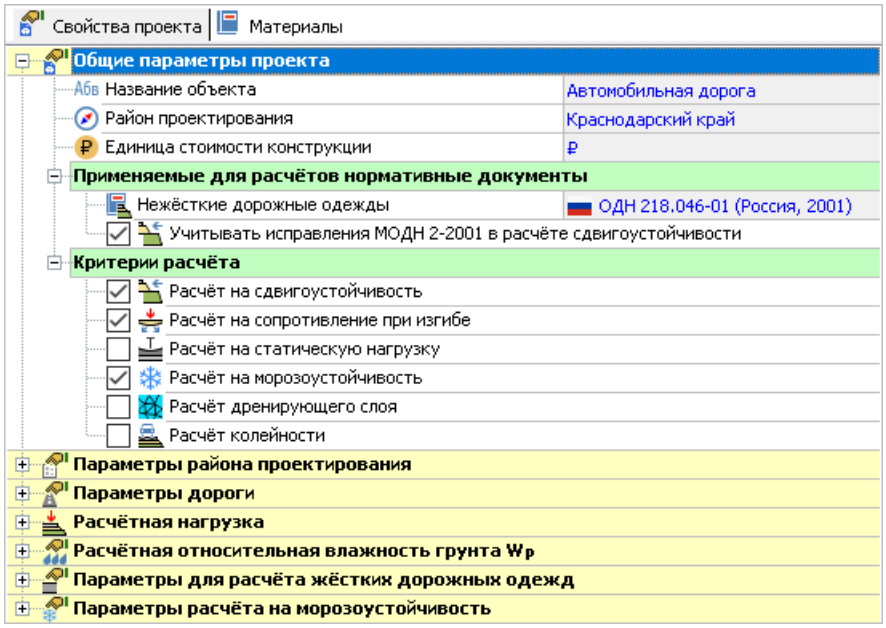
- **Область просмотра отчётной документации**. Занимает нижнюю часть окна и содержит три вкладки: **Чертёж**, **Отчёт** и **Ход работы**. На вкладке **Чертёж** отображается чертёж, который содержит расчётную и конструктивную схемы дорожной одежды для каждого варианта, таблицы исходных данных, расчётных характеристик, состава транспортного потока и вариантов для технико-экономического сравнения. При изменении конструкции дорожной одежды чертёж обновляется автоматически. На вкладке **Отчёт** в текстовом формате представлена пояснительная записка, содержащая краткую информацию об исходных данных проекта, вариантах конструкции дорожной одежды и проводимых расчётах. На вкладку **Ход работы** выводится информация о предупреждениях и ошибках, возникающих в ходе расчётов.

- **Инспектор объектов**. В правой части окна располагается инспектор объектов. На первой вкладке, в зависимости от того, какая строка выделена в области формирования конструкции, могут отображаться свойства проекта, варианта, конструктивного слоя или грунта земляного полотна. В соответствии с этим вкладка может называться **Свойства проекта**, **Свойства варианта**, **Свойства слоя** или **Свойства грунта**. Инспектор объектов можно закрывать и открывать нажатием кнопки **Главная > Вид >** **Инспектор объектов** или с помощью клавиши **F6**.

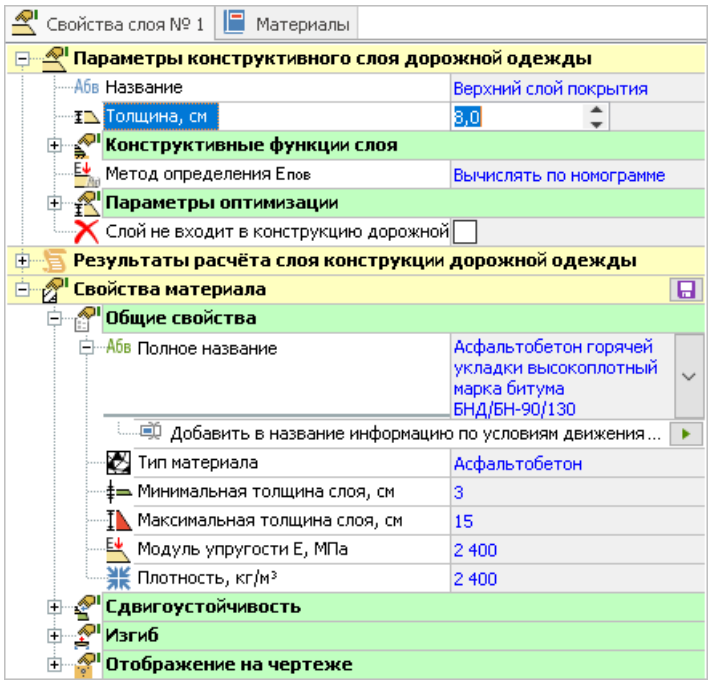


Если в области формирования конструкции дорожной одежды выделить поле **Проект конструкции дорожной одежды**, то на вкладке в инспекторе объектов отобразятся свойства, относящиеся к проекту в целом (параметры

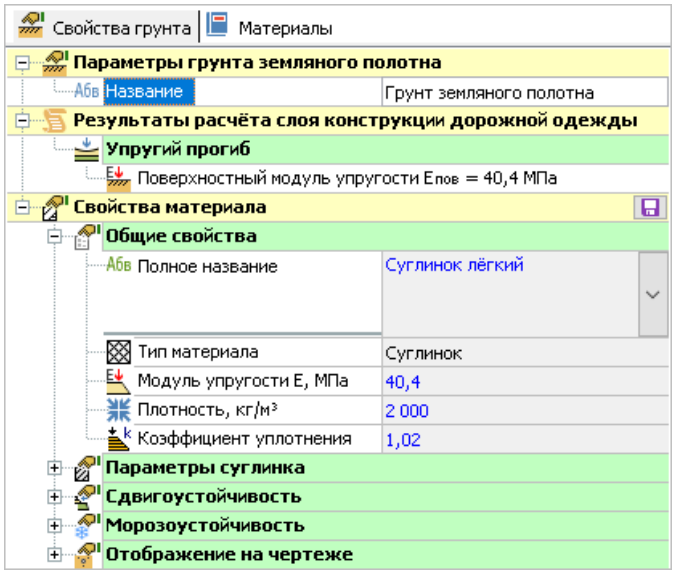
района проектирования, расчётной нагрузки и т.п.). Свойства проекта можно также открыть с помощью кнопки **Главная > Вид > Свойства проекта**.



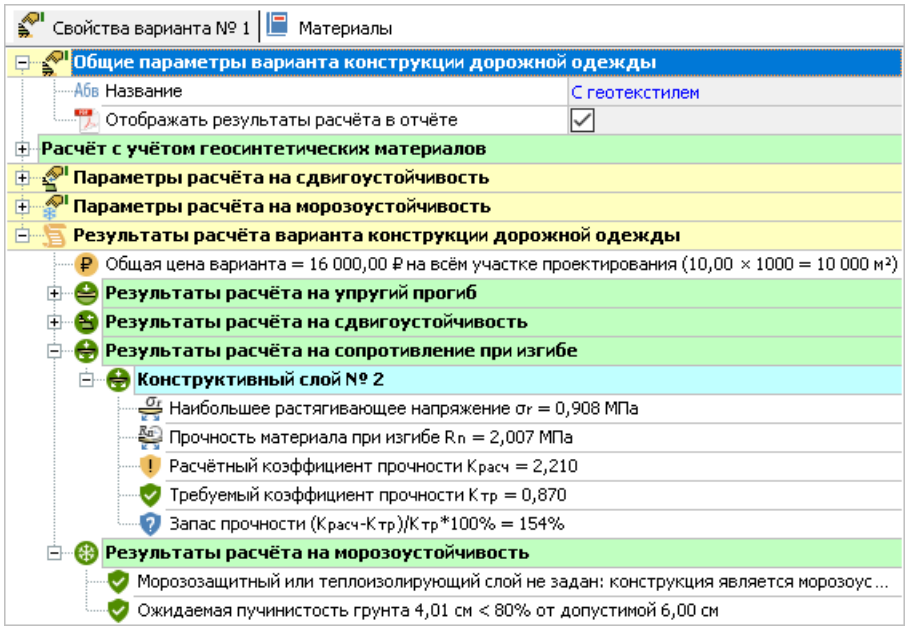
Если выделить в области формирования конструкции один из конструктивных слоёв, то на вкладке будут отображены параметры этого слоя и материала, из которого он состоит.



При выделении слоя грунта земляного полотна в инспекторе объектов отображаются его параметры и свойства материала грунта.



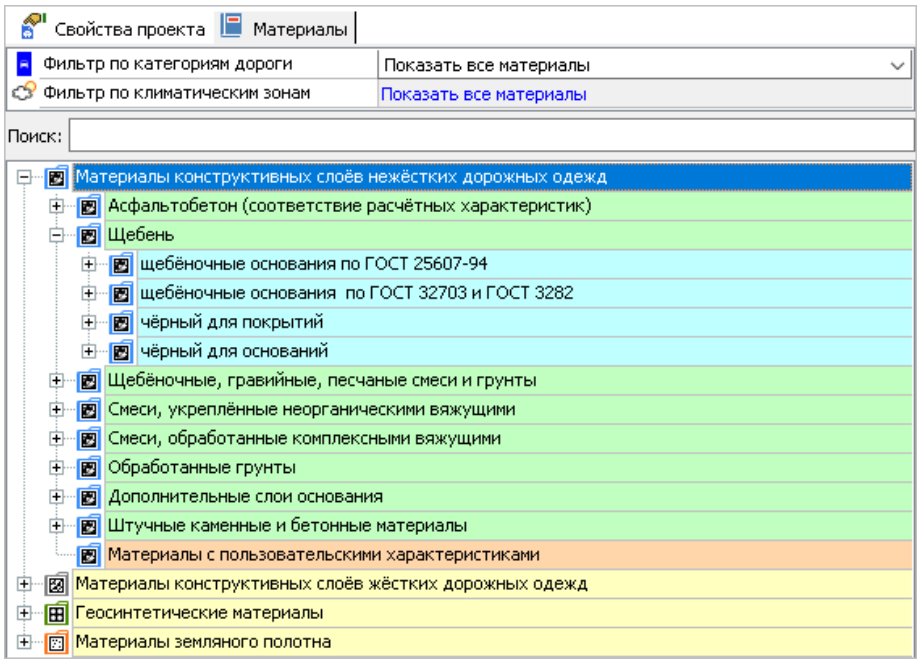
Если выделить строку с наименованием варианта конструкции, то на вкладке будут представлены его свойства и информация о результатах расчёта этого варианта.



Параметры в инспекторе объектов определённым образом разбиты на группы и структурированы. Если на данный момент группа не используется для редактирования свойств, то её можно скрыть, нажав рядом с названием группы кнопку ⊟. Для обратной операции нажмите кнопку ⊞.

На второй вкладке отображается дерево материалов, которое состоит из четырёх основных групп (**Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных**

одежд, **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд**, **Геосинтетические материалы** и **Материалы земляного полотна**) и является копией **Библиотеки материалов**. Каждая группа содержит подгруппы, объединяющие материалы по какому-либо общему признаку. Для сокращения времени поиска нужного материала можно отфильтровать материалы по возможности применения для той или иной технической категории дороги, дорожно-климатической зоны, а также воспользоваться полем поиска, введя частично или полностью наименование искомого материала. Если выделить здесь строку с каким-либо материалом и зажать кнопку мыши, то можно перетащить его в область формирования конструкции.



1.2. Создание, открытие и сохранение проектов

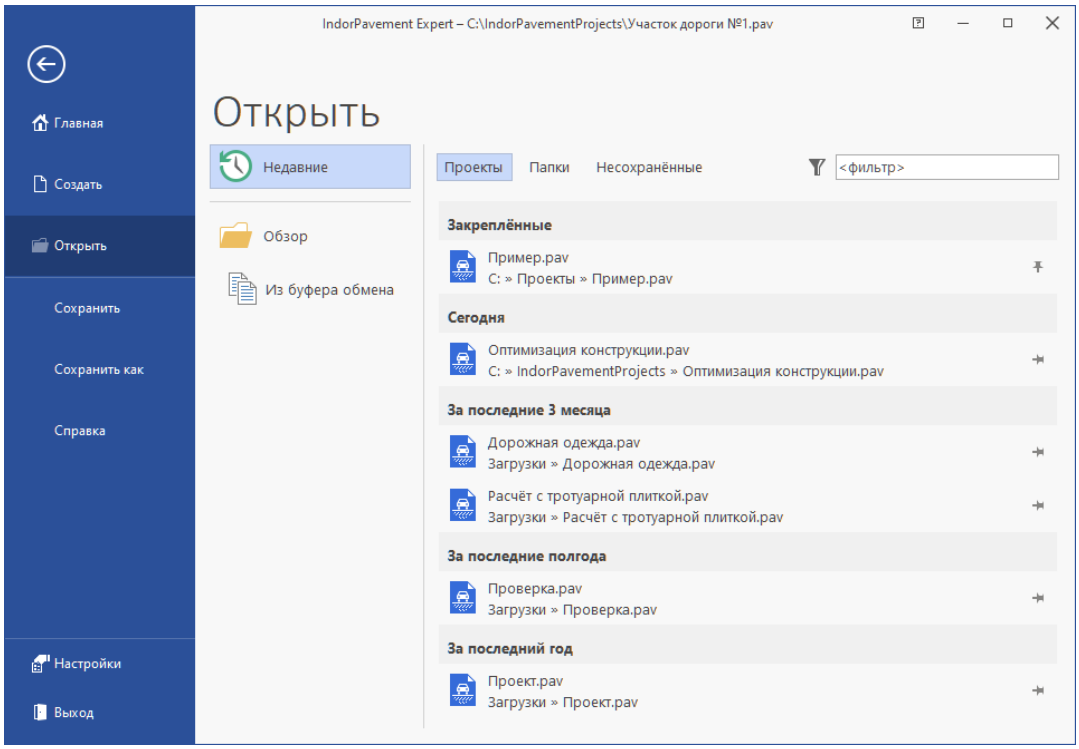
В этом разделе рассматриваются команды для работы с проектами.

Создание проекта

Для создания пустого проекта нажмите кнопку **Файл > Создать**. Создать новый проект можно не только «с нуля», но и на основе типовых конструкций (в программе представлено 5 альбомов типовых решений). Также создать новый проект можно с помощью выпадающего меню **Главная > Методики > Создать новую конструкцию**.

Открытие проекта

Для открытия проекта нажмите кнопку **Файл > Открыть** или воспользуйтесь сочетанием клавиш **Ctrl+O**. На экране отобразится список проектов, которые открывались ранее. Для открытия проекта из этого списка достаточно выбрать проект и кликнуть по нему мышью. Для открытия проекта, не находящегося в этом списке, нажмите кнопку **Обзор**, откройте папку, содержащую проект дорожной одежды, выделите файл проекта и нажмите кнопку **Открыть** или дважды щёлкните по нему. Файлы проектов IndorPavement имеют расширение PAV.



Сохранение проекта

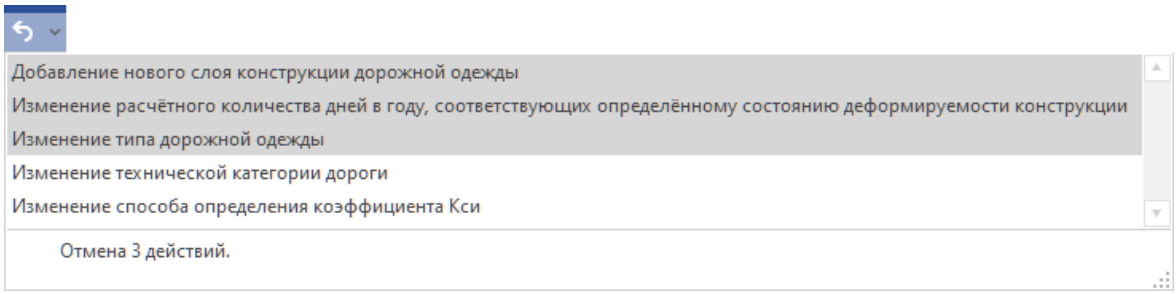
Для сохранения проекта нажмите кнопку **Файл > Сохранить** или воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl+S**. Также можно воспользоваться кнопкой **Сохранить проект** на панели быстрого доступа. При первом сохранении система открывает диалоговое окно сохранения проекта, в котором нужно указать путь сохранения файла, ввести его имя и нажать кнопку **Сохранить**.

Чтобы сохранить текущий проект под другим именем, нажмите кнопку **Файл > Сохранить как**. В диалоговом окне сохранения файла, как и при первом сохранении проекта, в поле **Имя файла** введите новое имя файла проекта и нажмите кнопку **Сохранить**. При попытке сохранить файл под существующим именем система запрашивает подтверждение о замене файла проекта. Если нажать кнопку **Да**, то текущий проект сохранится в указанном файле. Кнопка **Нет** вызовет отмену операции.

Отмена действий

В процессе проектирования конструкции дорожной одежды иногда возникает необходимость использовать операцию отмены последнего выполненного действия или сразу нескольких последних действий. Кнопки для отмены и возврата действий расположены на панели быстрого доступа.

Кнопка **Отменить действие** (или сочетание клавиш **Alt+BkSp** или **Ctrl+Z**) производит отмену последнего выполненного действия. При раскрытии выпадающего меню этой кнопки появляется список, который представляет собой последовательность действий пользователя, начиная с последнего выполненного. Таким образом можно отменить несколько последних выполненных действий. Для этого выделите в списке то действие, с которого начинаются операции, подлежащие отмене.

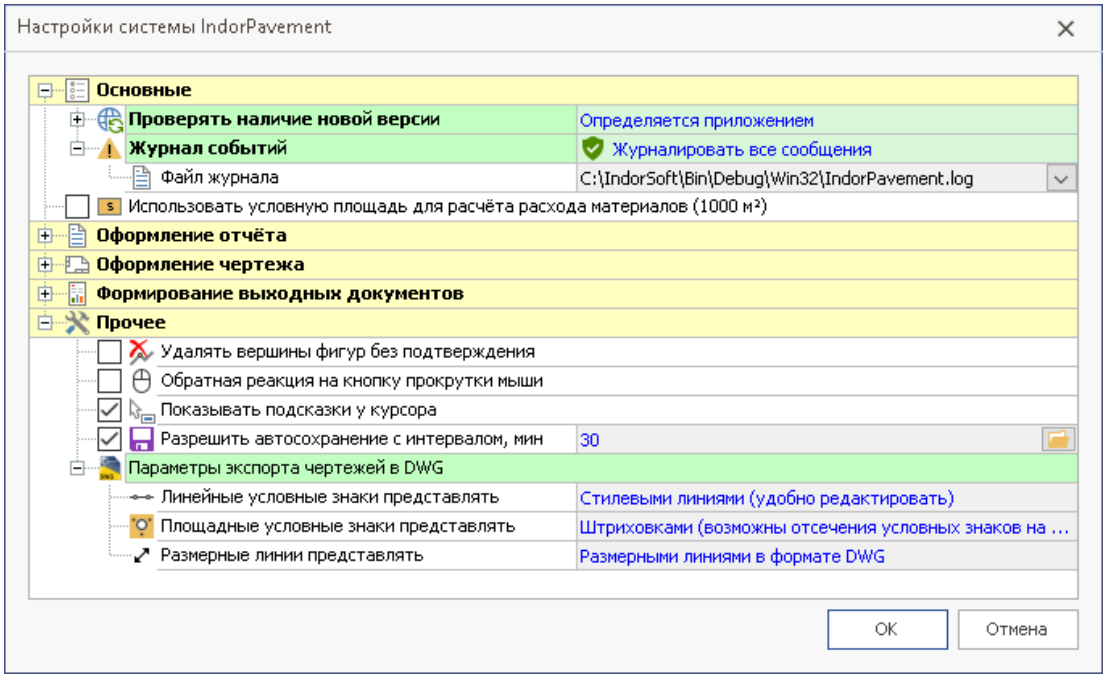


Команда **Вернуть действие** повторно выполняет последнее отменённое действие. При нажатии стрелки, расположенной рядом с кнопкой, появляется список, содержащий все отменённые ранее действия пользователя. Он позволяет вернуть

(т.е. повторно выполнить) несколько действий сразу. Также вернуть действие можно с помощью «горячих» клавиш **Shift+Ctrl+Z**.

1.3. Настройка параметров системы

Чтобы открыть диалог настройки параметров системы, перейдите на вкладку **Файл** и нажмите кнопку **Настройки**.



Настройки системы включают следующие параметры:

- **Проверять наличие новой версии**. В этом разделе настраивается частота проверки новых версий IndorPavement, а также указывается дата последней проверки обновлений. Существует несколько вариантов частоты проверки версий: **При каждом запуске**, **Не чаще раза в день**, **Не чаще раза в неделю** и **Не чаще раза в 2 недели**. При выборе варианта **Определяется приложением** пользователь не влияет на частоту проверки обновлений.

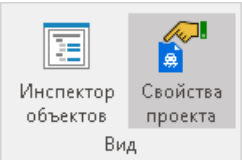
  При наличии доступных для скачивания обновлений система автоматически загружает их в фоновом режиме. Чтобы обновления вступили в силу, перезапустите систему IndorPavement.

- **Журнал событий**. Журнал событий представляет собой текстовый файл, в который вносится информация о системных событиях и ошибках. Записи в журнале могут использоваться для анализа ошибок при возникновении сбоев в работе системы. В строке **Файл журнала** можно изменить путь сохранения файла, а также установить ограничение на его размер. Чтобы отказаться от ведения журнала, выберите пункт **Не вести журнал**.

- Опция **Использовать условную площадь расчёта расхода материалов (1000 м2)** определяет расчёт стоимости материалов на 1000 м2 при технико-экономическом сравнении вариантов.
- В разделе **Оформление отчёта** настраиваются параметры оформления детального отчёта: размеры полей листа, нумерация страниц, размер шрифта и др. Эти параметры продублированы на вкладке **Чертёж и отчёт** в окне **Отчёт > Настройки**.
- **Оформление чертежа**. В этом разделе настраиваются параметры внешнего вида чертежа и его структура. Эти параметры продублированы на вкладке **Чертёж и отчёт** в окне **Чертёж > Настройки**.
- **Формирование выходных документов**. При наличии специального установленного языкового пакета здесь можно указать язык формирования отчётной документации (русский, английский или грузинский).
- В разделе **Прочее** объединены дополнительные настройки системы.
    - **Обратная реакция на кнопку прокрутки мыши**. При установке этого флага реакция на прокрутку колеса мыши инвертируется: прокручивание колеса мыши вперёд отдаляет чертёж, прокручивание назад — наоборот, приближает.
    - Опция **Показывать подсказки у курсора** позволяет включать и отключать отображение подсказок, появляющихся рядом с курсором при выполнении различных операций.
    - **Разрешить автосохранение с интервалом**. При установке этого флага файл проекта будет сохраняться с указанным интервалом.
    - **Параметры экспорта чертежей в DWG**. Здесь можно настроить, каким именно образом будет переноситься информация при экспорте чертежа конструкции в файл DWG.

2. Задание параметров проекта

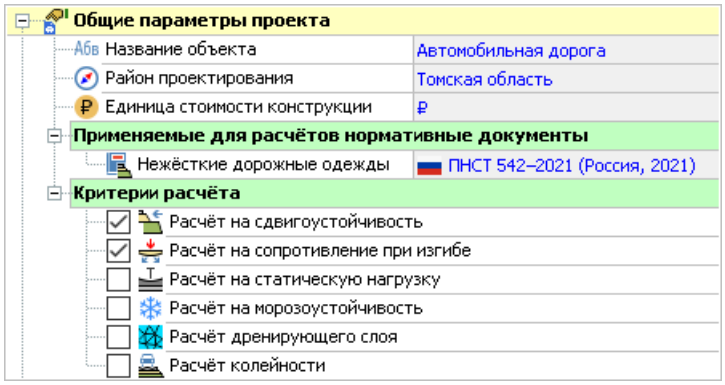
Одной из важнейших задач при проектировании конструкции дорожной одежды является ввод исходных данных о проекте дорожной одежды, районе проектирования и планируемом воздействии на дорожную одежду. От этих параметров напрямую зависит и подбор материалов слоёв дорожной одежды, и их толщины, и расположение. Задать параметры проекта можно в инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта**. Чтобы отобразить их, нажмите кнопку **Главная > Вид > Свойства проекта** или щёлкните мышью в поле **Проект конструкции дорожной одежды** в области формирования конструкции дорожной одежды.



2.1. Общие параметры

Проект конструкции дорожной одежды имеет ряд параметров, относящихся ко всему проекту. Они объединены на вкладке **Свойства проекта** в группу **Общие параметры проекта**. Рассмотрим их подробно.

- Название объекта, для которого рассчитывается конструкция дорожной одежды, задаётся в поле **Название объекта**.



- В поле **Район проектирования** задаётся район, в котором располагается объект проектирования.
- В поле **Единица стоимости конструкции** можно выбрать из списка условные единицы (у.е., руб., тыс. руб.) или задать свои. В этих условных единицах будет производиться расчёт стоимости конструкции.
- В поле **Применяемые для расчётов нормативные документы** > **Нежёсткие дорожные одежды** выберите базовый нормативный документ для проведения расчётов: ПНСТ 542–2021, ПНСТ 371–2019, ПНСТ 265–2018, ОДН 218.046–01, МОДН 2–2001, ВСН 46–83, СП РК 3.03–104–2014, МКН 46–2008, «Инструкцию для большегрузов 27–180 т» или СП 37.13330.2012.

ЗАМЕЧАНИЯ. 1. При выборе методики ОДН 218.0 46–01 появляется дополнительная опция **Учитывать исправления МОДН 2–2001 в расчёте сдвигоустойчивости**. При установке этого флага вводится корректировка формулы определения предельного активного напряжения сдвига. 2. При расчёте жёстких дорожных одежд базовая методика также должна быть выбрана, так как методики расчёта жёстких дорожных одежд описывают только специализированные для жёстких дорожных одежд расчёты, в части остального ссылаются на методики расчёта нежёстких дорожных одежд.

3. Методика ПНСТ 265–2018 на данный момент не является действующей, но может применяться на усмотрение пользователя.

- Для расчёта конструкции дорожной одежды на сдвигоустойчивость в слабосвязных слоях основания и грунте земляного полотна при динамической нагрузке установите опцию **Расчёт на сдвигоустойчивость**.
- Чтобы применить алгоритм расчёта конструкции дорожной одежды на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе, установите опцию **Расчёт на сопротивление при изгибе**.
- Для расчёта конструкции дорожной одежды на сдвигоустойчивость в слабосвязных слоях основания и грунте земляного полотна при статической нагрузке установите опцию **Расчёт на статическую нагрузку**.
- Чтобы оценить морозоустойчивость конструкции, установите опцию **Расчёт на морозоустойчивость**.
- Для расчёта дренирующего слоя дорожной одежды установите опцию **Расчёт дренирующего слоя**. После установки этой опции в конструкции обязательно должен быть назначен дренирующий слой.
- Чтобы спрогнозировать глубину колеи и сравнить её с допустимыми значениями, отметьте флаг **Расчёт колейности**.

ЗАМЕЧАНИЯ. 1. Выбрать критерии расчёта можно также на вкладке **Главная** в группе **Расчёт**.
2. Если для проекта задана осевая нагрузка, превышающая ограничения, указанные в расчётной методике, то расчёт на упругий прогиб автоматически не производится. В таком случае приблизительно оценить прочность всё же можно, установив флаг **Расчёт на упругий прогиб** в свойствах проекта.
3. Расчёт на изгиб не производится для дорожных одежд, не имеющих монолитного покрытия. Об этом выдаётся соответствующее предупреждение на вкладке **Ход работы**.

2.2. Параметры района проектирования

Параметры района проектирования отражают перспективное ожидание от проектируемой конструкции дорожной одежды (например, параметр категории дороги) и объединены на вкладке **Свойства проекта** в группу **Параметры района проектирования**. Рассмотрим их подробно.

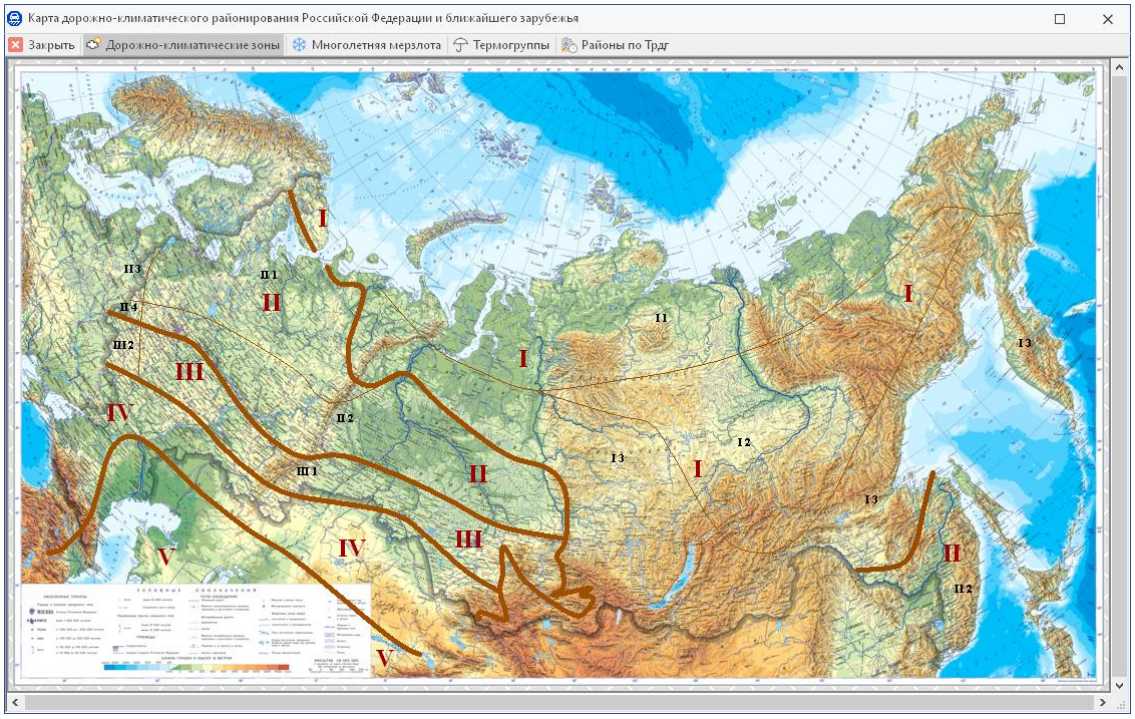
- Техническую категорию дороги, определяющую качество дороги в целом, задают в поле **Техническая категория дороги**. В соответствии со стандартной классификацией она может быть Iа, Iб, Iв, II, III, IV или V, однако список поддерживаемых категорий может варьироваться в зависимости от применяемой методики.

Параметры района проектирования	
Категория улиц и дорог	Дороги общего пользования
Техническая категория дороги	III категория
Тип дорожной одежды	Облегчённый
Дорожно-климатическая зона	IV Карта...
Схема увлажнения	Схема 1 (атмосферные осадки)
Расчётный срок службы между капитальными ремонтами Тсл, лет	10
Срок службы между ремонтами Тр.сл, лет	10
Требуемые коэффициенты прочности	Автоматический расчёт
Заданная надёжность Кн	0,90
Требуемый Кпр (упругий прогиб)	1,15
Требуемый Кпр (усиление)	0,90
Требуемый Кпр (сдвиг, изгиб)	1,00
Нормативное отклонение прочности t	1,32

ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте конструкции дорожной одежды по методике ПНСТ 542-2021 добавляется строка **Категория улиц и дорог**, позволяющая выбрать тип назначения дороги.

- В поле **Тип дорожной одежды** задаётся тип покрытия дорожной одежды: **Капитальный**, **Облегчённый**, **Переходный** или **Низший**. Для дорог II категории при расчёте по ПНСТ 542–2021 и для дорог I категории тип дорожной одежды всегда является капитальным и это поле недоступно для редактирования.
- Климатическую зону и подзону можно выбрать в поле **Дорожно-климатическая зона**. Расположение дорожно-климатических

зон определено климатическими характеристиками и отображено на карте, которую можно просмотреть, нажав кнопку **Карта...**



В окне просмотра карты можно отображать различную информацию о расположении дорожно-климатических зон (кнопка **Дорожно-климатические зоны**), изолиний термосопротивления грунта (кнопка **Термогруппы**), районов многолетней мерзлоты (кнопка **Многолетняя мерзлота**) и районов по числу расчётных дней в году (кнопка **Районы по Трдг**). Чтобы отобразить или скрыть характеристики районов на карте, нажмите соответствующую кнопку. При необходимости можно включить сразу несколько кнопок.

ЗАМЕЧАНИЯ. 1. При выборе II или III дорожно-климатических зон добавляется флаг **Восточный район**, который оказывает влияние на проверку морозоустойчивости и устанавливается на усмотрение пользователя.
2. При выборе I дорожно-климатической зоны добавляется опция **Зона многолетней мерзлоты**, которая позволяет задать параметры промерзания и внести соответствующие корректировки в расчёты прочности согласно СП 313.1325800.2017.
3. При расчёте по СП РК 3.03–103–2014 и выборе V ДКЗ добавляется строка **Снижение значения требуемого модуля упругости, %**, значение которой указывается согласно нормативному документу в зависимости от удаления от IV ДКЗ.

- Параметр **Среднегодовая положительная температура воздуха Тср** вносится только при установке критерия **Расчёт колейности**.
- В поле **Схема увлажнения** нужно указать превалирующий тип увлажнения: **Схема 1 (атмосферные осадки)**, **Схема 2 (поверхностные воды)** или **Схема 3 (грунтовые воды)**.
- Расчётный срок службы между капитальными ремонтами задаётся в поле **Расчётный срок службы между капитальными ремонтами Тсл**.
- В поле **Срок службы между ремонтами Тр.сл**. указывается срок службы рассчитываемой конструкции между ремонтами. Значение может совпадать с предыдущей характеристикой.
- Дорожную одежду проектируют с требуемым уровнем надёжности, под которым понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Величину заданной надёжности Кн (обеспеченность по прочности) задают в поле **Заданная надёжность Кн**. Она может принимать значения от 0,7 до 0,98 и зависит от выбранной категории дороги. В соответствии с уровнем заданной надёжности рассчитываются следующие коэффициенты:
    - Требуемый коэффициент прочности по упругому прогибу (поле **Требуемый Кпр (упругий прогиб)**). Он зависит не только от требуемого уровня заданной надёжности, но и от категории дороги и типа её покрытия. Чтобы конструкция дорожной одежды удовлетворяла критерию прочности при расчёте на упругий прогиб, расчётный коэффициент прочности Красч должен быть больше требуемого коэффициента прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба Кпр или равен ему.
    - Требуемый коэффициент прочности по усилению (поле **Требуемый Кпр (усиление)**). Используется при расчёте усиления конструкции. Его величина зависит от выбранной методики расчёта усиления.
    - Требуемый коэффициент прочности при сдвиге и растяжении при изгибе (поле **Требуемый Кпр (сдвиг, изгиб)**). Чтобы конструкция удовлетворяла критерию прочности при расчёте на сдвигоустойчивость, расчётный коэффициент прочности Красч должен быть больше требуемого коэффициента прочности дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости Кпр или равен ему.

Чтобы конструкция удовлетворяла критерию расчёта на изгиб, коэффициент Красч должен быть больше или равен Кпр.

- Коэффициент нормативного отклонения значения прочностной характеристики при допустимом уровне надёжности, используемый при вычислении расчётной влажности грунта и проверке конструкции на изгиб (поле **Нормативное отклонение прочности t**).

2.3. Параметры дороги

Параметры, определяющие геометрические и расчётные показатели трассы, объединены на вкладке **Свойства проекта** в группе **Параметры дороги**.

Параметры дороги	
Длина участка проектирования, м	5 000
Ширина участка проектирования, м	10,00
Ширина проезжей части, м	7,50
Число полос движения (в обе стороны)	2
Номер расчётной полосы от обочины	1
Расчётная скорость движения, км/ч	80
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой конструкцией)	7 (140 дней) Карта...
Тип земляного полотна	Насыпь
Тип местности по рельефу	Равнинный
Метод определения температурных условий эксплуатации дороги	По данным метеостанции
Способ определения расчётной метеостанции	По координатам участка проектирования
Расположение участка дороги	
Начало участка	56°16'10,0000"; 90°30'02,0000"
Конец участка	56°16'12,0000"; 90°30'08,0000"
Регион	Красноярский край
Название станции	Ачинск. ж.д.ст.
Координаты станции	56°17'00,0000"; 90°31'00,0000"

- Длина и ширина участка проектирования задаются в полях **Длина участка проектирования** и **Ширина участка проектирования**. Обратите внимание, что данные параметры не участвуют непосредственно в расчётах по заданным критериям, а влияют исключительно на расчёт стоимости при проведении технико-экономического сравнения вариантов.
- Ширина проезжей части от кромки до кромки задаётся в поле **Ширина проезжей части**. Данный параметр участвует при автоматизированном расчёте длины пути фильтрации для расчёта толщины дренирующего слоя.
- **Число полос движения (в обе стороны)** и **Номер расчётной полосы от обочины** нужны для определения коэффициента полосности при расчёте суммарного числа приложений расчётной нагрузки.
- **Расчётная скорость движения** определяет допустимую глубину колеи при расчёте колейности, также применяется при определении марки битумного вяжущего PG.
- Количество расчётных дней в году с деформируемой конструкцией задаётся либо в явном виде, либо по номеру района с помощью поля **Способ определения числа расчётных дней**. При указании пункта **По номеру района** нужно выбрать район по Трдг из выпадающего списка. Для уточнения можно воспользоваться картой районирования, открыть которую можно нажатием кнопки **Карта...**

- Тип земляного полотна (насыпь, выемка или нулевые места) определяется в поле **Тип земляного полотна**. Данный параметр участвует при определении расчётной относительной влажности грунта, а также при расчёте дорожной одежды на морозоустойчивость.
- **Тип местности по рельефу** определяет значение поправки на особенности рельефа территории при определении расчётной относительной влажности грунта.
- При расчёте колейности в группу **Параметры дороги** добавляется параметр **Продольный уклон**.

Параметры дороги	
Длина участка проектирования, м	5 000
Ширина участка проектирования, м	10,00
Ширина проезжей части, м	7,50
Число полос движения (в обе стороны)	2
Номер расчётной полосы от обочины	1
Расчётная скорость движения, км/ч	80
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой конструкцией)	7 (140 дней) Карта...
Тип земляного полотна	Насыпь
Тип местности по рельефу	Равнинный
Метод определения температурных условий эксплуатации дороги	По данным метеостанции
Продольный уклон, ‰	40,00

- Если дорожная одежда рассчитывается на морозоустойчивость, то в группе **Параметры дороги** появляется дополнительный параметр: **Высота насыпи** (если в поле **Тип земляного полотна** выбран пункт **Насыпь**) или **Глубина выемки** (если в поле **Тип земляного полотна** выбран пункт **Выемка**).

Тип земляного полотна	Выемка
Глубина выемки	0,50
Тип местности по рельефу	Равнинный

- При расчёте толщины дренирующего слоя в группе **Параметры дороги** отображаются дополнительные параметры. Они используются при автоматизированном расчёте длины пути фильтрации.

Параметры дороги	
Длина участка проектирования, м	1 000
Ширина участка проектирования, м	10,00
Ширина проезжей части, м	7,50
Число полос движения (в обе стороны)	2
Номер расчётной полосы от обочины	1
Расчётная скорость движения, км/ч	80
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой конструкцией)	4 (135 дней) Карта...
Тип земляного полотна	Насыпь
Тип местности по рельефу	Равнинный
Разделительная полоса	☐
Двускатный профиль	☑
Заложение откоса 1:N	1,50
Ширина обочины, м	2,50
Продольный уклон выше перелома профиля, ‰	40,00
Продольный уклон ниже перелома профиля, ‰	20,00

- **Разделительная полоса**. Опция позволяет установить наличие или отсутствие разделительной полосы на дороге.
- **Двускатный профиль**. При установке этой опции профиль считается двускатным, в противном случае — односкатным.
- В поле **Заложение откоса** задаётся значение заложения откоса 1:N.
- В поле **Ширина обочины** задаётся ширина обочины с одной стороны в метрах.
- Продольные уклоны выше и ниже перелома профиля можно задать в полях **Продольный уклон выше перелома профиля** и **Продольный уклон ниже перелома профиля** (в случае расчёта дренирующего слоя).

▪ Группа параметров **Метод определения температурных условий эксплуатации дороги** задаётся при определении для асфальтобетонов конструкции подходящих марок битумного вяжущего (см. Выбор марки битумного вяжущего). Задать необходимые для этого значения температур можно в явном виде или по данным ближайшей метеостанции (в таком случае температурные данные подставляются автоматически из ПНСТ 397-2020). В случае выбора первого способа необходимые для определения марки битумного вяжущего параметры задаются вручную.

Метод определения температурных условий эксплуатации дороги	Явное задание
Максимальная расчётная температура верхнего слоя покрытия с надёжностью 98%	54,30
Базовая максимальная расчётная температура с надёжностью 98%	53,00
Базовая минимальная расчётная температура с надёжностью 98%	-39,40
Максимальная расчётная температура верхнего слоя покрытия с надёжностью 50%	48,00
Базовая максимальная расчётная температура с надёжностью 50%	46,30
Базовая минимальная расчётная температура с надёжностью 50%	-31,80

▪ В случае определения этих параметров по данным метеостанции в строке **Способ определения расчётной метеостанции** можно указать два варианта: **По названию** и **По координатам участка проектирования**.

- При способе задания **По названию** нужно выбрать **Регион** и **Название станции**. В строке **Координаты станции** автоматически отобразятся её координаты.

Способ определения расчётной метеостанции	По названию
Регион	Красноярский край
Название станции	Ачинск. ж.д.ст.
Координаты станции	56°17'00,0000"; 90°31'00,0000"

- При выборе способа задания **По координатам участка проектирования** нужно в появившихся полях указать координаты

начала и конца участка проектирования. Система автоматически подыщет ближайшую к участку проектирования метеостанцию и отобразит её название и координаты в соответствующих строках.

Способ определения расчётной метеостанции	По координатам участка проектирования
Расположение участка дороги	
Начало участка	56°16'10,0000"; 90°30'02,0000"
Конец участка	56°16'12,0000"; 90°30'08,0000"
Регион	Красноярский край
Название станции	Ачинск. ж.д.ст.
Координаты станции	56°17'00,0000"; 90°31'00,0000"

2.4. Расчётные параметры нагрузки

Напряжения в конструктивных слоях и подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки рассчитываются по формулам теории упругости. Расчётные параметры подвижной нагрузки объединены на вкладке **Свойства проекта** в группу **Расчётная нагрузка**.

- При установке опции **Двухбаллонное колесо** считается, что превалирующее число автомобилей имеет двухбаллонные колёса.

Расчётная нагрузка	
Двухбаллонное колесо	☑
Давление колеса на дорогу	Группа расчётной нагрузки А11,5
Назначать параметры нагрузки согласно ГОСТ 32960–2014	☑
Давление в шине p, МПа	0,800
Диаметр отпечатка шины D (дин.), см	34,50
Диаметр отпечатка шины D (стат.), см	30,30
Статическая нагрузка на ось Q, кН	115,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность Qн, кН	57,50
Число приложений расчётной нагрузки ΣNр	Явное задание
Значение ΣNр	15 461 365

- В поле **Давление колеса на дорогу** можно выбрать группу расчётной нагрузки. При этом нижеследующие параметры примут значения, соответствующие этой группе. Выбор пункта **Явное задание** даёт возможность вручную редактировать следующие параметры:
  - равномерно распределённую нагрузку штампа колеса (задаётся в поле **Давление в шине p**);
  - диаметр гибкого штампа, принимаемый в качестве расчётной схемы нагружения конструкции колесом движущегося автомобиля (задаётся в поле **Диаметр отпечатка шины D (дин.)**);
  - диаметр гибкого штампа, принимаемый в качестве расчётной схемы нагружения конструкции колесом неподвижного автомобиля (задаётся в поле **Диаметр отпечатка шины D (стат.)**);
  - расчётную величину нагрузки, передаваемую колесом на поверхность покрытия Qрасч (задаётся в поле **Статическая нагрузка на ось Q**);
  - статическую нагрузку Q, используемую при расчёте дорожных одежд жёсткого типа (задаётся в поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность Qн**).

  При выборе параметра **Расчёт по осевой нагрузке** нужно указать только значение статической нагрузки на ось, а остальные параметры рассчитаются по соответствующим формулам из нормативных документов.

При указании капитального типа дорожной одежды в группе параметров **Давление колеса на дорогу** появляется флаг **Назначать параметры нагрузки согласно ГОСТ 32960–2014**. По умолчанию флаг установлен и параметры расчётной нагрузки соответствуют давлению в шине 0,8 МПа, но пользователь имеет возможность отключить эту опцию. В таком случае параметры нагрузки будут соответствовать давлению в шине 0,6 МПа.

- В качестве характеристики, отражающей интенсивность воздействия подвижной нагрузки на конструкцию, используется суммарное расчётное число приложений приведённой расчётной нагрузки к расчётной точке на поверхности конструкции за срок службы. Задать это значение можно тремя способами: по условиям движения, по модулю упругости или в явном виде. Для явного задания этой характеристики выберите в поле **Число приложений расчётной нагрузки ΣNp** пункт **Явное задание** и введите значение в поле **Значение ΣNp**.

  При выборе пункта **Расчёт по модулю упругости** становится доступно поле **Требуемый поверхностный модуль упругости**, в котором можно задать поверхностный модуль упругости. В результате в поле **Значение ΣNp** отобразится вычисленное значение приложений расчётной нагрузки.

Число приложений расчётной нагрузки ΣNp	Расчёт по модулю упругости
Значение ΣNp	15 461 365
Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	454,42

ЗАМЕЧАНИЕ. В некоторых случаях, например при расчёте колейности или усиления конструкции, необходимо производить расчёт только по условиям движения, так как в методиках расчёта в вычислениях участвует непосредственно интенсивность движения.

- При выборе пункта **Расчёт по условиям движения** становятся доступны параметры, в результате определения которых вычисляется значение приложения расчётной нагрузки в поле **Значение ΣNp**.

- Тип проектируемого участка дороги задаётся в поле **Тип участка дороги** и может быть следующим: **Полоса движения**, **Обочина**, **Перекрёсток**, **Краевая полоса**, **Остановочная полоса**, **Тротуар**.

Число приложений расчётной нагрузки ΣNp	Расчёт по условиям движения
Значение ΣNp	1 860 175
Тип участка дороги	Полоса движения
Показатель изменения интенсивности по годам q	1,040
Приведённая перспективная интенсивность Np	Явное задание
Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
Приведённая интенсивность, авт./сут	1 566
Суммарная интенсивность в первый год, авт./сут	2 000

- Показатель изменения интенсивности движения расчётного типа автомобиля по годам можно задать в поле **Показатель изменения интенсивности по годам q**.

- Приведённую интенсивность можно задать явно, выбрав в поле **Приведённая перспективная интенсивность Np** пункт **Явное задание**, а также из расчёта по числу или по доле приведённых автомобилей.

- В поле **Способ задания приведённой интенсивности** можно указать перспективную интенсивность, выбрав пункт **На последний год службы**, либо интенсивность на первый год службы, выбрав пункт **На первый год службы**.

ЗАМЕЧАНИЕ. Не все методики расчёта поддерживают оба способа указания интенсивности. При наличии только одного способа задания для выбранного нормативного документа поле блокируется.

- При выборе пункта **Расчёт по числу приведённых автомобилей** задаётся интенсивность движения по категориям автомобилей. Коэффициенты приведения (отображаемые как множитель справа от редактируемого числового поля) назначаются в соответствии с выбранной методикой. При выборе в поле **Способ определения коэффициентов приведения к расчётной нагрузке** пункта

В зависимости от осевой нагрузки коэффициенты назначаются согласно заданной группе расчётной нагрузки.

Приведённая перспективная интенсивность Np	Расчёт по числу приведённых автомобилей
Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
Приведённая интенсивность, авт./сут	1 423
Суммарная интенсивность в первый год, авт./сут	1 818
Способ определения коэфициентов приведения к расчётной нагрузке	В зависимости от осевой нагрузки
Интенсивность по видам автомобилей, авт./сут, Sсум.	Марки...
C1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	200 × 1,5100
C2 Трёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	200 × 2,3300
C3 Четырёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	150 × 2,5600
C10 Шестиосные седельные автопоезда (ПНСТ 541-2021)	150 × 2,1200
D Автобусы (ПНСТ 541-2021)	300 × 1,1600

- При выборе пункта **Расчёт по доле приведённых автомобилей** необходимо задать перспективную интенсивность движения в поле **Перспективная интенсивность**, а также долю автомобилей по видам. При этом доля автомобилей задаётся в процентах, а справа от числового поля отображается число автомобилей. Если расчёт производится на первый год службы, то по заданным параметрам вычисляется приведённая интенсивность и суммарная интенсивность в первый год. Если расчёт производится на последний год службы, то вычисляется только приведённая интенсивность.

  Настроить список отображаемых в инспекторе объектов категорий автомобилей, а также задать дополнительные категории и указать для них коэффициенты приведения можно в библиотеке транспортных средств. Открыть её можно нажатием кнопки **Марки...** в строке **Способ определения коэффициентов приведения к расчётной нагрузке** или кнопки **Библиотека автомобилей** на вкладке **Главная** на ленте (см. Библиотека расчётных типов автомобилей).

  При способе указания приведённой перспективной интенсивности **Расчёт по числу приведённых автомобилей** указывается количество автомобилей каждой категории.

Приведённая перспективная интенсивность Np	Расчёт по доле приведённых автомобилей
Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
Расчётная интенсивность, авт./сут	2 894
Расчётная интенсивность в первый год, авт./сут	3 697
Перспективная интенсивность, авт./сут	2 000,00
Доля интенсивности по видам автомобилей, %	
C1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021), %	23,00
C2 Трёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021), %	14,00
C3 Четырёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021), %	18,00
C10 Шестиосные седельные автопоезда (ПНСТ 541-2021), %	20,00
D Автобусы (ПНСТ 541-2021), %	25,00
Оценка прочности	

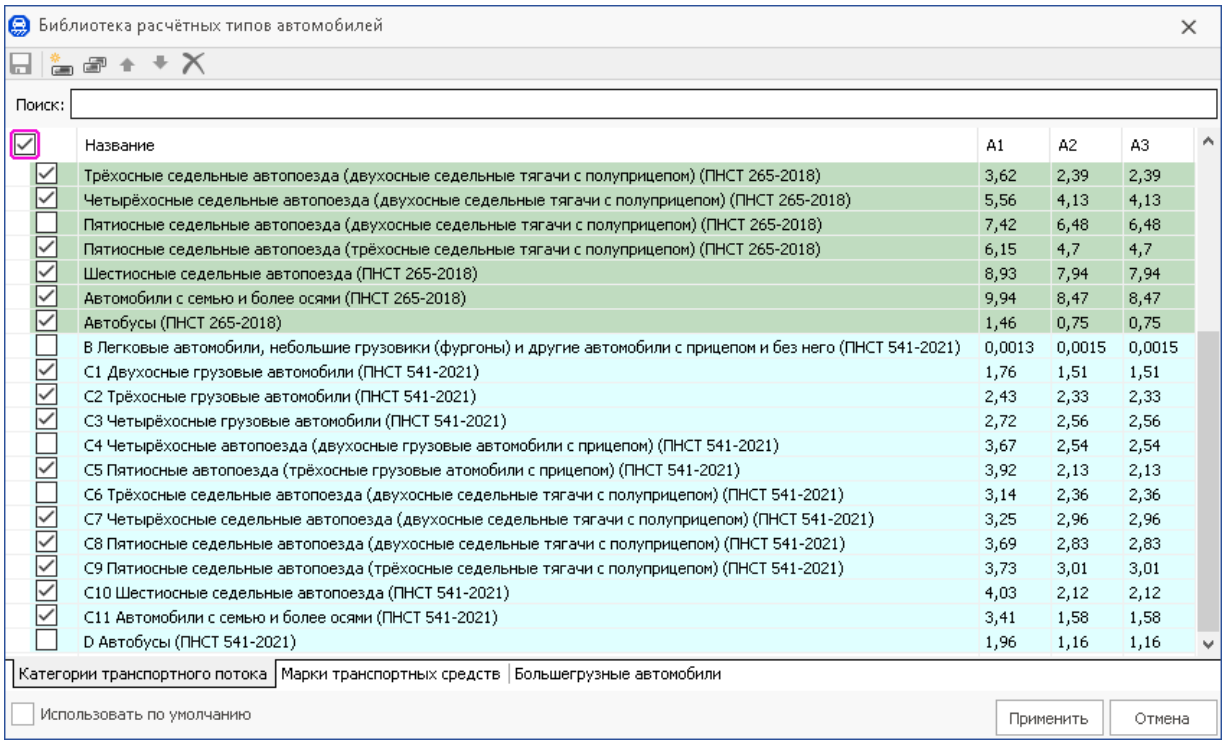
- Группа параметров **Оценка прочности** содержит характеристики для расчёта усилений конструкции дорожной одежды при проектировании ремонтов, капитальных ремонтов и реконструкций дорог. Для расчёта требуемого модуля упругости может быть применён как специализированный нормативный документ ОДН 218.1.152–2002, так и текущая расчётная методика. Подробнее об этих параметрах читайте в пункте Усиление конструкции дорожной одежды.

2.5. Библиотека расчётных типов автомобилей

При задании в проекте расчётной нагрузки по условиям движения для расчёта суммарного числа приложений расчётной нагрузки нужно указать состав и количество транспортного потока (если они известны) в появившейся группе параметров **Интенсивность по видам автомобилей**. Для настройки отображения категорий и марок автомобилей в списке откройте библиотеку транспортных средств нажатием кнопки **Марки...** или кнопки **Библиотека автомобилей** на вкладке **Главная** на ленте.

По умолчанию для отображения выбраны все позиции на вкладке **Категории транспортного потока**. Здесь представлены категории транспортных средств с коэффициентами приведения из основных расчётных методик (расчётная методика при этом указана в скобках рядом с названием категории). Снять выделение со всех категорий можно нажатием флага в наименовании первой колонки, с определённой позиции — снятием флага в соответствующей строке.

Таким же образом можно настраивать отображение в свойствах проекта автомобилей с вкладок **Марки транспортных средств** и **Большегрузные автомобили**.

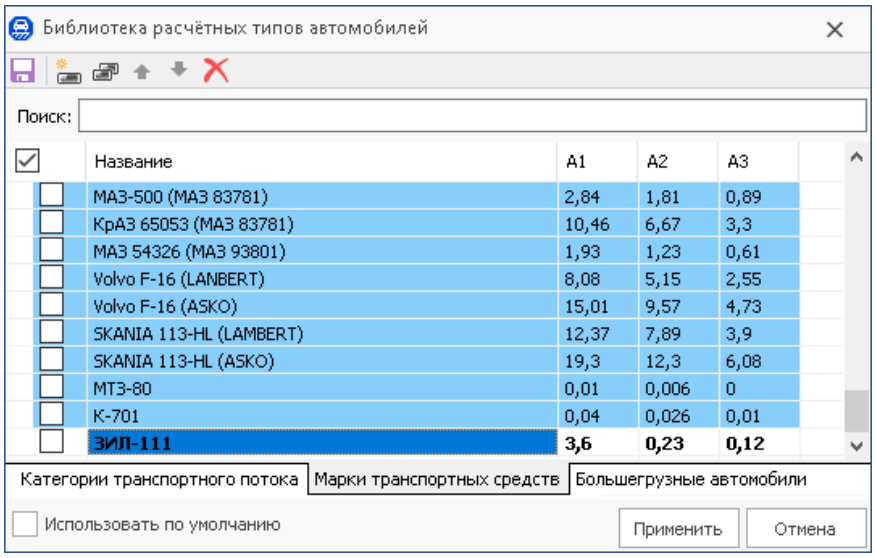


Название	A1	A2	A3
Трёхосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 265-2018)	3,62	2,39	2,39
Четырёхосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 265-2018)	5,56	4,13	4,13
Пятиосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 265-2018)	7,42	6,48	6,48
Пятиосные седельные автопоезда (трёхосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 265-2018)	6,15	4,7	4,7
Шестиосные седельные автопоезда (ПНСТ 265-2018)	8,93	7,94	7,94
Автомобили с семью и более осями (ПНСТ 265-2018)	9,94	8,47	8,47
Автобусы (ПНСТ 265-2018)	1,46	0,75	0,75
B Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него (ПНСТ 541-2021)	0,0013	0,0015	0,0015
C1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	1,76	1,51	1,51
C2 Трёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	2,43	2,33	2,33
C3 Четырёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)	2,72	2,56	2,56
C4 Четырёхосные автопоезда (двухосные грузовые автомобили с прицепом) (ПНСТ 541-2021)	3,67	2,54	2,54
C5 Пятиосные автопоезда (трёхосные грузовые атомобили с прицепом) (ПНСТ 541-2021)	3,92	2,13	2,13
C6 Трёхосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 541-2021)	3,14	2,36	2,36
C7 Четырёхосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 541-2021)	3,25	2,96	2,96
C8 Пятиосные седельные автопоезда (двухосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 541-2021)	3,69	2,83	2,83
C9 Пятиосные седельные автопоезда (трёхосные седельные тягачи с полуприцепом) (ПНСТ 541-2021)	3,73	3,01	3,01
C10 Шестиосные седельные автопоезда (ПНСТ 541-2021)	4,03	2,12	2,12
C11 Автомобили с семью и более осями (ПНСТ 541-2021)	3,41	1,58	1,58
D Автобусы (ПНСТ 541-2021)	1,96	1,16	1,16

ЗАМЕЧАНИЕ. Категории автомобилей на вкладке **Большегрузные автомобили** назначаются только при применении соответствующих методик (см. Особенности расчёта конструкций под большегрузные автомобили).

Помимо стандартных категорий и марок, в библиотеку автомобилей можно вносить дополнительные позиции, если вам известны их коэффициенты приведения к стандартной нагрузке при вычислении суммарного числа приложений расчётной нагрузки. Для этого нажмите кнопку и внесите в появившуюся в таблице строку наименование и характеристики категории. Для удаления позиции нажмите кнопку.

ЗАМЕЧАНИЕ. Удалять из библиотеки автомобилей можно только те позиции, которые добавлены пользователем.



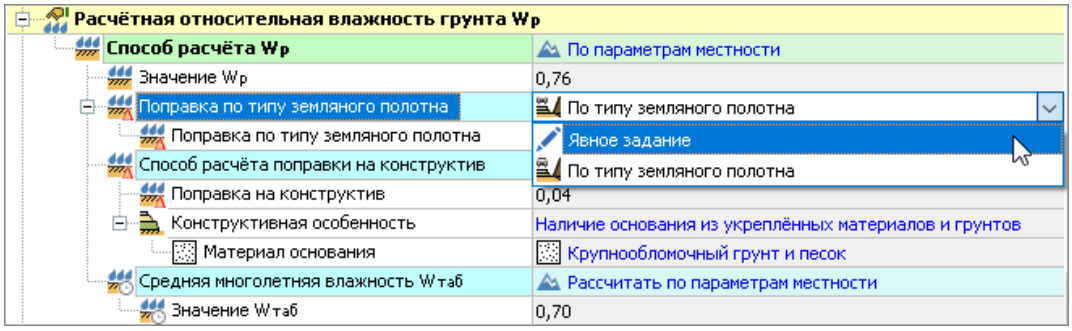
2.6. Расчётные параметры относительной влажности грунта

Расчётные характеристики грунта рабочего слоя земляного полотна при расчёте дорожной одежды на прочность определяются параметрами группы **Расчётная относительная влажность грунта Wp**.

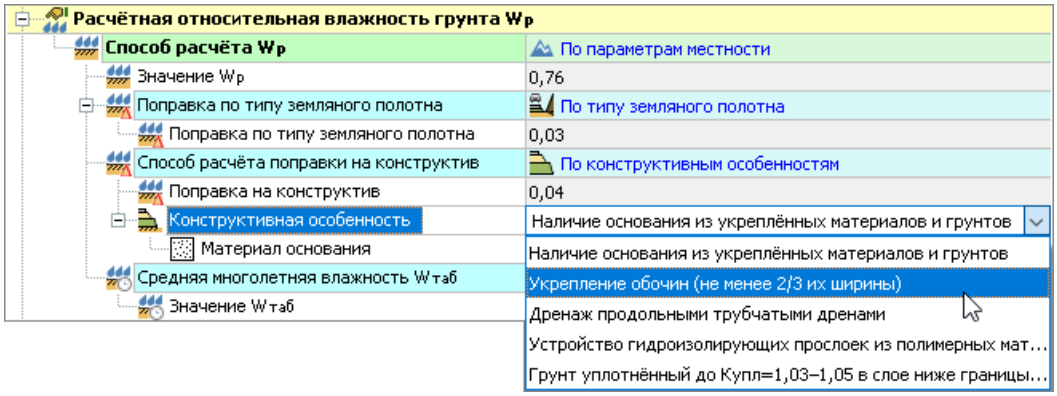
Способ расчёта влажности дисперсного грунта можно выбрать в поле **Способ расчёта Wp**. При выборе пункта **Явное задание** становится доступным для редактирования поле **Значение Wp**. Но в этом случае климатические, гидрологические и конструктивные особенности грунта не учитываются. Этот вариант используется при расчёте конструкций для нестандартных грунтов.

Если выбран пункт **По параметрам местности**, то становятся доступны и участвуют в расчёте следующие параметры:

- **Поправка по типу земляного полотна**. Этот пункт появляется при выборе в качестве расчётной методики ПНСТ 542–2021 и ПНСТ 265–2018. Здесь в выпадающем списке возможен выбор двух вариантов: **Явное задание** (в этом случае поправка назначается пользователем вручную) и **По типу земляного полотна** (в этом случае поправка назначается согласно выбранному в **Параметрах дороги** типу земляного полотна).



- **Поправка на конструктив**. В этом поле задаётся поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин.



- Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта, наблюдавшееся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, можно задать в явном виде, выбрав в поле **Средняя многолетняя влажность Wтаб** пункт **Задать в явном** виде и указав нужное значение в поле **Значение Wтаб**.

- Для большинства стандартных грунтов существует возможность автоматически рассчитать среднее многолетнее значение относительной влажности грунта по параметрам местности. Для этого выберите в поле **Средняя многолетняя влажность Wтаб** пункт **Рассчитать по параметрам местности**.

2.7. Дополнительные группы параметров

К группам параметров, задаваемым в программе IndorPavement при расчёте любой конструкции дорожной одежды, в свойства проекта при определённых условиях расчёта могут добавляться дополнительные группы параметров.

- **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд**. При внесении в конструкцию материалов из группы **Материалы жёстких дорожных одежд** расчёт в программе IndorPavement автоматически производится по методике расчёта жёстких дорожных одежд. Для этого требуется указание специальных характеристик (в зависимости от типа конструкции). Подробнее эти характеристики и их применимость для различных типов жёстких дорожных одежд рассмотрены в главе Расчёт жёстких дорожных одежд.

- **Параметры расчёта на морозоустойчивость**. При включении критерия Морозоустойчивость на вкладке **Главная** или при установке флага **Расчёт на морозоустойчивость** в свойствах проекта в группе **Критерии расчёта** в свойства проекта добавляется группа параметров **Параметры расчёта на морозоустойчивость**. Здесь нужно указать все необходимые для проверки по этому критерию характеристики, такие как **Глубина промерзания**, **Уровень грунтовых вод** и т.д. Подробнее об этом см. в разделе Расчёт на морозоустойчивость.

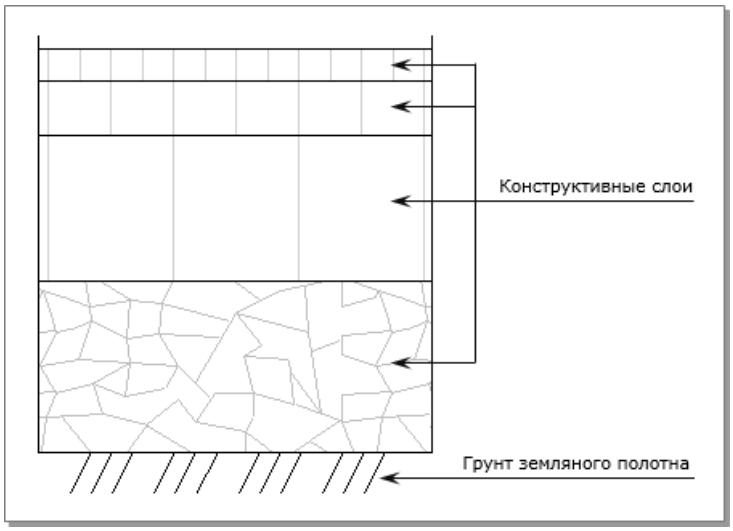
  Параметры расчёта дренирующего слоя. При включении критерия **Дренирующий слой** на вкладке **Главная** или при подключении опции **Расчёт дренирующего слоя** в свойствах проекта в группе **Критерии расчёта** появляется группа **Параметры расчёта дренирующего слоя**. Здесь нужно указать **Принцип работы дренирующего слоя** и в соответствии с ним назначить параметры расчёта. Подробное описание всех характеристик этой группы представлено в разделе Расчёт дренирующего слоя.

3. Формирование конструкции дорожной одежды

При конструировании дорожной одежды решаются такие задачи, как выбор подходящих материалов, определение количества слоёв, их размещения и толщины. В этой главе рассматривается процесс создания конструкции дорожной одежды, включающий в себя добавление конструктивных слоёв и геосинтетических материалов, выбор грунта земляного полотна, а также редактирование параметров слоёв.

3.1. Структура дорожной одежды

Дорожная одежда состоит из конструктивных слоёв, содержащих материалы жёстких и нежёстких дорожных одежд. Конструктивные слои по своему функционалу и местоположению в конструкции разделяются на слои покрытий, оснований, а также дополнительные слои оснований. Важной частью конструирования и расчёта дорожной одежды также является грунт земляного полотна, который расположен непосредственно под слоями дорожной одежды.



Система IndorPavement позволяет формировать и производить расчёт как нежёстких, так и жёстких дорожных одежд. В обоих случаях конструкция представляет собой набор слоёв. В области формирования конструкции дорожной одежды конструктивные слои нежёстких дорожных одежд окрашены голубым цветом, а грунт земляного полотна, представленный также в качестве слоя, но без указания его толщины, — жёлтым. Слои жёстких дорожных одежд выделяются тёмно-голубым, слои усилений — оранжевым, геосинтетические прослойки — серым цветом, слой износа — фиолетовым.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	А22Т Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 70/100, с	h = 6 см (5...10)	Eпов = 589 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 35%	Eсдв = 1450 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с	h = 10 см	Eпов = 467 МПа	Eупр = 3000 МПа	Eсдв = 1000 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-песчаные смеси, обработанные цементом (ГОСТ 23558),	h = 22 см (20...25)	Eпов = 280 МПа	Eупр = 600 МПа	Eсдв = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционированный 31,5..45 (45..63) мм	h = 15 см (10...20)	Eпов = 151 МПа	Eупр = 350 МПа	Eсдв = 350 МПа
	Материал геотекстильный нетканый иглопробивной ...				Kд = 2,0
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа	Eсдв = 100 МПа Запас = 12%

Для каждого слоя представлены краткая информация о параметрах слоя (материал, толщина, модуль упругости), его отображение на чертеже и расчётные значения

по выбранным критериям. С помощью этой информации можно произвести визуальный анализ конструкции дорожной одежды.

Теории проектирования жёстких и нежёстких дорожных одежд существенно различаются. Эти различия отражены в алгоритмах расчёта конструкций.

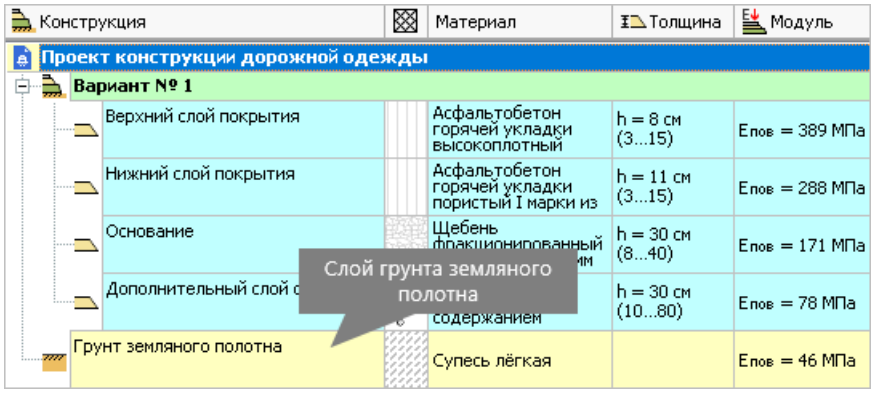
Определение вида дорожной одежды производится путём анализа её конструкции. К жёстким дорожным одеждам относятся те, которые имеют:

- цементобетонные монолитные покрытия;
- асфальтобетонные покрытия на основаниях из цементобетона;
- сборные покрытия из железобетонных или армобетонных плит.

Остальные конструктивные решения считаются нежёсткими.

3.2. Работа с грунтом земляного полотна

В конструкции дорожной одежды грунт земляного полотна представлен в виде отдельного слоя, отображаемого жёлтым цветом.



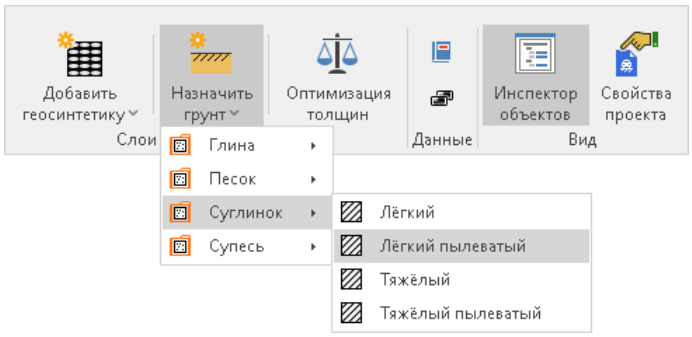
Грунт земляного полотна является одной из важнейших характеристик проекта, поэтому от корректности указания его параметров сильно зависят результаты расчётов. При задании грунта из библиотеки материалов все его характеристики задаются в проекте автоматически согласно нормативным документам. Однако если в проекте применяется нестандартный грунт, то параметры материала необходимо указать вручную.

3.2.1. Назначение грунта земляного полотна

Назначение стандартного грунта земляного полотна из библиотеки материалов возможно двумя способами.

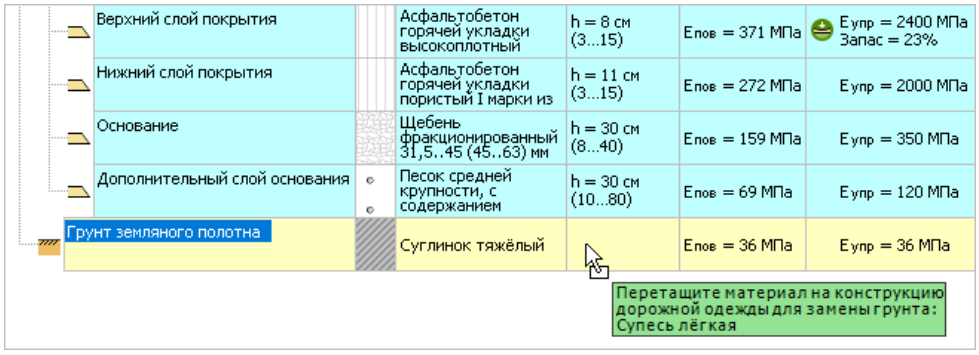
Первый способ назначения грунта

Нажмите на ленте кнопку **Главная > Слои > Назначить грунт** и в появившемся меню выберите тип используемого грунта.



Второй способ назначения грунта

Перейдите в инспекторе объектов на вкладку **Материалы**. Все грунты объединены в группу **Материалы земляного полотна**. Зажмите кнопку мыши на названии материала, который хотите добавить в проект, и «перетащите» его в область формирования конструкции дорожной одежды в слой **Грунт земляного полотна**.



Если в проекте используется нестандартный грунт, то вы можете назначить его параметры тремя способами:

1. Указать его характеристики «с нуля» в свойствах грунта в инспекторе объектов.
2. Внести материал с похожими характеристиками из библиотеки материалов и отредактировать его параметры (см. Редактирование параметров грунта земляного полотна).
3. Создать новый материал в библиотеке материалов и добавить его в проект (см. Создание пользовательских материалов).

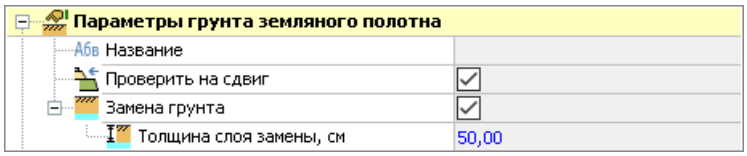
3.2.2. Редактирование параметров грунта земляного полотна

При выделении в области формирования конструкции дорожной одежды слоя грунта земляного полотна его свойства отображаются в инспекторе объектов на вкладке **Свойства грунта**.

- В группе **Параметры грунта земляного полотна** в поле **Название** можно изменить название слоя грунта земляного полотна в области формирования конструкции. Например, при расчёте слоёв усиления, в отсутствие конструктивных слоёв, в качестве грунта земляного полотна зачастую указывают существующую конструкцию дорожной одежды. В таком случае в этом поле можно ввести соответствующее название: **Существующая дорожная одежда**.

  Опция **Проверить на сдвиг** по умолчанию включена, однако при расчёте дорожной одежды могут возникать различные нестандартные ситуации (например, при дополнительной стабилизации грунта), когда расчёт на сдвигоустойчивость для грунта не производится.

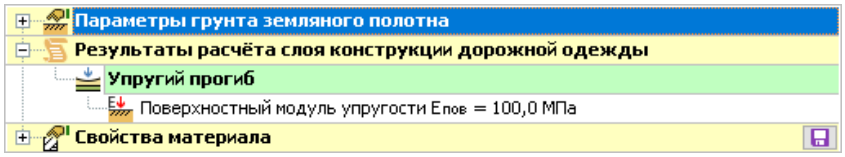
  При установке опции **Замена грунта** появляется дополнительная строка **Толщина слоя замены** (по умолчанию 50 см), куда вводится значение глубины рабочего слоя в случае замены грунта.



ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте по методике ПНСТ 542–2021 значение не может быть менее 50 см. Кроме того, глубина низа рабочего слоя должна составлять как минимум 2/3 глубины промерзания, но менее 1,5 м. Если это условие не выполняется, в ход работы выдаётся соответствующее предупреждение.

- В качестве поверхностного модуля упругости для грунта земляного полотна указывается модуль упругости самого материала, так как это самый нижний слой и с него начинается дальнейший расчёт. Информация о поверхностном модуле упругости отображается в группе **Результаты расчёта слоя**

конструкции дорожной одежды в поле **Поверхностный модуль упругости Епов**.



- Параметры материала грунта объединены в группу **Свойства материала**. Изменение этих параметров изменяет характеристики грунта только в текущей конструкции дорожной одежды. Группа **Общие свойства** содержит набор параметров, характерных для всех грунтов. Значение в поле **Полное название** отображается в области формирования конструкции в столбце **Материал**.

  - В поле **Полное название** отображается название материала грунта, определённое в библиотеке материалов.
  - В поле **Тип материала** указывается тип материала грунта: **Грунт**, **Песок**, **Супесь**, **Суглинок** или **Глина**.
  - Одним из основных параметров механических свойств грунта земляного полотна, используемых в расчётах дорожной одежды на прочность, служит модуль упругости грунта, который задаётся в поле **Модуль упругости E, МПа**. Модуль упругости материалов грунтов, взятых из библиотеки, определяется согласно расчётной методике в соответствии со значением расчётной относительной влажности грунта земляного полотна, заданного в свойствах проекта.
  - В случае выбора расчётной методики ПНСТ 371–2019 к общим свойствам грунта добавляется параметр **Модуль деформации Ед, МПа**, так как

согласно этой методике расчёт производится по модулям деформации материалов.

Общие свойства	
Полное название	Суглинок лёгкий пылеватый
Тип материала	Суглинок
Модуль упругости E, МПа	46,0
Модуль деформации Eд, МПа	7,5
Плотность, кг/м³	2 000
Коэффициент уплотнения	0,97

- Плотность грунта задаётся в поле **Плотность** и может опционально оказывать влияние на расчёт сдвигоустойчивости (см. Расчёт на сдвигоустойчивость).
- Коэффициент уплотнения грунта задаётся в поле **Коэффициент уплотнения** согласно исходным данным.

- В зависимости от выбранного типа грунта (песок, супесь, суглинок или глина) доступна дополнительная группа параметров.

Параметры песка	
Пылеватость	☑
Зернистость	Мелкозернистый

- Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на сдвигоустойчивость под действием кратковременных или длительных нагрузок, то отображается группа расчётных параметров **Сдвигоустойчивость**. Для стандартных грунтов эти значения заполняются автоматически согласно расчётной методике в соответствии с указанной в свойствах проекта расчётной относительной влажностью грунта.
- Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на морозоустойчивость, то добавляется группа расчётных параметров **Морозоустойчивость**. Если рассчитывается дренирующий слой, то появляются дополнительные параметры **Расчёт на дренаж**. Подробнее об этих параметрах смотрите в пунктах Расчёт на морозоустойчивость и Расчёт дренирующего слоя.

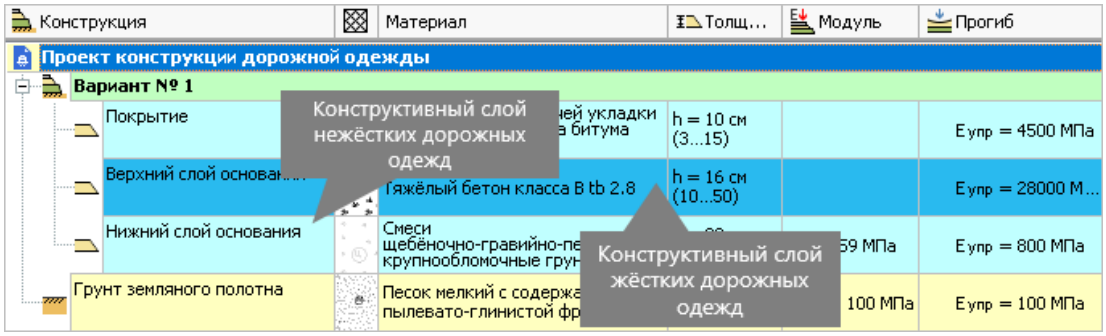
ЗАМЕЧАНИЕ. Если в качестве грунта используются материалы из группы **Прочие**, то расчёт на морозоустойчивость и расчёт дренирующего слоя заблокированы, так как для этих материалов в расчётных методиках не представлены необходимые характеристики.

- В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление слоя грунта на чертеже и в области формирования конструкции дорожной одежды.

3.3. Работа с конструктивными слоями

Конструктивные слои дорожной одежды могут формировать покрытие, основание и дополнительные слои основания. Тип материала для того или иного конструктивного слоя выбирается в зависимости от его расположения в конструкции. Например, покрытие для дорог I–IV категорий, как правило, представлено монолитными материалами или асфальтобетонами.

По умолчанию все создаваемые из материалов нежёсткого типа дорожных одежд конструкции являются нежёсткими. При добавлении слоя из материала жёсткого типа конструкция автоматически считается жёсткой. При назначении хотя бы одного из слоёв слоем усиления расчёт производится не для новой дороги, а для усиления существующей.

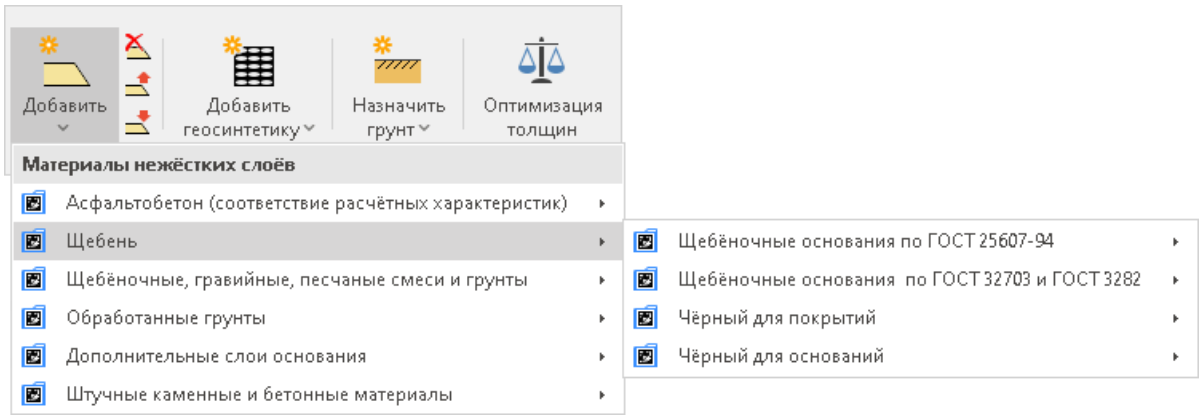


3.3.1. Добавление конструктивного слоя

Создание конструктивного слоя возможно двумя способами. Кроме того, существует отдельный вариант добавления нового конструктивного слоя из асфальтобетона на битумном вяжущем PG сразу с возможностью выбора марки битумного вяжущего.

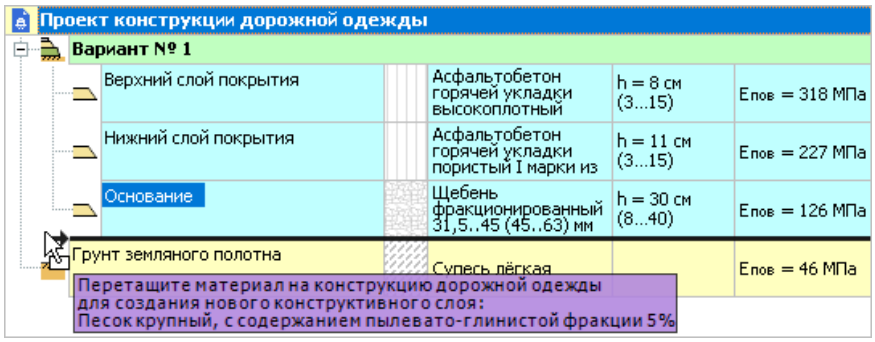
Первый способ добавления слоя

В области формирования конструкции дорожной одежды выделите вариант конструкции дорожной одежды или один из конструктивных слоёв, если таковые уже есть. Затем нажмите кнопку **Главная > Слои > Добавить** и в появившемся меню выберите тип материала.



Второй способ добавления слоя

В инспекторе объектов перейдите на вкладку **Материалы**. Все материалы конструктивных слоёв объединены в две группы: **Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд** и **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд**. Зажмите на названии выбранного материала левую кнопку мыши и «перетащите» его в область формирования конструкции дорожной одежды. Система укажет место в конструкции, куда может быть добавлен материал согласно его модулю упругости.



ЗАМЕЧАНИЕ. Конструктивные слои добавляются в конструкцию таким образом, чтобы не нарушалось свойство возрастания модулей упругости материалов от слоя грунта земляного полотна к слоям покрытия.

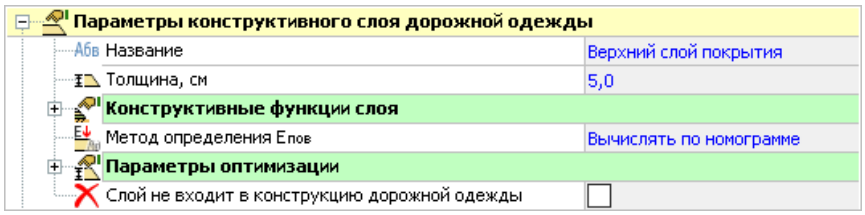
3.3.2. Редактирование параметров конструктивного слоя

При выделении в области формирования конструкции дорожной одежды конструктивного слоя его свойства отображаются в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя**. Рассмотрим их подробно.

Общие параметры

В группу **Параметры конструктивного слоя дорожной одежды** объединены параметры, которые являются общими для всех конструктивных слоёв.

- Название конструктивного слоя задаётся в поле **Название**. Можно выбрать название из списка или ввести его с клавиатуры. Это название выводится в области формирования конструкции дорожной одежды и в отчётной документации.



- Толщина конструктивного слоя задаётся в поле **Толщина** и по умолчанию для всех новых слоёв равна 10 см. Здесь можно указать любое значение толщины слоя, находящееся в диапазоне, ограниченном величинами, указанными в свойствах материала слоя (поля **Минимальная толщина слоя** и **Максимальная толщина слоя**).
- Для дополнительных и слабосвязных слоёв основания появляется опция **Проверить на сдвиг**, которая по умолчанию включена.
- Для слоёв основания доступна дополнительная опция **Укреплённое основание**. Если основание устроено из укреплённых материалов, то при расчёте на сдвигоустойчивость в нижележащем слое (дополнительном слое основания или грунте) учитывается повышенный коэффициент деформации Кд согласно выбранной методике. Если основание не укреплено, то при расчёте сдвигоустойчивости коэффициент Кд дополнительно не повышается. Если в свойствах материала установлен флаг **Укреплённый материал**, то опция **Укреплённое основание** включена автоматически.
- В группе параметров **Конструктивные функции слоя** для конструктивного слоя можно указать его особую роль в конструкции.

- При эксплуатации дорог часто возникают ситуации, когда необходимо увеличить запас прочности конструкции, а также устранить приобретённые дефекты, обусловленные эксплуатационным износом или случайными повреждениями. Для усиления конструкции в целом или отдельных её слоёв применяются слои усиления. Чтобы задать слой усиления, включите опцию **Слой усиления**. В области формирования конструкции дорожной одежды слои усиления выделены оранжевым цветом. Подробно о назначении параметров слоёв усиления рассказывается в разделе Усиление конструкции дорожной одежды.
- **Слой износа**. Этот флаг доступен только для самого верхнего слоя конструкции. Если опция включена, то добавляются строки **Способ определения толщины слоя износа** и **Толщина слоя износа**. В случае определения толщины согласно «Рекомендациям по выявлению и устранению колей на нежёстких дорожных одеждах» или ГОСТ 50597-2017 поле **Толщина слоя износа** заполняется автоматически, а в случае выбора способа **Явное задание** его нужно заполнить вручную. В области формирования конструкции слой износа окрашен в фиолетовый цвет. Слой износа исключается из всех расчётов и не обозначается на расчётной схеме.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Верхний слой покрытия
Толщина, см	5,0
Конструктивные функции слоя	
Слой усиления	☐
Слой износа	☑
Способ опредления толщины слоя износа	По глубине колеи, определяемой по ГОСТ...
Толщина слоя износа	3,00
Метод определения $E_{пов}$	Вычислять по номограмме

- Для конструктивных слоёв, имеющих тип материала **Дополнительный слой основания**, в случае, если конструкция дорожной одежды рассчитывается на дренаж, добавляется опция **Дренирующий слой**. В свойствах материала при этом появляется дополнительная группа параметров. Подробнее об этом см. в разделе Расчёт дренирующего слоя.
- При расчёте конструкции на морозоустойчивость дополнительный слой также выполняет функцию морозозащитного слоя или теплоизолирующего слоя

при установке соответствующего флага. Однако эти опции недоступны при выборе методик ПНСТ 542–2021 и ПНСТ 265–2018.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Дополнительный слой основания
Толщина, см	30,0
Проверить на сдвиг	☑
Укреплённое основание	☐
Конструктивные функции слоя	
Слой усиления	☐
Морозозащитный слой	☐
Теплоизолирующий слой	☐
Дренирующий слой	☑
Метод определения Eпов	Вычислять по номограмме

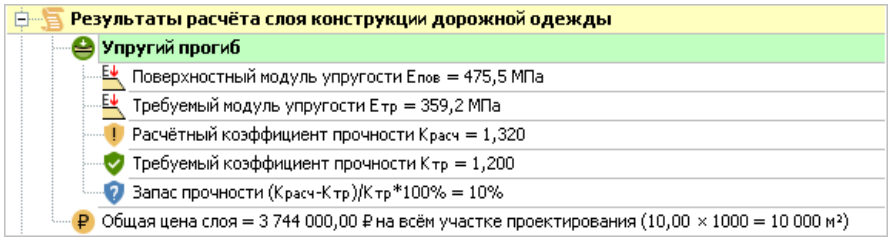
- В поле **Метод определения Eпов** можно выбрать метод расчёта поверхностного модуля упругости слоя: **Вычислять по номограмме**, **Вычислять по формуле из МОДН 2–2001**, **Назначить по результатам испытаний УДН** или **Назначить фактический модуль упругости** (опция доступна при расчёте слоёв усиления).
- В группе **Параметры оптимизации** задаются параметры, ограничивающие область поиска вариантов конструкции дорожной одежды по толщинам конструктивных слоёв. Эта группа свойств используется только при проведении оптимизации, на расчёты она влияния не оказывает. Подробнее об оптимизации и определении её параметров см. Настройка параметров оптимизации.
- Расчёт конструкции дорожной одежды может быть выполнен без учёта определённого слоя. Для этого необязательно удалять слой из конструкции, достаточно установить опцию **Слой не входит в конструкцию дорожной одежды**. В области формирования конструкции такой слой отображается шрифтом серого цвета, а его расчётные параметры отсутствуют. В инспекторе объектов параметры материала слоя становятся недоступны для редактирования.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Проект конструкции дорожной одежды				
Вариант № 1 (активный)				
Покрытие	Плита железобетонная напряжённая, из тяжёлого бетона ПАГ-20А800	h = 20 см		Eупр = 33000 МПа
Верхний слой основания	Готовые песчано-гравийные сме... класса прочности, укреплённые шлаковым вяжущим М-5 в	h = 8 см (0, 8)		
Нижний слой основания	Готовые песчано-щебёночные см... II класса прочности, укреплённые портландцементом М-40 в	h = 24 см	Eэ = 78 МПа	Eупр = 600 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	h = 20 см (20...25)	Eэ = 51 МПа	Eупр = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая		Eпов = 45 МПа	Eупр = 45 МПа

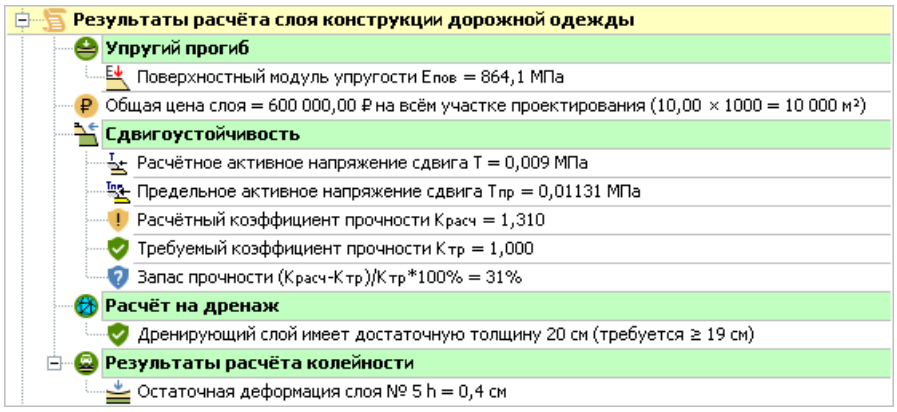
Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды

В группе **Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды** отображаются результаты расчёта слоя по выбранным критериям. Для различных типов слоёв наличие расчёта по критериям может варьироваться.

- В поле **Общая цена слоя** отображается расчёт стоимости слоя на всём указанном участке. Результат отображается в единицах стоимости конструкции. Параметр актуален в случае корректных данных в группе **Параметры оптимизации** и **Параметры дороги** в свойствах проекта.
- В группе **Упругий прогиб** отображается рассчитанный поверхностный модуль упругости слоя. Этот параметр рассчитывается для всех конструктивных слоёв дорожной одежды нежёсткого типа. Для верхнего слоя конструкции в группе **Упругий прогиб** также отображается требуемый модуль упругости, расчётный коэффициент прочности, требуемый коэффициент прочности и запас прочности.



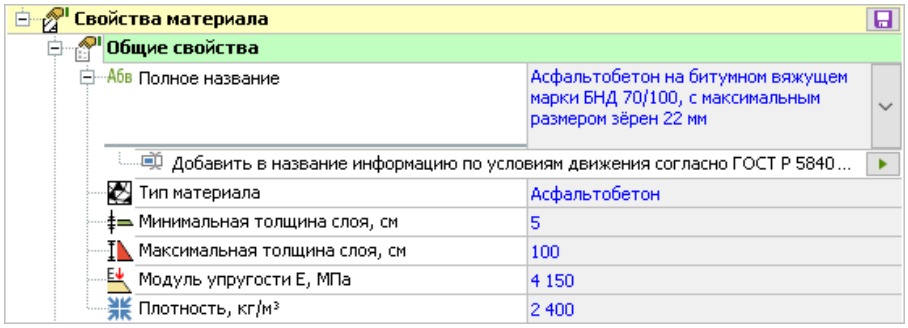
- В зависимости от того, по каким критериям производится расчёт конструкции дорожной одежды, в группе **Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды** также могут отображаться следующие группы: **Сдвигоустойчивость**, **Изгиб**, **Статическая нагрузка**, **Морозоустойчивость**, **Расчёт на дренаж** и **Результаты расчёта колейности** с результатами расчёта в данном конструктивном слое. Все эти результаты продублированы в свойствах варианта.



Свойства материала

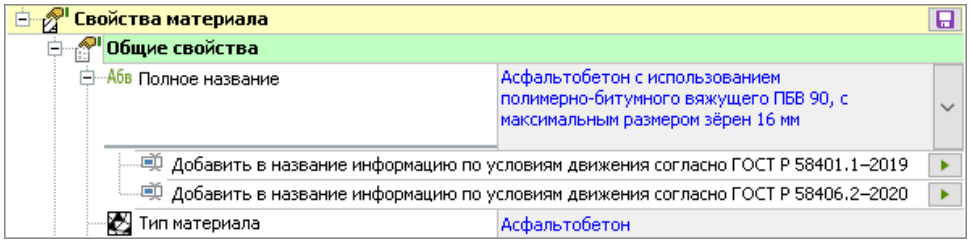
Свойства материала слоя объединены в группу **Свойства материала**. Изменение этих свойств влияет только на используемый в текущей конструкции материал конструктивного слоя, а исходный материал в библиотеке материалов остаётся без изменений.

- Группа **Общие свойства** содержит набор параметров, характерных для конструктивных слоёв любого типа.

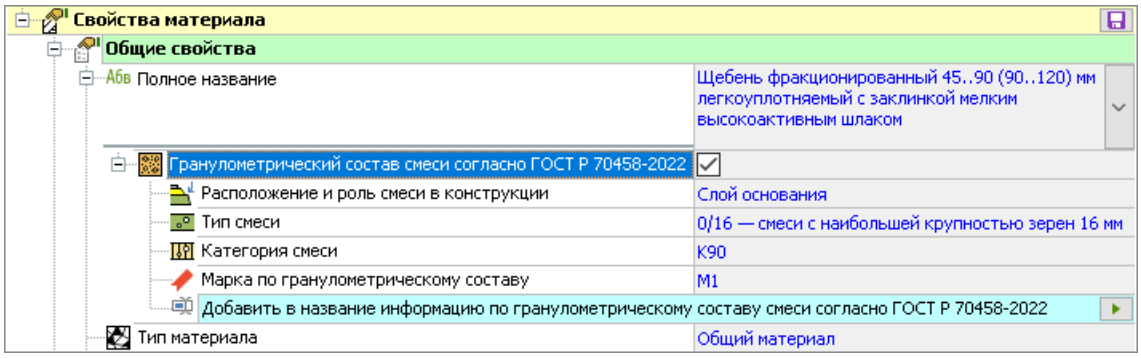


  - В поле **Полное название** отображается полное наименование материала, указанное в библиотеке материалов. Это название выводится в области формирования конструкции в столбце **Материал**. Чтобы изменить его, введите в этом поле новое название материала. При необходимости можно вернуть материалу название, заданное в библиотеке материалов в поле **Название в дереве**. Для этого нажмите кнопку и выберите пункт **По умолчанию**.

  - Для групп материалов **Асфальтобетоны по ГОСТ Р 58401.1-2019** и **Асфальтобетоны по ГОСТ Р 58406.2–2020** в общих свойствах добавляются опции **Добавить в название информацию по условиям движения согласно ГОСТ Р 58401.1–2019** и **Добавить в название информацию по условиям движения согласно ГОСТ Р 58406.2–2020**. Эти опции позволяют указать в наименовании соответствующий класс асфальтобетона согласно указанной в свойствах проекта расчётной нагрузке.

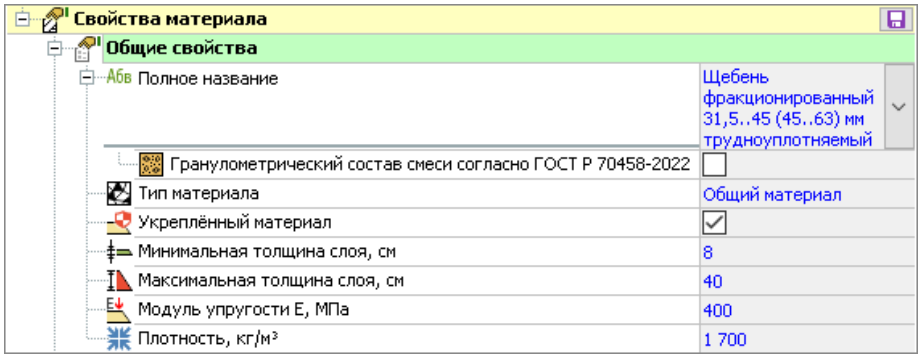


- Для готовых смесей, используемых в основаниях, дополнительно вносится опция **Гранулометрический состав смеси согласно ГОСТ Р 70458-2022**. При установке этой опции появляется возможность учесть в названии классификацию по ПНСТ 327–2019 (тип, категорию, марку).



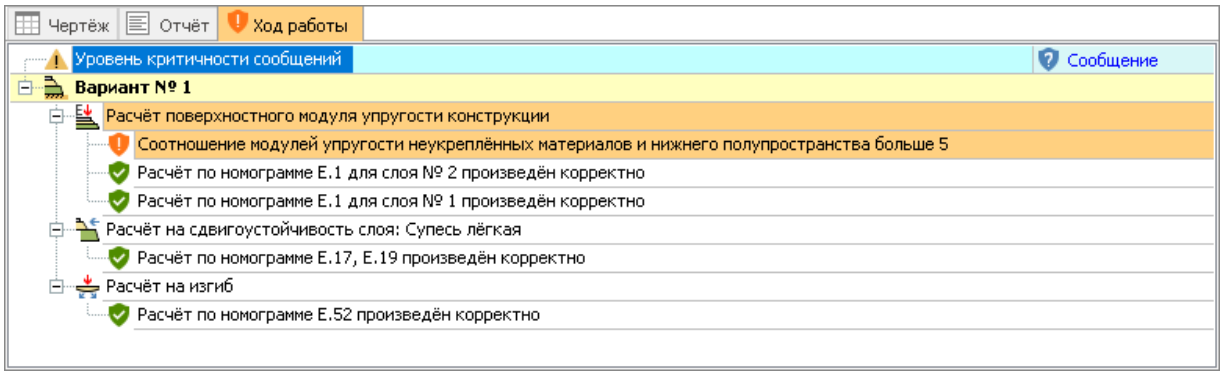
- В поле **Тип материала** отображается тип материала конструктивного слоя. Для конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд типы могут быть следующие: **Общий материал**, **Монолитный материал**, **Монолитный материал в основании**, **Асфальтобетон**, **Асфальтобетон в основании**, **ЩПС из металлургических шлаков**, **Слабосвязный материал**, **Доп. слой основания**. Для конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд материал может быть типа **Монолитный цементобетон** или **Бетонные плиты для сборных покрытий**. Типом материала определяется набор расчётных параметров по заданным критериям.

- Для материалов с типом **Общий материал** представлена опция **Укреплённый материал**, синхронизированная с опцией **Укреплённое основание**.



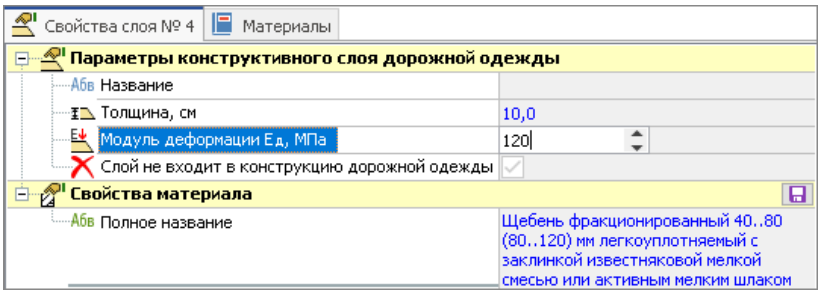
- При расчёте по ПНСТ 542–2021 в случае, если слой над грунтом устроен из материала этого типа и при этом у него отсутствует опция **Укреплённый материал**, производится проверка на соотношение

модулей упругости этого слоя и рабочего слоя грунта земляного полотна. Если это соотношение превышает значение 5, об этом выдаётся соответствующее предупреждение в ход работы.



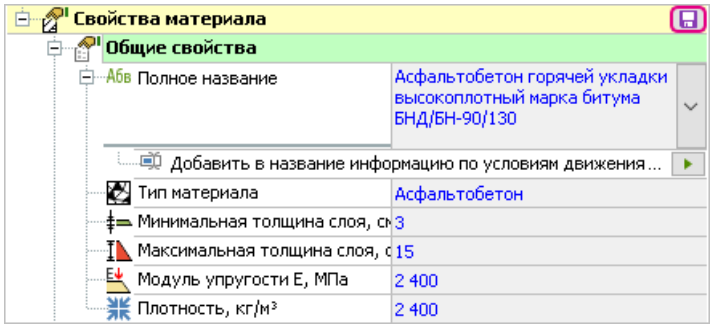
- Для каждого материала задана минимальная и максимальная толщины слоя в полях **Минимальная толщина слоя** и **Максимальная толщина слоя** соответственно. Указанная в параметрах слоя толщина, а также заданный в параметрах оптимизации диапазон толщин должны попадать в указанный интервал.
- В поле **Модуль упругости E, МПа** задаётся модуль упругости материала. При добавлении материала из библиотеки по умолчанию в этом поле задано значение в соответствии с приложением нормативного документа.
- Поле **Модуль деформации E, МПа** присутствует только у материалов из группы **Щебёночные, гравийные, песчаные смеси и грунты > Щебёночно-гравийно-песчаные смеси и грунты по ПНСТ 371-2019** и используется только при выборе методики ПНСТ 371–2019 для расчёта конструкции.

ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте по ПНСТ 371–2019 используются только материалы из группы **Щебёночные, гравийные, песчаные смеси и грунты > Щебёночно-гравийно-песчаные смеси и грунты по ПНСТ 371–2019**, так как согласно этой нормативной методике в расчётах применяются модули деформации материалов, а не модули упругости. В случае добавления слоёв из других материалов в проект они автоматически блокируются и не принимают участие в расчёте. Однако в инспекторе объектов для них можно изменить поле **Модуль деформации E, МПа**, и слой войдёт в состав расчётной конструкции.



- В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление конструктивного слоя на чертеже и в области формирования конструкции дорожной одежды (см. Настройка параметров чертежа).

ЗАМЕЧАНИЕ. Свойства материала конструктивного слоя дублируют его характеристики из библиотеки материалов (см. раздел Характеристики материалов). Вы можете изменить их при необходимости, но в таком случае отредактированные параметры будут отображаться для данного материала только в текущем проекте. Чтобы сохранить материал с новыми параметрами в библиотеку как пользовательский, нажмите кнопку, находящуюся в правой части строки **Свойства материала**.

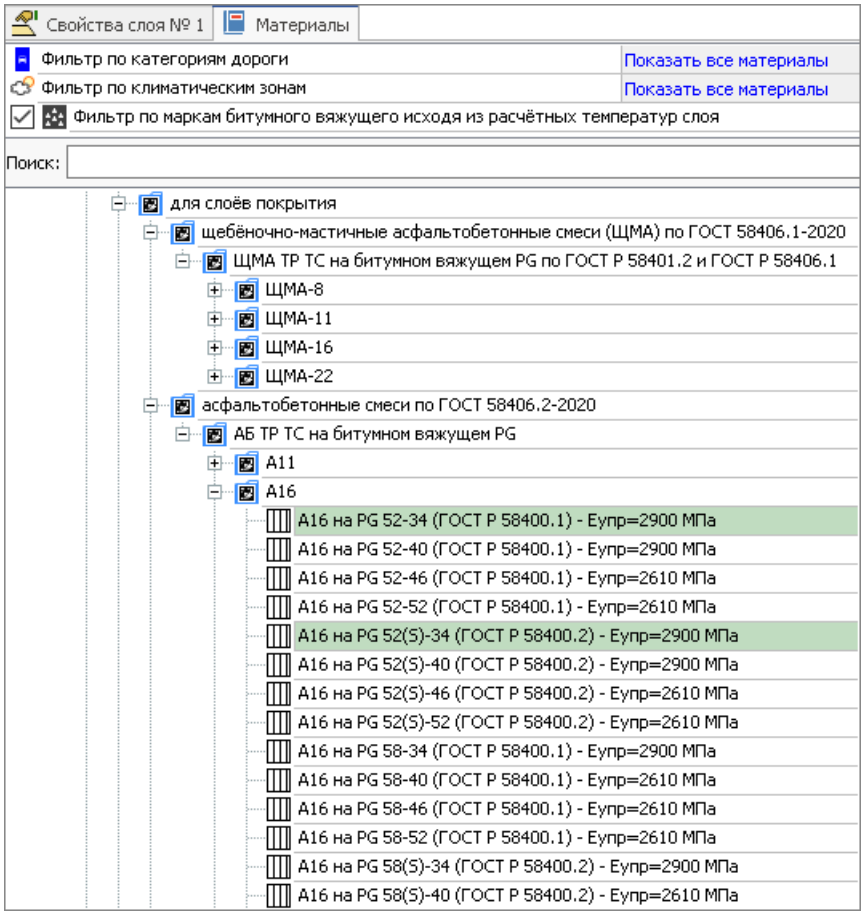


3.3.3. Выбор марки битумного вяжущего

При применении расчётной методики ПНСТ 542–2021 для конструктивного слоя асфальтобетона на битумном вяжущем PG должны быть назначены допустимые к применению марки по ГОСТ Р 58400.1 и по ГОСТ 58400.2. Для выполнения расчёта и определения допустимых марок нужно в свойствах проекта в группе **Метод определения температурных условий эксплуатации дороги** указать соответствующие параметры (подробнее в разделе Параметры дороги).

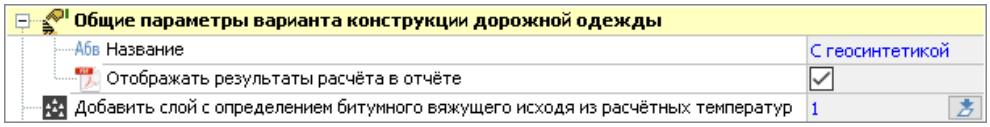
Указать марку асфальтобетона можно двумя способами:

1. Выделите уже добавленный в конструкцию слой, затем в инспекторе объектов на вкладке **Материалы** установите флаг **Фильтр по маркам битумного вяжущего исходя из расчётных температур слоёв**. В инспекторе объектов отобразится список материалов с марками по ГОСТ Р 58400.1 и по ГОСТ 58400.2, допустимыми к применению в этом конструктивном слое. Выбор материала осуществляется щелчком мыши.



2. В свойствах варианта можно выбрать номер добавляемого слоя и нажать кнопку , расположенную справа. При этом в конструкцию добавится слой без назначенного материала, но на вкладке **Материалы** уже будут

представлены все допустимые к применению в этом слое марки. Выбор материала осуществляется аналогично предыдущему пункту.

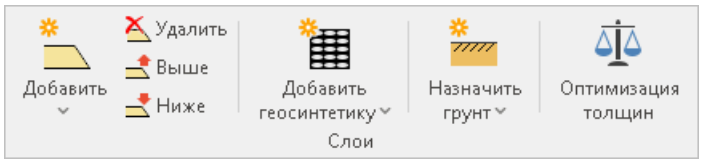


В области формирования конструкции в слое, для материала которого марка выбрана из диапазона допустимых, появляется надпись «Марка определена по ПНСТ 542-2021» и появляется соответствующий значок .

ЗАМЕЧАНИЕ. При любом изменении глубины расположения слоя (удалении или добавлении вышележащих слоёв, изменении их толщины или изменении толщины самого этого слоя, добавлении, удалении или изменении толщины слоя износа), а также при изменении параметров в свойствах проекта в группе **Метод определения температурных условий эксплуатации дороги** происходит пересчёт диапазона возможных к использованию марок, поэтому значок и надпись пропадают и материал с соответствующей маркой нужно подбирать заново.

3.3.4. Перемещение конструктивного слоя

Для изменения положения конструктивного слоя в конструкции дорожной одежды предназначены специальные кнопки: **Выше** и **Ниже**, расположенные в группе **Главная > Слои**.



Чтобы переместить слой на позицию выше, выделите его в области формирования конструкции и нажмите кнопку **Выше**. Аналогичным образом можно переместить слой на позицию ниже с помощью кнопки **Ниже**.

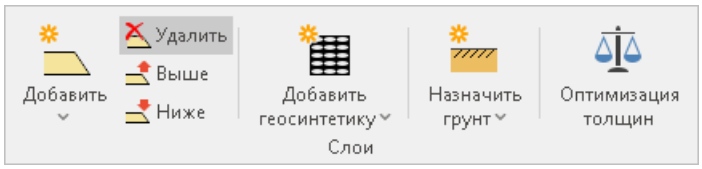
СОВЕТ. Для быстрого перемещения слоя используйте мышь. Чтобы переместить слой, выделите его в области формирования конструкции и, зажав кнопку мыши, переместите его на другую позицию (выше или ниже), затем отпустите кнопку мыши.

При перемещении слоя автоматически пересчитывается его поверхностный модуль упругости, а также поверхностный модуль упругости всех слоёв, лежащих выше.

ЗАМЕЧАНИЕ. Перемещение слоёв рекомендуется использовать только в особых случаях (например, при расчёте дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием на цементобетонных основаниях), так как автоматически слои располагаются в порядке возрастания модуля упругости от грунта к верхнему слою покрытия, как и предусмотрено рекомендациями по конструированию.

3.3.5. Удаление конструктивного слоя

Чтобы удалить конструктивный слой, выделите его в области формирования конструкции дорожной одежды и нажмите кнопку **Главная > Слои > Удалить** или воспользуйтесь клавишей **Delete**.

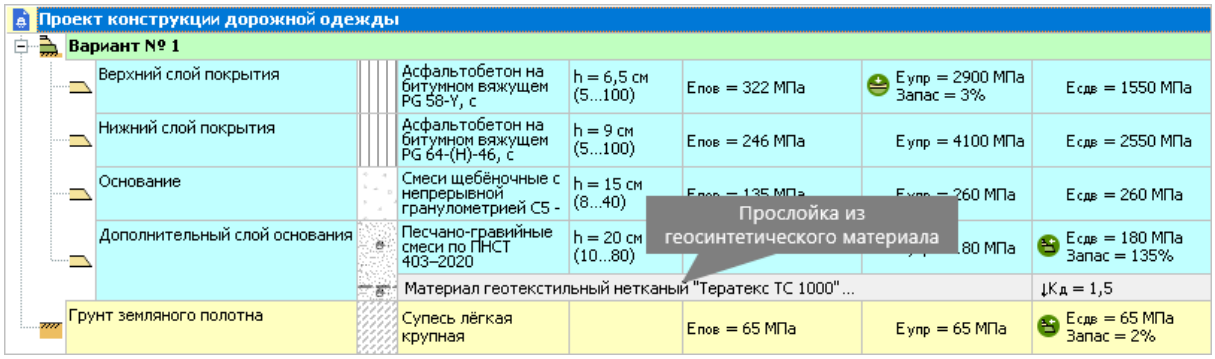


СОВЕТ. Если вы хотите временно не учитывать слой в расчётах, то необязательно его удалять, достаточно для этого установить опцию **Слой не входит в конструкцию дорожной одежды** в свойствах этого слоя.

Обратите внимание, что при исключении из конструкции дорожной одежды слоя из группы **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд** конструкция становится нежёсткой и к ней применяются только расчёты по методикам для нежёстких дорожных одежд.

3.4. Работа с геосинтетическими материалами

В дорожном строительстве геосинтетические материалы применяются для усиления оснований дорожных насыпей, армирования асфальтобетонных покрытий, разделения конструктивных слоёв, в качестве элементов дренажных конструкций, а также для устройства откосов повышенной крутизны.



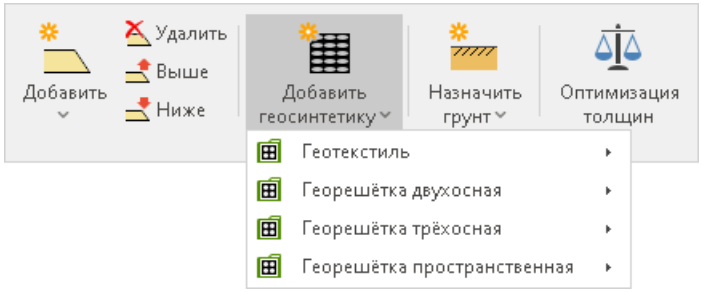
В рамках этой темы вы ознакомитесь с тем, как можно добавлять геосинтетику в конструкцию, редактировать её параметры, а также перемещать и удалять её из конструкции.

3.4.1. Добавление геосинтетического материала

Добавление геосинтетической прослойки возможно несколькими способами.

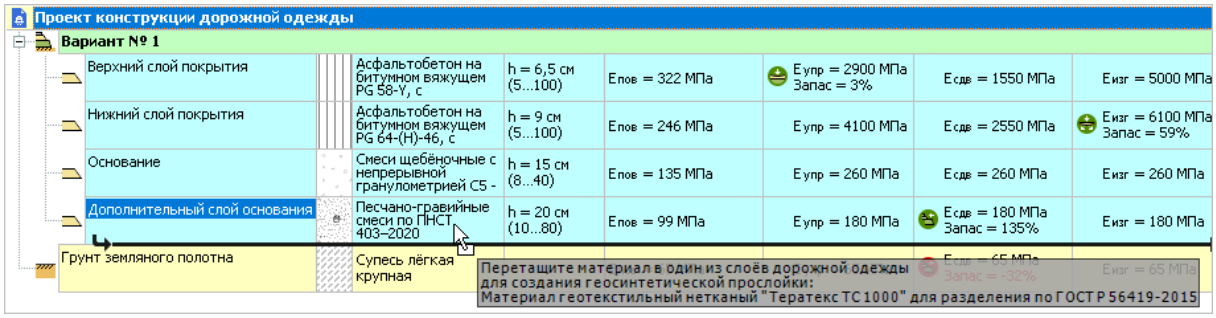
Первый способ добавления материала

В области формирования конструкции дорожной одежды выделите конструктивный слой, в который хотите добавить геосинтетический материал. Затем нажмите кнопку **Главная > Слои > Добавить геосинтетику** и в появившемся подменю выберите нужный материал.



Второй способ добавления материала

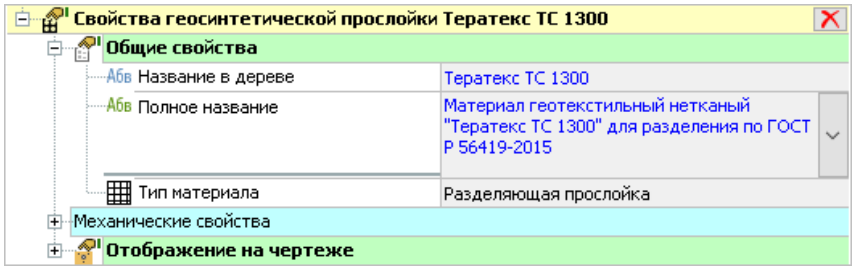
В инспекторе объектов перейдите на вкладку **Материалы**. Все геосинтетические материалы объединены в четыре группы: **Геотекстиль**, **Георешётка двухосная**, **Георешётка трёхосная** и **Георешётка пространственная**. Выделите материал, который хотите добавить в конструкцию, «перетащите» его в область формирования конструкции дорожной одежды в конструктивный слой.



3.4.2. Редактирование параметров геосинтетического материала

Параметры геосинтетического материала выделены в отдельную группу параметров того конструктивного слоя, в который он добавлен. Чтобы отобразить их, выделите конструктивный слой (в инспекторе объектов при этом станет доступна вкладка **Свойства слоя**), в свойствах конструктивного слоя найдите группу **Свойства геосинтетической прослойки** и раскройте её параметры. Рассмотрим их подробно.

- В группе **Общие свойства** объединены параметры, относящиеся к геосинтетическому материалу в целом.
  - В поле **Название в дереве** отображается название геосинтетического материала в дереве библиотеки материалов.



  - В поле **Полное название** отображается название геосинтетического материала, определённое в библиотеке материалов в поле **Полное название**. Оно отображается в области формирования конструкции в строке геосинтетической прослойки. Чтобы изменить его, введите в этом поле новое наименование. Нажав кнопку и выбрав пункт **По умолчанию**, можно автоматически вернуть название материала, заданное в библиотеке в поле **Название в дереве**.
  - В поле **Тип материала** указывается тип геосинтетики.

ЗАМЕЧАНИЕ. Тип геосинтетического материала должен соответствовать определённому типу материала конструктивного слоя, в который вносится геосинтетика (например, георешётку для основания не рекомендуется добавлять в слой асфальтобетона). В противном случае геосинтетический материал не вызовет улучшения конструкции и повышения соответствующих расчётных показателей (см. Расчёт с учётом геосинтетических материалов).

- Для геоситетических материалов различных типов в свойства добавляются соответствующие им группы характеристик. Они идентичны тем, что

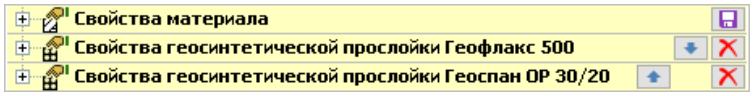
представлены для геосинтетики в библиотеке материалов (см. Характеристики материалов).

- В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление геосинтетического материала на чертеже и в области формирования конструкции дорожной одежды (см. Настройка параметров чертежа).

3.4.3. Перемещение и удаление геосинтетического материала

Перемещение геосинтетического материала

Если в один конструктивный слой добавляется несколько геосинтетических материалов, то они располагаются в виде прослоек в порядке добавления их в конструкцию. Чтобы переместить геосинтетическую прослойку в слое на позицию вверх, в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя** нажмите кнопку ↑, расположенную рядом с названием группы свойств геосинтетического материала. Для перемещения прослойки на позицию вниз воспользуйтесь кнопкой ↓.



Геосинтетические материалы можно перемещать только внутри слоя, в который они добавлены. В другой конструктивный слой геосинтетический материал переместить нельзя.

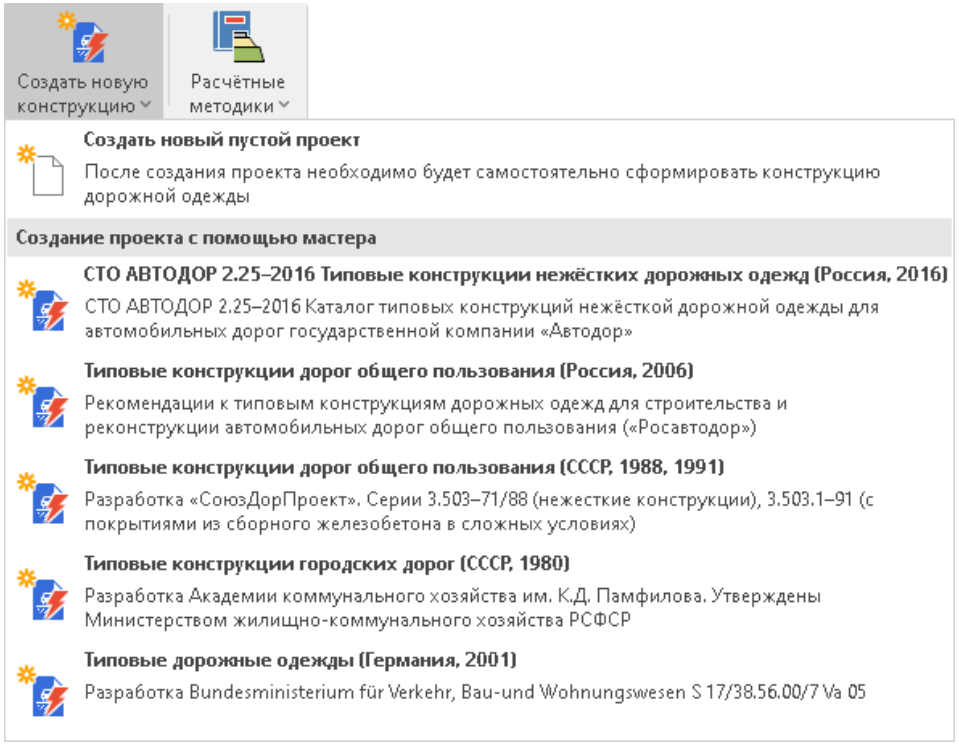
Удаление геосинтетического материала

Чтобы удалить геосинтетическую прослойку конструктивного слоя, нажмите в инспекторе объектов в свойствах слоя кнопку ✗, расположенную рядом с названием геосинтетического материала.

3.5. Проектирование на основе типовых конструкций

При разработке конструкции дорожной одежды проектировщик решает множество задач: подбор имеющихся в наличии или недорогостоящих материалов, расчёт конструкции на прочность по различным критериям и др. Но на первом этапе при определении количества слоёв и их материалов важно учитывать физико-механические особенности материала слоя, определяющие его конструктивную пригодность. Чтобы облегчить эту задачу, в системе IndorPavement предусмотрен мастер создания конструкций. Достаточно ввести небольшой набор параметров, и система предложит шаблоны конструктивных решений с допустимыми материалами. Таким образом проектировщик может избежать конструктивных ошибок. В дальнейшем любой шаблон можно добавить в проект и доработать, рассчитать по необходимым критериям или оптимизировать по толщинам слоёв.

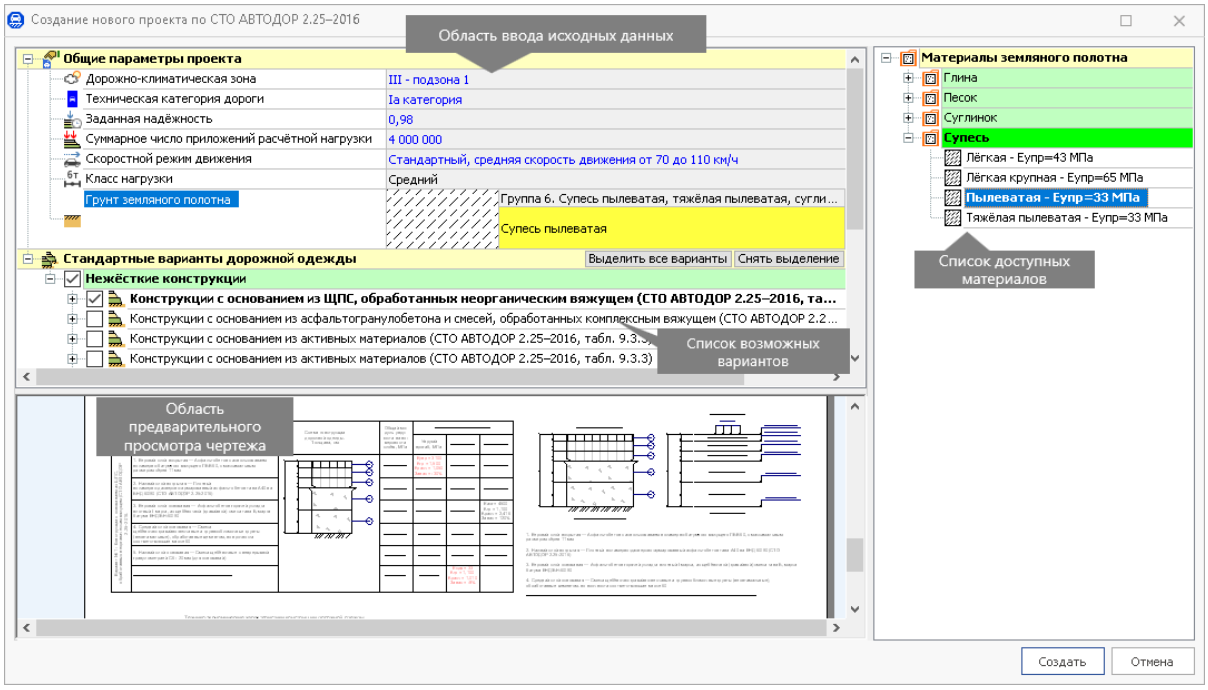
Мастер создания конструкций основан на пяти альбомах типовых решений. Чтобы начать проектирование конструкции, выберите нужный альбом: **Главная > Создать новую конструкцию**.



Окно мастера создания конструкций состоит из следующих элементов:

- **Область ввода исходных данных**. Располагается в верхней части окна (секция **Общие параметры проекта**) и содержит параметры, необходимые

для поиска допустимых вариантов конструкций дорожной одежды в выбранном альбоме типовых решений.



- **Список возможных вариантов**. Располагается ниже области ввода исходных данных (секция **Стандартные варианты дорожной одежды**) и представляет собой список найденных конструктивных решений в выбранном типовом альбоме.
- **Список доступных материалов**. Появляется при задании материала слоя или грунта и располагается в правой части окна. Содержит список доступных согласно типовому решению материалов с учётом введённых исходных данных.

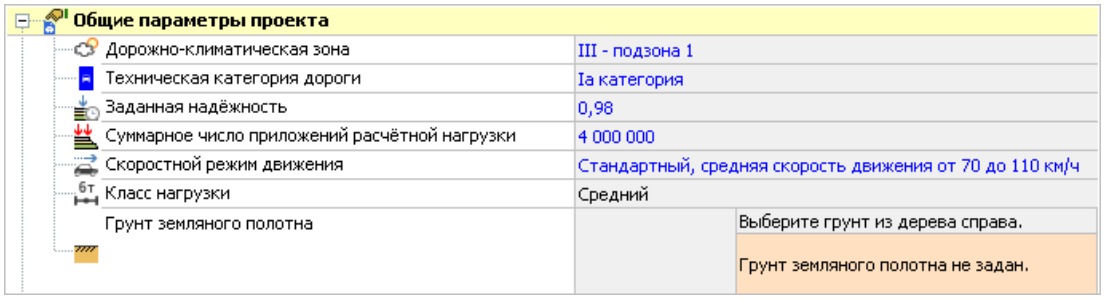
ЗАМЕЧАНИЕ. Материал грунта задаётся в качестве исходных данных, а материалы слоёв при выборе возможного варианта.

- **Область предварительного просмотра чертежа**. Занимает нижнюю часть окна и содержит чертёж выделенного варианта с результатами его предварительного расчёта по ОДН 218.046–01.

Для поиска подходящих шаблонов конструкций в альбоме типовых решений необходимо ввести исходные данные в секции **Общие параметры проекта**.

- Задайте техническую категорию дороги в поле **Техническая категория дороги**. В соответствии со стандартной классификацией она может быть Ia, Iб, Iв, II, III, IV или V.

ЗАМЕЧАНИЕ. Набор доступных категорий дороги зависит от выбранного альбома типовых конструкций.

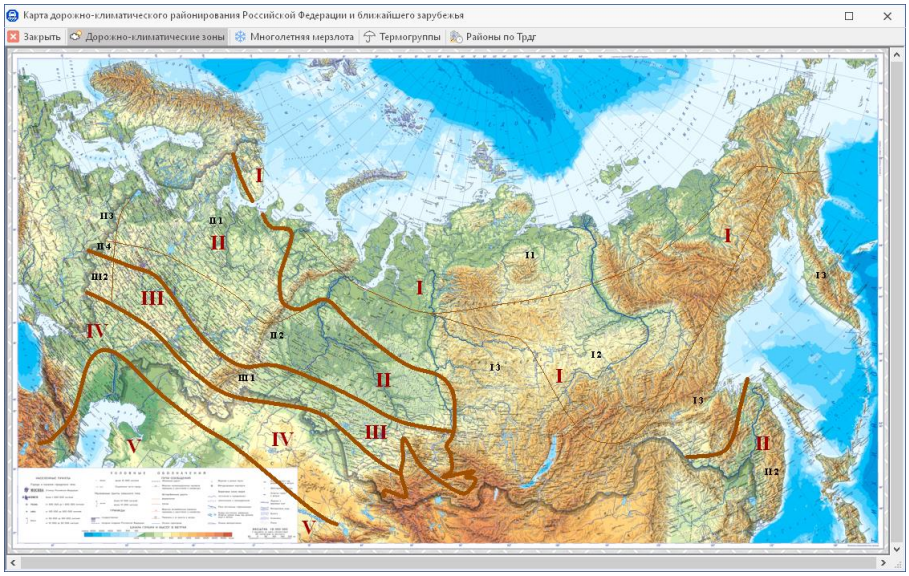


- В поле **Тип дорожной одежды** задайте тип покрытия дорожной одежды: **Капитальный**, **Облегчённый** или **Переходный**. Для дорог I категории тип дорожной одежды всегда является капитальным и это поле недоступно для изменений. От выбранного типа дорожной одежды напрямую зависит тип используемых материалов покрытия.

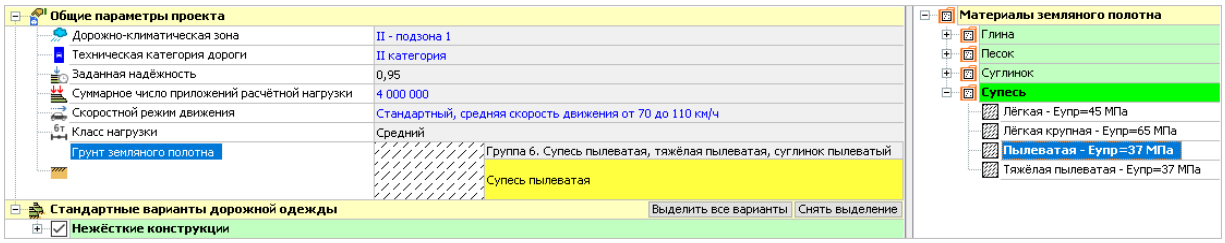
- Климатическую зону и подзону выберите в поле **Дорожно-климатическая зона**. Расположение дорожно-климатических зон определено климатическими характеристиками и отображено на карте, которую можно просмотреть, нажав кнопку **Карта...**

  В окне просмотра карты можно отображать различную информацию о расположении дорожно-климатических зон (кнопка **Дорожно-климатические зоны**), изолиний термосопротивления грунта (кнопка **Термогруппы**), районов многолетней мерзлоты (кнопка **Многолетняя мерзлота**) и районов по числу расчётных дней в году (кнопка **Районы по Трдг**). Чтобы отобразить или скрыть характеристики района

на карте, нажмите соответствующую кнопку. При необходимости можно включить сразу несколько кнопок.



- Задайте превалирующий тип увлажнения (**Схема 1 (атмосферные осадки)**, **Схема 2 (поверхностные воды)** или **Схема 3 (грунтовые воды)**) в поле **Схема увлажнения**.
- В поле **Грунт земляного полотна** задайте материал грунта. При выделении этого поля в правой части окна появляется список доступных грунтов. Для назначения материала в качестве грунта щёлкните на нём мышью в списке. В результате в поле отобразится название назначенного грунта, группа, к которой он относится в альбоме типовых решений, и способ его отображения на чертеже.



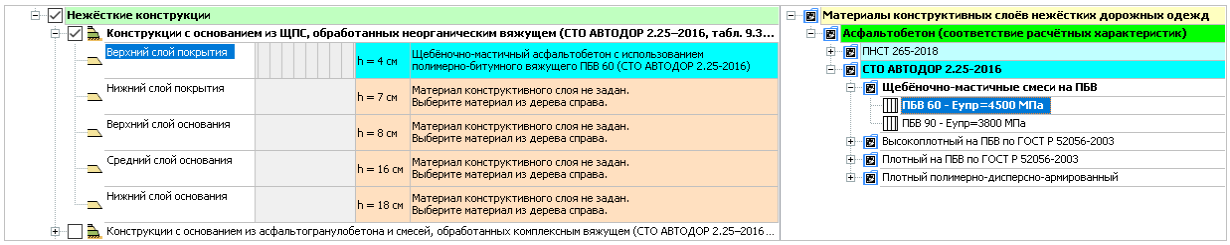
ЗАМЕЧАНИЕ. Помимо указанных выше параметров, в качестве исходных данных, в зависимости от выбранного альбома, могут быть указаны дополнительные параметры, такие как **Скоростной режим движения**, **Класс нагрузки**, **Категория улиц и дорог** и пр.

После задания исходных данных в секции **Стандартные варианты дорожной одежды** появляются шаблоны конструкций дорожной одежды из указанного альбома

типовых решений. Каждый шаблон конструкции вынесен в отдельную секцию с названием шаблона из альбома типовых решений. Конструкции, с которыми работа в данный момент не ведётся, можно скрыть, нажав кнопку ⊟, расположенную слева от названия варианта. Для обратной операции нажмите кнопку ⊞.

Каждый шаблон конструкции дорожной одежды представлен в табличном виде. Строками обозначены слои конструкции, столбцы содержат информацию о типе слоя: расположение слоя в конструкции, отображение на чертеже, толщину и материал слоя (если он уже выбран).

Сформированные шаблоны конструкций содержат определённое количество слоёв с заданным типом и толщинами. Эти данные в текущем окне изменить невозможно. Материалы слоёв не заданы (поля подсвечены красным цветом), но для каждого слоя определён список допустимых материалов. Чтобы задать материал, выделите слой и в появившемся справа списке допустимых материалов выделите необходимый материал.



Наиболее перспективные варианты можно добавить в проект для дальнейшего редактирования, оптимизации или расчёта по каким-либо критериям. По умолчанию конструкции не добавляются в проект. Чтобы добавить выбранные варианты конструкции дорожной одежды в проект, установите флаг ☑ рядом с их названиями и нажмите кнопку **Создать**.

Для выделения всех вариантов или снятия выделения можно воспользоваться кнопками **Выделить все варианты** и **Снять выделение**, расположенные в поле **Стандартные варианты дорожной одежды**.

4. Расчёт нежёстких дорожных одежд

Для обеспечения необходимых прочностных характеристик дорожной одежды производят расчёт конструкции по таким критериям, как упругий прогиб, сдвигоустойчивость подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоёв при воздействии динамической и статической нагрузок, сопротивление монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе. Помимо этого, могут быть произведены проверка конструкции на морозоустойчивость и расчёты колейности, дренирующего, теплоизолирующего и морозозащитного слоёв.

В этой главе рассматривается визуальный анализ результатов расчётов, получаемых в процессе проектирования конструкции дорожной одежды, а также подробно описывается проведение расчётов конструкции дорожной одежды по всем доступным критериям.

Система IndorPavement может производить расчёт нежёстких конструкций дорожных одежд по нескольким методикам. Выбрать методику можно в группе **Главная > Методики**.

4.1. Расчёт на упругий прогиб

Под прочностью конструкции дорожной одежды понимают способность сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте. Количественную оценку прочности можно измерить величиной коэффициента прочности по допускаемому упругому прогибу.

При расчёте конструкций нежёстких дорожных одежд согласно любой базовой методике расчёт на упругий прогиб производится автоматически и никаких дополнительных настроек делать не нужно.

ЗАМЕЧАНИЕ. Практически все базовые методики имеют ограничения осевой нагрузки по расчёту на упругий прогиб. При выборе расчётных методик ОДН 218.046–01 и ВСН 46–83 расчёт на прочность по критерию упругого прогиба не производится при задании статической нагрузки на ось более 120 кН. В ПНСТ 542-2021 предусмотрено ограничение для нагрузки на ось 115 кН, в МОДН 2–2001 — 110 кН на ось. В таких случаях в свойствах проекта в группе **Критерии расчёта** появляется опция **Расчёт на упругий прогиб**, которую можно назначить на своё усмотрение.

Краткая информация о результатах расчёта конструкции на прочность по критерию упругого прогиба отображается в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Прогиб**. В столбце **Модуль** для каждого слоя конструкции отображается значение рассчитанного общего модуля упругости на поверхности слоёв. Для верхнего слоя конструкции модуль упругости является модулем упругости всей конструкции в целом.

Помимо значения модуля упругости, в верхнем слое покрытия отображается значение запаса прочности, которое рассчитывается следующим образом:

$$\frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\%,$$

где $K_{расч}$ — расчётный коэффициент прочности по упругому прогибу;

$K_{тр}$ — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по критерию упругого прогиба.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Проект конструкции дорожной одежды				
Вариант № 1				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 6 см (5...100)	Eпов = 606 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 39%
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 10 см (5...100)	Eпов = 480 МПа	Eупр = 3000 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-п... аные смеси, обработанные	h = 22 см (5...100)	Eпов = 298 МПа	Eупр = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционированный 31,5..45	h = 15 см (8...40)	Eпов = 165 МПа	Eупр = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок крупны... содержанием пылевато-гли...	h = 20 см (10...80)	Eпов = 112 МПа	Eупр = 130 МПа
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-гли...		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. конструкция удовлетворяет критерию упругого прогиба, то в верхнем слое покрытия отображается подсказка в виде значка, в противном случае отображается значок.

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на упругий прогиб отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на упругий прогиб**, в которой приведён более подробный отчёт о расчёте.

Свойства варианта № 1 | Материалы

- **Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды**
- **Расчёт с учётом геосинтетических материалов**
- **Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды**
  - Общая цена варианта = 6 989 700,00 ₽ на всём участке проектирования ...
  - **Результаты расчёта на упругий прогиб**
    - Поверхностный модуль упругости Eпов = 600,8 МПа
    - Требуемый модуль упругости Eтр = 359,2 МПа
    - Расчётный коэффициент прочности Kрасч = 1,670
    - Требуемый коэффициент прочности Kтр = 1,200
    - Запас прочности (Kрасч-Kтр)/Kтр*100% = 39%

Рассмотрим подробно результаты расчёта конструкции на упругий прогиб.

- Поверхностный модуль упругости Eпов рассчитывается послойно, начиная с грунта, с помощью номограмм и исходя из модулей упругости слоёв, их толщин и выбранной расчётной нагрузки.

ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте по МОДН 2–2001 в случае, если толщина какого-либо слоя многослойной дорожной одежды превышает двойной диаметр нагруженной площади, поверхностный модуль упругости слоя рассчитывается по формуле (п. 3.27 МОДН 2–2001), а не с помощью номограммы.

- Требуемый модуль упругости Етр рассчитывается исходя из указанной в исходных данных расчётной нагрузки или задаётся в явном виде. В случае если в свойствах проекта в группе **Число приложений расчётной нагрузки ΣNр** установлен флаг **Учитывать минимальные табличные значения**, минимальное значение требуемого модуля упругости определяется применяемым нормативным документом.
- Расчётный коэффициент прочности Красч при расчёте на упругий прогиб определяется отношением поверхностного модуля упругости конструкции к требуемому модулю упругости.
- Требуемый коэффициент прочности Ктр при расчёте на упругий прогиб назначается в зависимости от категории дороги и типа дорожных одежд. Он регламентируется выбранной расчётной методикой и подставляется системой автоматически. Также его можно задать вручную в явном виде (см. Параметры района проектирования).
- Запас прочности слоя — значение, которое наглядно демонстрирует степень соответствия конструкции критерию прочности по допускаемому упругому прогибу.

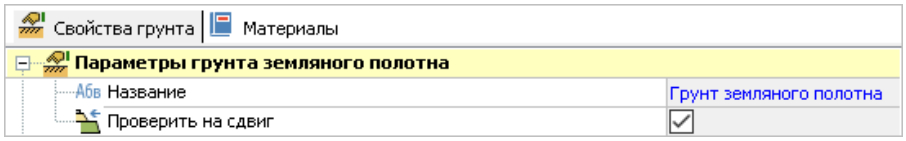
4.2. Расчёт на сдвигоустойчивость

Дорожную одежду проектируют таким образом, чтобы под действием динамической нагрузки в грунте земляного полотна и слабосвязных слоях основания за весь срок службы не накапливались недопустимые деформации.

Чтобы оценить сдвигоустойчивость конструкции дорожной одежды при динамической нагрузке, выполните следующие действия:

1. Установите критерий расчёта на сдвигоустойчивость, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Сдвигоустойчивость** или откройте вкладку **Свойства проекта** и в группе **Общие параметры проекта** в критериях расчёта установите флаг **Расчёт на сдвигоустойчивость**.

2. По умолчанию грунт земляного полотна, дополнительные и слабосвязные слои также рассчитываются на сдвигоустойчивость. Если же по каким-либо обстоятельствам этого делать не нужно, то в свойствах таких слоёв и в свойствах грунта можно отключить опцию **Проверить на сдвиг**.



3. Средневзвешенный удельный вес слоёв можно назначить двумя способами: рассчитать по формуле исходя из плотностей материалов и толщин слоёв или принять усреднённое значение 0,002 кг/см3. При расчёте по формуле убедитесь, что заданы корректные значения плотностей материалов. Для подстановки усреднённого значения снимите флаг **Рассчитать средневзвешенный удельный вес конструкции автоматически** в свойствах варианта в группе **Параметры расчёта на сдвигоустойчивость**.

4. Если в конструкции используются материалы с пользовательскими характеристиками, убедитесь, что для слабосвязных материалов, материалов дополнительных слоёв основания и грунтов в группе **Сдвигоустойчивость** заданы корректные значения угла внутреннего трения и сцепления (поля **Статический угол внутреннего трения φст**, **Угол внутреннего трения φ** и **Сцепление сп**). Также определите коэффициент работы конструкции на границе основания и грунта (поле **Коэффициент деформации Кд**). Поле **Кд (укреплённое основание)** заполняется значением, которое принимает коэффициент деформации в случае наличия укреплённого слоя основания над грунтом или дополнительным слоем

основания. Для применения этого значения в расчётах свойствах укреплённого слоя основания должна быть включена опция **Укреплённое основание**.

Сдвигоустойчивость	
Стат. угол внутреннего трения φст, °	31,00
Угол внутреннего трения φ, °	25,00
Сцепление сп, МПа	0,00200
Коэффициент деформации Кд	2,00
Кд (укреплённое основание)	2,00

Результаты расчёта конструкции по критерию сдвигоустойчивости отображаются в области формирования конструкции в столбце **Сдвиг** и в свойствах варианта в группе **Результаты расчёта на сдвигоустойчивость**.

В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Сдвиг** для монолитных материалов отображается значение модуля упругости при расчёте на сдвигоустойчивость (динамическая нагрузка). Для остальных конструктивных слоёв отображается значение модуля упругости при расчёте на упругий прогиб. В слое грунта земляного полотна отображается значение его модуля упругости.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 6 см (5...100)	Eпов = 606 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 39%	Eсдв = 1450 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 10 см (5...100)	Eпов = 480 МПа	Eупр = 3000 МПа	Eсдв = 1000 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-п... аные смеси, обработанные	h = 22 см (5...100)	Eпов = 298 МПа	Eупр = 600 МПа	Eсдв = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционированный 31,5..45	h = 15 см (8...40)	Eпов = 165 МПа	Eупр = 350 МПа	Eсдв = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок крупны... содержанием пылевато-гли...	h = 20 см (10...80)	Eпов = 112 МПа	Eупр = 130 МПа	Eсдв = 130 МПа Запас = 8%
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-гли...		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа	Eсдв = 100 МПа Запас = 70%

Помимо значения модуля упругости, для дополнительных слоёв основания и грунтов отображается значение запаса прочности, рассчитываемое по формуле:

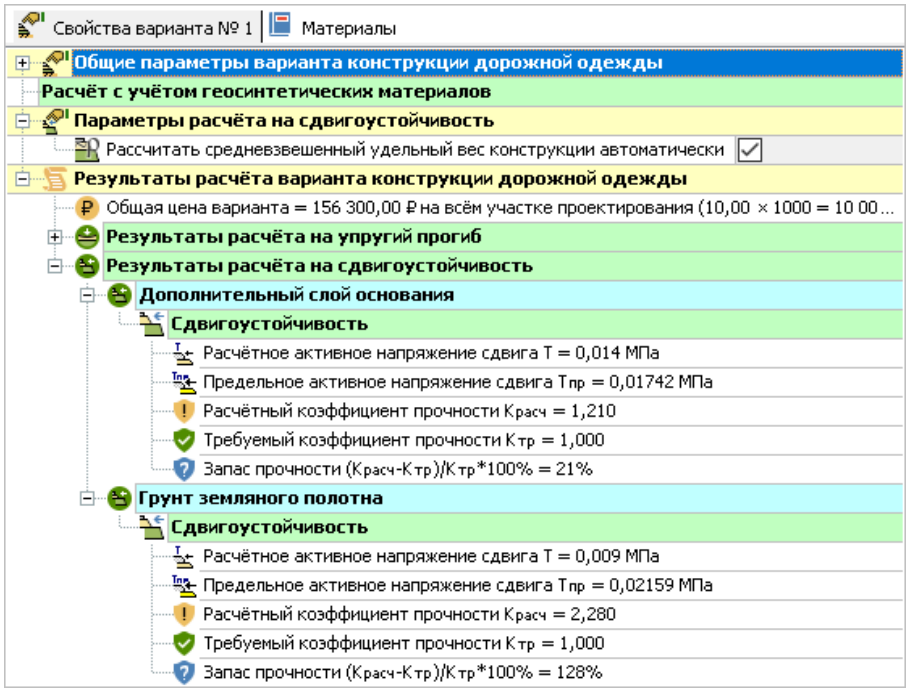
$$\frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\%,$$

где $K_{расч}$ — расчётный коэффициент прочности по сдвигоустойчивости;

$K_{тр}$ — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости.

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. конструкция удовлетворяет критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке, то в дополнительных и слабосвязных слоях основания и в слое грунта отображается подсказка в виде значка , в противном случае отображается значок .

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте на сдвигоустойчивость конструкции отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на сдвигоустойчивость**. В ней для грунта и дополнительных слоёв отдельно приведён более подробный отчёт о расчётных параметрах.



Рассмотрим подробно результаты расчёта на сдвигоустойчивость.

- Расчётное активное напряжение сдвига от действующей нагрузки T.
- Предельное активное напряжение сдвига Tпр, превышение которого вызывает нарушение прочности на сдвиг.
- Расчётный коэффициент прочности Красч при расчёте на сдвигоустойчивость.
- Требуемый коэффициент прочности Ктр при расчёте на сдвигоустойчивость.
- Запас прочности слоя.

4.3. Расчёт на сопротивление при изгибе

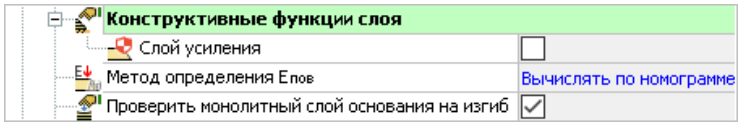
В монолитных слоях дорожной одежды (из асфальтобетона, дёгтебетона, материалов и грунтов, укреплённых комплексными и неорганическими вяжущими, и др.) возникающие при прогибе одежды напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок не должны в течение заданного срока службы приводить к образованию трещин от усталостного разрушения.

Чтобы произвести расчёт конструкции дорожной одежды по критерию сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе, выполните следующие действия:

1. Установите критерий расчёта на сопротивление при изгибе, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Сопротивление при изгибе**, или откройте вкладку **Свойства проекта** и в группе **Общие параметры проекта** в критериях расчёта установите флаг **Расчёт на сопротивление при изгибе**.

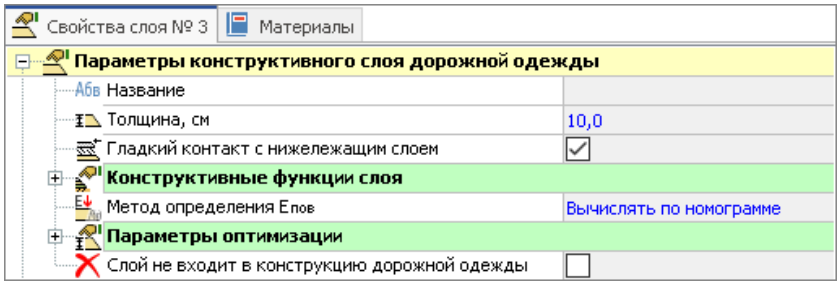
2. Если в конструкцию добавлены слои из материалов с пользовательскими характеристиками, убедитесь, что для всех монолитных материалов и асфальтобетонов в свойствах материала в группе **Изгиб** заданы корректные характеристики, а для остальных материалов задан корректный модуль упругости.

3. При расчёте по методикам ПНСТ 542–2021 и ПНСТ 265–2018 в случае, если в конструкции дорожной одежды используются монолитные материалы в основании, то для них также производится расчёт на сопротивление при изгибе. При этом необходимо, чтобы был указан тип материала **Монолитный материал в основании**. Если по каким-либо обстоятельствам проводить данный расчёт не нужно, отключите флаг **Проверить монолитный слой основания на изгиб** в свойствах этого слоя.



При выборе методик ОДН 218.046–01, МОДН 2–2001 или МКН 46–2008 расчёт на сопротивление при изгибе производится только для нижнего слоя пакета монолитных слоёв. Если в качестве основной методики выбрана методика СП РК 3.03–104–2014, ВСН 46–83 или «Инструкция по расчёту нежёстких дорожных одежд под автосамосвалы 27–180 т», то расчёт на сопротивление при изгибе возможен также в промежуточных слоях монолитного покрытия.

4. При выборе расчётной методики ПНСТ 542–2021 в свойствах нижнего слоя пакета монолитных слоёв появляется опция **Гладкий контакт с нижележащим слоем**, которая по умолчанию включена, и в расчёте на растяжение при изгибе используется номограмма Е.52. Однако в случае использования под слоями из асфальтобетона слоя из укреплённого материала и при согласовании с заказчиком допустимо принимать спаянный контакт и использовать для расчёта номограмму Е.51, отключив эту опцию.



Результаты расчёта конструкции на прочность по критерию сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе отображаются в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Изгиб** и на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**.

В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Изгиб** для монолитных материалов и асфальтобетонов отображается значение модуля упругости при расчёте на изгиб. Для остальных материалов отображается значение модуля упругости при расчёте на упругий прогиб, а для слоя грунта земляного полотна отображается значение модуля упругости материала.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 6 см (5...100)	Eпов = 606 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 39%	Eизг = 6400 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 10 см (5...100)	Eпов = 480 МПа	Eупр = 3000 МПа	Eизг = 5200 МПа Запас = 44%
Верхний слой основания	Щебёночно-п... аные смеси, обработанные	h = 22 см (5...100)	Eпов = 298 МПа	Eупр = 600 МПа	Eизг = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционирование... ный 31,5..45	h = 15 см (8...40)	Eпов = 165 МПа	Eупр = 350 МПа	Eизг = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок крупны... содержанием пылевато-гли...	h = 20 см (10...80)	Eпов = 112 МПа	Eупр = 130 МПа	Eизг = 130 МПа
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-гли...		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа	Eизг = 100 МПа

Помимо значения модуля упругости, при расчёте на изгиб для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв и монолитных слоёв в основании отображается значение запаса прочности, которое рассчитывается следующим образом:

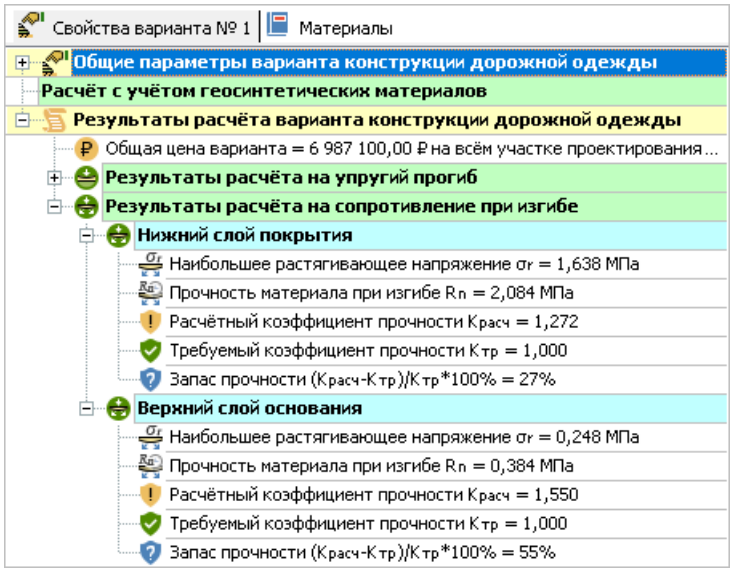
$$\frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\%,$$

где $K_{расч}$ — расчётный коэффициент прочности на сопротивление при изгибе;

$K_{тр}$ — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по критерию сопротивления при изгибе.

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. конструкция удовлетворяет критерию сопротивления при изгибе, то в нижнем слое пакета монолитных слоёв отображается подсказка в виде значка , в противном случае отображается значок

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на сопротивление при изгибе отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**. При расчёте монолитного материала в основании в данной группе находятся две вкладки с расчётными параметрами обоих слоёв, в которых приведён более подробный отчёт о расчёте.



Рассмотрим подробно результаты расчёта на сопротивление при изгибе.

- Наибольшее растягивающее напряжение σr при изгибе в монолитном слое определяется по формуле:

  $$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \times p \times k_в,$$

  где $\overline{\sigma_r}$ — растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое номограммой по приведённой двухслойной модели конструкции;

p — расчётное давление, задаваемое в свойствах проекта в поле **Давление в шине p**;

$k_в$ — коэффициент, учитывающий особенности напряжённого состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном.

- Прочность материала при изгибе Rn рассчитывается по формуле:

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - v_r \times t),$$

где R_0 — нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе в условиях расчётной низкой весенней температуры (однократно приложенная нагрузка), задаваемое для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в поле **Нормативное сопротивление весной R0** группы **Изгиб**;

k_1 — коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки;

k_2 — коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов, задаваемый для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в поле **Коэффициент снижения прочности k2** группы **Изгиб**;

v_r — коэффициент вариации прочности на растяжение, принимаемый равным 0,1;

t — коэффициент нормативного отклонения, зависящий от заданной надёжности и отображаемый в свойствах проекта в поле **Нормативное отклонение прочности t**.

ЗАМЕЧАНИЕ. Расчёт на сопротивление при изгибе для большегрузных автомобилей осуществляется согласно формулам из соответствующих нормативных документов.

При расчёте в монолитном слое основания прочность материала Rпр рассчитывается по формуле:

$$R_{пр} = K_f \times R_{укр} \times K_y,$$

где K_f — коэффициент, учитывающий воздействие попеременного замораживания-оттаивания, равный 0,95;

$R_{укр}$ — предельное напряжение на растяжение при изгибе;

$K_у$ — коэффициент усталости, учитывающий снижение прочности материалов, укреплённых неорганическими и комплексными вяжущими, за исключением асфальтобетона, при многократном приложении нагрузки.

- Расчётный коэффициент прочности Красч при расчёте на сопротивление при изгибе.
- Требуемый коэффициент прочности Ктр при расчёте на сопротивление при изгибе.
- Запас прочности слоя.

4.4. Расчёт на статическую нагрузку

Конструкцию дороги или отдельных её участков (например, остановочную полосу) следует проектировать таким образом, чтобы под действием длительной и кратковременной статических нагрузок в грунте земляного полотна или слабосвязных слоях конструкции за весь срок службы не накапливались недопустимые деформации.

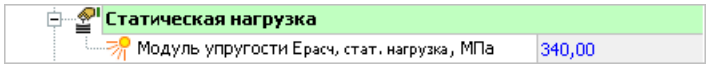
Чтобы произвести расчёт конструкции дорожной одежды на сдвигоустойчивость при статической нагрузке, выполните следующие действия:

1. Установите критерий расчёта на статическую нагрузку, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Статическая нагрузка**, или откройте вкладку **Свойства проекта** и в группе **Общие параметры проекта** в критериях расчёта установите флаг **Расчёт на статическую нагрузку**.

2. Если в конструкцию дорожной одежды входят слои из слабосвязных материалов, которые не нужно проверять на сдвигоустойчивость при статической нагрузке, то в их свойствах отключите опцию **Проверить на сдвиг**. В этом случае расчёт на сдвигоустойчивость данных слоёв не будет производиться ни для динамической, ни для статической нагрузки.

3. Средневзвешенный удельный вес слоёв можно назначить двумя способами: рассчитать по формуле исходя из плотностей материалов и толщин слоёв или принять усреднённое значение 0,002 кг/см3. При расчёте по формуле убедитесь, что заданы корректные значения плотностей материалов. Для подстановки усреднённого значения снимите флаг **Рассчитать средневзвешенный удельный вес конструкции автоматически** в свойствах варианта в группе **Параметры расчёта на сдвигоустойчивость**.

4. Для материалов с пользовательскими характеристиками проверьте значения модулей упругости (поле **Модуль упругости E**). Для монолитных материалов и асфальтобетонов проверьте значения модулей упругости в свойствах слоя в группе **Статическая нагрузка**.



5. Если в конструкцию добавлены слои из материалов с пользовательскими характеристиками, убедитесь, что для всех слабосвязных материалов, материалов дополнительных слоёв основания и грунтов определены параметры расчёта на сдвигоустойчивость.

Результаты расчёта конструкции на прочность по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке отображаются в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Стат. нагрузка** и в свойствах варианта в группе **Результаты расчёта на статическую нагрузку**.

В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Стат. нагрузка** для монолитных материалов и асфальтобетонов отображается значение модуля упругости при расчёте на сдвигоустойчивость при статической нагрузке. Для остальных конструктивных слоёв отображается значение модуля упругости при расчёте на упругий прогиб, а для слоя грунта земляного полотна — значение модуля упругости материала.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Стат. нагрузка
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 6 см (5...100)	Eпов = 606 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 39%	Eстат = 340 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки	h = 10 см (5...100)	Eпов = 480 МПа	Eупр = 3000 МПа	Eстат = 340 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-п... аные смеси, обработанные	h = 22 см (5...100)	Eпов = 298 МПа	Eупр = 600 МПа	Eстат = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракциониро... ный 31,5..45	h = 15 см (8...40)	Eпов = 165 МПа	Eупр = 350 МПа	Eстат = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок крупны... содержанием пылевато-гли...	h = 20 см (10...80)	Eпов = 112 МПа	Eупр = 130 МПа	Eстат = 130 МПа Запас = 33%
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-гли...		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа	Eстат = 100 МПа Запас = 182%

Помимо значения модуля упругости, для слоёв, содержащих слабосвязный материал или материал дополнительных слоёв основания, а также грунта земляного полотна отображается значение запаса прочности, рассчитываемое по формуле:

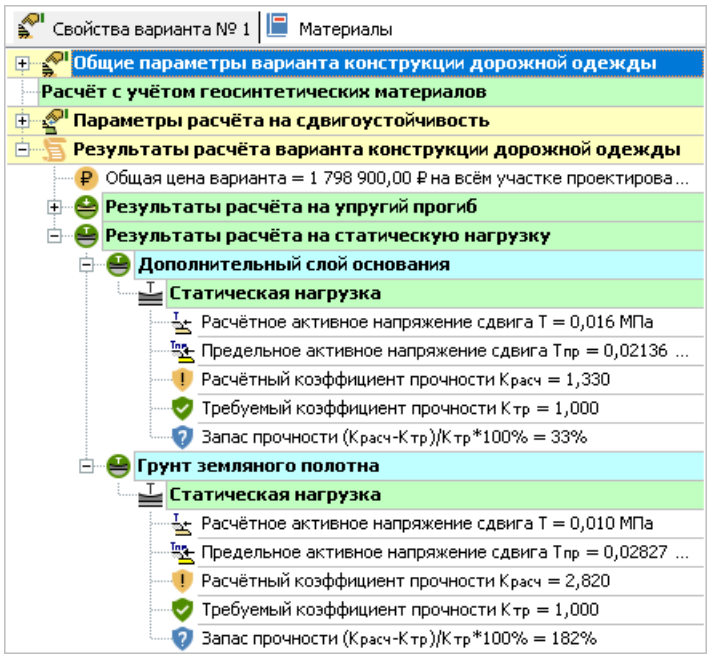
$$\frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\%,$$

где $K_{расч}$ — расчётный коэффициент прочности при расчёте на сдвигоустойчивость с учётом статической нагрузки;

$K_{тр}$ — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке.

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. конструкция удовлетворяет критерию, то в грунте земляного полотна и в каждом слабосвязном слое конструкции отображается подсказка в виде значка , в противном случае отображается значок

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на статическую нагрузку отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на статическую нагрузку**, в которой приведён более подробный отчёт о расчёте.



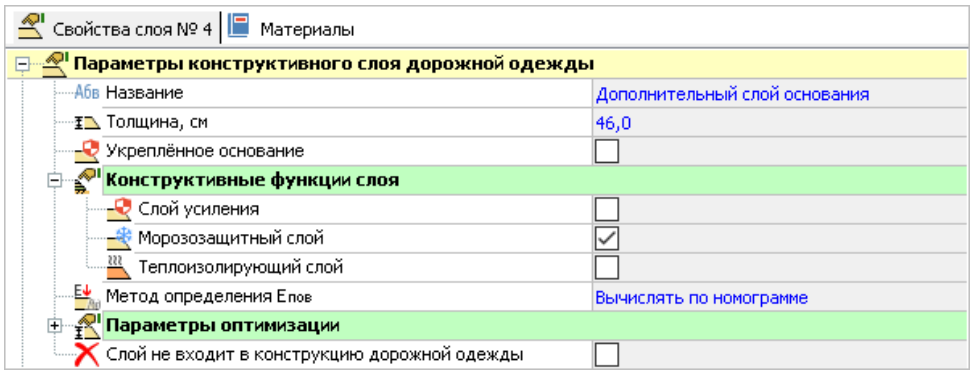
Характеристики расчёта, получаемые при расчёте конструкции по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке, аналогичны итоговым характеристикам при расчёте на динамическую нагрузку.

4.5. Расчёт морозозащитного и теплоизолирующего слоёв

Если при проверке на морозоустойчивость конструкции дорожной одежды рассчитанная ожидаемая пучинистость грунта оказалась больше допустимой, то необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного или теплоизолирующего слоя. Расчёт морозозащитного и теплоизолирующего слоёв возможен по методикам ОДН 218.046–01, МОДН 2–2001, ВСН 46–83, СП РК 3.03-104-2014, МКН 46–2008 и по «Инструкции для дорог для большегрузов 27-180 т».

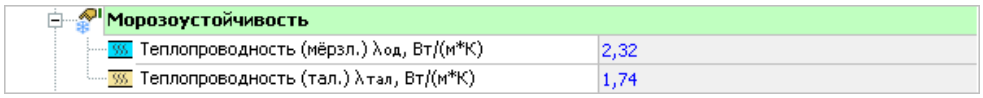
Рассмотрим расчёт конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость с обустройством морозозащитного слоя.

1. Определите морозозащитный слой, установив для него в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя** в группе параметров **Конструктивные функции слоя** опцию **Морозозащитный слой**.



ЗАМЕЧАНИЕ. Важно помнить, что функцию морозозащитного слоя может иметь только материал с типом **Доп. слой основания**.

2. Для морозозащитного слоя конструкции дорожной одежды уже определены параметры морозоустойчивости. Они вынесены в группу **Морозоустойчивость** на вкладке **Свойства слоя**. Если морозозащитный слой задан для материала с пользовательскими характеристиками, убедитесь, что данные параметры заданы верно.



- **Теплопроводность (мёрзл.) λод**. В этом поле задаётся теплопроводность материала в мёрзлом состоянии.

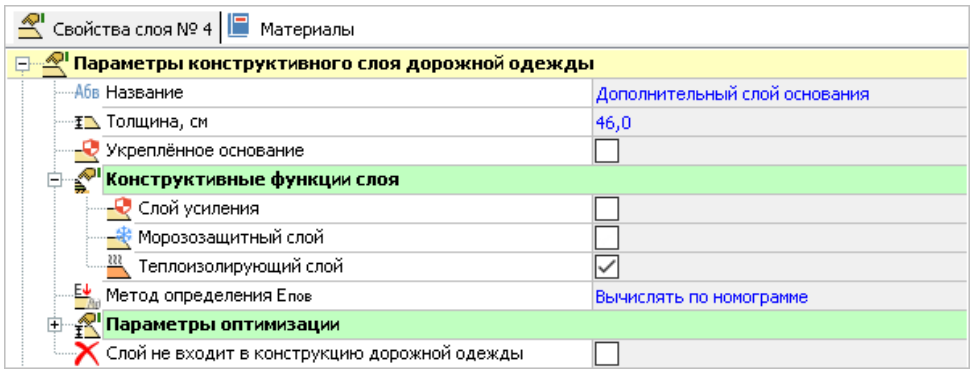
- **Теплопроводность (тал.) λтал**. В этом поле задаётся теплопроводность материала в талом состоянии.

В области формирования конструкции для **Дополнительного слоя основания** отображается величина требуемой минимальной толщины морозозащитного слоя hmin и запас толщины слоя. Если значение запаса морозозащитного слоя больше нуля, то для морозозащитного слоя в столбце **Мороз** отображается подсказка в виде значка, в противном случае отображается значок.

Для снижения глубины промерзания грунта земляного полотна под дорожной одеждой устраивают теплоизолирующие слои из пенопласта или материала со схожими физико-механическими характеристиками. Расчёт толщины теплоизолирующего слоя осуществляется так же, как и морозозащитного.

Чтобы рассчитать дорожную одежду с обустройством теплоизолирующего слоя, выполните следующее:

1. Добавьте теплоизолирующий слой в конструкцию дорожной одежды, воспользовавшись вкладкой **Материалы** в инспекторе объектов или с помощью меню **Главная > Слои > Добавить**.
2. В свойствах нового слоя в группе **Параметры конструктивного слоя дорожной одежды** в группе параметров **Конструктивные функции слоя** установите опцию **Теплоизолирующий слой**.



В области формирования конструкции для **Дополнительного слоя основания** отображается величина требуемой минимальной толщины теплоизолирующего слоя hmin и запас толщины.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Мороз
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийн...	h = 4 см	Eпов = 297 МПа	Eупр = 3200 МПа Запас = 9%	
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый марки из крупнозернистой	h = 12 см (10...16)	Eпов = 255 МПа	Eупр = 2000 МПа	
Основание	Смеси гравийные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм	h = 26 см (26...54)	Eпов = 139 МПа	Eупр = 205 МПа	
Дополнительный слой основания	Песок крупный, с содержанием пылевато-глинистой	h = 46 см (30...70)	Eпов = 93 МПа	Eупр = 130 МПа	hmin = 45 см Запас = 1 см
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая		Eпов = 49 МПа	Eупр = 49 МПа	

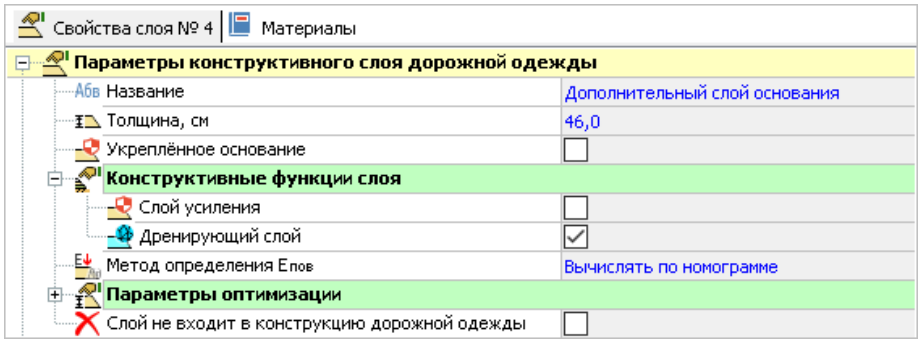
4.6. Расчёт дренирующего слоя

В дорожно-климатических зонах с сильным увлажнением рабочего слоя земляного полотна при проектировании дорожной одежды рассчитывают дренажную конструкцию. При расчёте дренажной конструкции основной задачей является определение требуемой толщины дренирующего слоя.

Рассмотрим поэтапно расчёт дренирующего слоя.

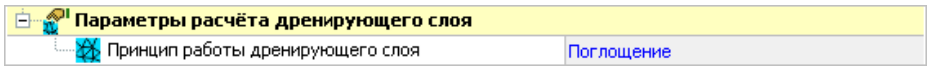
1. Установите критерий расчёта дренирующего слоя, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Дренирующий слой** или установив опцию **Расчёт дренирующего слоя в свойствах проекта**.

   После этого в свойствах слоя, выполняющего функцию дренажа, необходимо установить флаг **Дренирующий слой** в группе **Конструктивные функции слоя**.



ЗАМЕЧАНИЕ. Важно помнить, что функцию дренирующего слоя может иметь только материал с типом **Доп. слой основания**.

   В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** появится дополнительная группа параметров **Параметры расчёта дренирующего слоя**.



2. Если в качестве грунта земляного полотна используется материал с пользовательскими характеристиками, на вкладке **Свойства грунта** в группе **Расчёт на дренаж** в поле **Q (приток воды в основание**

за расчётный период) задайте расчётное количество воды, накапливающейся в дренирующем слое за весь расчётный период.

Расчёт на дренаж	
Q (приток воды в основание за расчётный период), л/м²	60,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м²	3,50
Кп (коэффициент "пик")	1,60
Кг (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
пп (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

3. Для дренирующего слоя в свойствах этого слоя в группе **Расчёт на дренаж** задайте способ определения толщины дренирующего слоя. При выборе способа **Назначить по типу песка** задайте в появившемся поле **Тип песка**. Система IndorPavement позволяет автоматически рассчитать параметры hнас и hзап по номограммам, представленным в расчётных методиках, исходя из свойств проекта и материала. При выборе способа **Задать в явном виде** введите необходимые параметры вручную.

   Если материал слоя, назначенного дренирующим, является пользовательским, то установите значения коэффициента фильтрации Кф и пористости.

Расчёт на дренаж	
Определение толщины дренирующего слоя	Назначить по типу песка
Тип песка	Песок крупнозернистый
hнас (толщина слоя, насыщенного водой), м	0,34
hзап (дополнительная толщина слоя), м	0,10
Кф (коэффициент фильтрации), м/сут	2,20
Пористость	0,32

4. В группе параметров **Параметры дороги** задайте параметры для расчёта дренажного слоя. Они влияют на вычисление длины пути фильтрации.

Параметры дороги	
Длина участка проектирования, м	1 000
Ширина участка проектирования, м	10,00
Ширина проезжей части, м	7,50
Число полос движения (в обе стороны)	2
Номер расчётной полосы от обочины	1
Расчётная скорость движения, км/ч	80
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой ко	4 (135 дней) Карта...
Тип земляного полотна	Насыпь
Тип местности по рельефу	Равнинный
Разделительная полоса	☐
Двускатный профиль	☑
Заложение откоса 1:N	1,50
Ширина обочины, м	2,50
Продольный уклон выше перелома профиля, ‰	40,00
Продольный уклон ниже перелома профиля, ‰	20,00

ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте дренирующего слоя одновременно с расчётом колейности блокируется параметр **Продольный уклон ниже перелома профиля**.

5. Перейдите к параметрам варианта и в группе **Параметры расчёта дренирующего слоя** в поле **Способ определения длины пути фильтрации** выберите способ вычисления. При выборе пункта **Автоматический расчёт** длина пути фильтрации вычисляется автоматически в соответствии с параметрами проекта и отображается в поле **Длина пути фильтрации L**. При выборе пункта **Задать вручную** длину пути фильтрации можно задать самостоятельно в поле **Длина пути фильтрации L**.

Свойства варианта № 1	Материалы
Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды	
Расчёт с учётом геосинтетических материалов	
Параметры расчёта дренирующего слоя	
Способ определения длины пути фильтрации	Автоматический расчёт
Длина пути фильтрации L, м	3,75

6. В зависимости от конкретных условий дренажная конструкция может быть рассчитана на один из четырёх вариантов работы: на осушение, на осушение с периодом запаздывания отвода воды, на поглощение или в виде конструкции с прикромочным дренажем. Выберите вариант работы дренирующего слоя, открыв **Свойства проекта**, в группе **Параметры расчёта дренирующего слоя** в поле **Принцип работы дренирующего слоя** и задайте соответствующие принципу работы параметры. Рассмотрим их более подробно.

   При выборе варианта работы дренирующего слоя **Осушение** доступны следующие параметры:

   - **Поперечный уклон низа дренирующего слоя**;
   - коэффициент **Кр (коэффициент снижения притока воды)**, регулирующий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима;
   - **Время работы дренажа в расчётный период года**.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Осушение
Поперечный уклон низа дренирующего слоя, ‰	20,00
Кр (коэффициент снижения притока воды)	1,00
Время работы дренажа в расчётный период года	10 *

В случае работы дренирующего слоя по принципу **Осушение с запаздыванием отвода воды** задайте следующее:

- **Поперечный уклон низа дренирующего слоя**;
- коэффициент **Кр (коэффициент снижения притока воды)**, регулирующий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима;
- среднюю продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств в поле **Тзап (запаздывание работы водоотвода)**.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Осушение с запаздыванием отвода воды
Поперечный уклон низа дренирующего слоя, ‰	20,00
Кр (коэффициент снижения притока воды)	1,00
Тзап (запаздывание работы водоотвода), сут.	4

Для определения расчётного значения воды, поступающей за сутки, задайте на вкладке **Свойства грунта** в группе **Расчёт на дренаж** усреднённое значение притока воды в дренирующий слой, коэффициент «пик» и коэффициент гидрологического запаса.

Расчёт на дренаж	
Q (приток воды в основание за расчётный период), л/м²	60,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м²	3,50
Кп (коэффициент "пик")	1,60
Кг (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
пп (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

Для варианта работы дренирующего слоя **Поглощение** задавать дополнительные параметры не нужно.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Поглощение

При выборе принципа работы **Конструкция с прикромочным дренажем** установите параметры **Поперечный уклон низа дренирующего слоя** и **Кр (коэффициент снижения притока воды)**.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Конструкция с прикромочным дренажем
Поперечный уклон низа дренирующего слоя, ‰	20,00
Кр (коэффициент снижения притока воды)	1,00

Результаты расчёта дренирующего слоя отображаются в области формирования конструкции в столбце **Дренаж** и на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на дренаж**.

Конструкция		Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Дренаж
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1 (активный)						
Верхний слой покрытия		Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из	h = 4 см	Eпов = 297 МПа	Eупр = 3200 МПа Запас = 9%	
Нижний слой покрытия		Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 12 см (10...16)	Eпов = 255 МПа	Eупр = 2000 МПа	
Основание		Смеси гравийные с непрерывной гранулометрией С...	h = 26 см (26...54)	Eпов = 139 МПа	Eупр = 205 МПа	
Дополнительный слой основания		Песок крупный, с содержанием пылевато-глинис...	h = 46 см (30...70)	Eпов = 93 МПа	Eупр = 130 МПа	hmin = 31 см Запас = 15 см
Грунт земляного полотна		Супесь лёгкая		Eпов = 49 МПа	Eупр = 49 МПа	

Минимально допустимая толщина дренирующего слоя hmin для конструкции с прикромочным дренажем рассчитывается с помощью номограмм.

Помимо минимально допустимой толщины дренирующего слоя, в столбце **Дренаж** отображается величина запаса дренирующего слоя, рассчитываемая по формуле:

$$h_{зап} = h_{тек} - h_{min},$$

где $h_{тек}$ — толщина текущего дренирующего слоя конструкции, задаваемая в свойствах слоя в поле **Толщина**;

h_{min} — минимально допустимая толщина дренажного слоя, рассчитываемая по формуле.

Если значение запаса дренирующего слоя больше нуля, то для него в столбце **Дренаж** отображается подсказка в виде значка, в противном случае отображается значок.

В свойствах варианта при расчёте дренирующего слоя конструкции дорожной одежды отображается дополнительная группа **Результаты расчёта дренирующего слоя**, в которой приводится информация о толщине дренирующего слоя, о том, является ли данная толщина слоя достаточной, и минимально допустимая толщина.

Свойства варианта № 1 | Материалы

- **Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды**
- **Расчёт с учётом геосинтетических материалов**
- **Параметры расчёта дренирующего слоя**
- **Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды**
  - Общая цена варианта = 2 143 700,00 ₽ на всём участке проектирования (9,70 × 2500 = 24 25...
  - **Результаты расчёта на упругий прогиб**
  - **Результаты расчёта дренирующего слоя**
    - Дренирующий слой имеет достаточную толщину 46 см (требуется ≥ 31 см)

Если дренирующий слой имеет недостаточную толщину, то информация выделяется красным цветом.

4.7. Прогнозирование образования колей

Под совместным воздействием движения тяжёлых и многоосных автомобилей и природно-климатических факторов на покрытиях дорожных одежд могут накапливаться дефекты и деформации, одним из видов которых является колея.

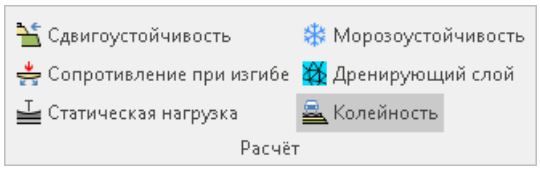
Система IndorPavement позволяет прогнозировать возможное развитие процесса колееобразования на перспективу с учётом интенсивности движения, состава потока, погодно-климатических факторов и пр. Расчёт производится в соответствии с «Рекомендациями по выявлению и устранению колей на нежёстких дорожных одеждах».

Методика расчёта и прогнозирования колееобразования предусматривает:

- сбор и обработку исходных данных;
- расчёт и прогнозирование накопления остаточных деформаций в земляном полотне;
- расчёт и прогнозирование накопления остаточных деформаций в слоях основания, не содержащих органическое вяжущее;
- расчёт и прогнозирование накопления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона и других битумосодержащих слоях;
- общий расчёт глубины колеи на основе данных о прогнозировании остаточных деформаций в конструктивных слоях;
- проверку на предельно допустимую глубину колеи.

Чтобы произвести расчёт колееобразования, выполните следующее:

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Колейность** или установив опцию **Расчёт колейности** в свойствах проекта.



2. Задайте интенсивность движения по количеству приведённых автомобилей на первый год службы.

Приведённая перспективная интенсивность Np	Расчёт по числу приведённых автомобилей
Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
Приведённая интенсивность, авт./сут	1 818
Суммарная интенсивность в первый год, авт./сут	2 323
Способ определения коэфициентов приведения к	В зависимости от осевой нагрузки Марки...
Интенсивность по видам автомобилей, авт./сут, Sсум.	
В Легковые автомобили, небольшие грузовики	500 × 0,0013
C1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 54	250 × 1,7600
C2 Трёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541	320 × 2,4300
C3 Четырёхосные грузовые автомобили (ПНСТ	60 × 2,7200
C4 Четырёхосные автопоезда (двухосные гру	150 × 3,6700
C5 Пятиосные автопоезда (трёхосные грузовы	55 × 3,9200
C6 Трёхосные седельные автопоезда (двухосн	30 × 3,1400
C7 Четырёхосные седельные автопоезда (дву	25 × 3,2500

3. В свойствах проекта задайте следующие параметры:

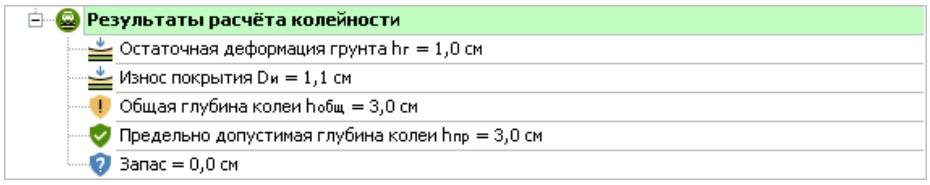
   - **Среднегодовая положительная температура воздуха Tср** задаётся в группе **Параметры района проектирования**;
   - **Расчётная скорость движения** и **Продольный уклон** указываются в группе **Параметры дороги**.

Результаты расчёта конструкции на колееобразование отображаются в области формирования конструкции в столбце **Колейность** и в свойствах варианта в группе **Результаты расчёта колейности**.

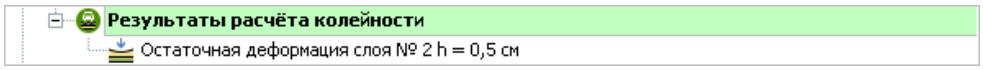
В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Колейность** для каждого конструктивного слоя и грунта земляного полотна отображаются прогнозируемые значения остаточной деформации hос.д. за установленный срок службы. Общая глубина колеи hобщ. и запас относительно допустимого значения отображаются в верхнем слое покрытия. Если значение общей глубины колеи меньше предельно допустимой глубины колеи, то для него в столбце **Колейность** отображается подсказка в виде значка, в противном случае отображается значок .

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Колейность
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка	h = 4 см	Eов = 297 МПа	Eупр = 3200 МПа Запас = 3%	hобщ. = 2,1 см Запас = 0,9 см
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I марки из крупнозернистой щебёночной	h = 12 см (10...16)	Eов = 255 МПа	Eупр = 2000 МПа	hост.д. = 0,4 см
Основание	Смеси гравийные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований)	h = 26 см (26...54)	Eов = 139 МПа	Eупр = 205 МПа	hост.д. = 0,7 см
Дополнительный слой осно	Песок крупный, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	h = 46 см (30...70)	Eов = 93 МПа	Eупр = 130 МПа	hост.д. = 0,4 см
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая		Eов = 49 МПа	Eупр = 49 МПа	hост.д. = 0,9 см

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на колееобразование отображается дополнительная группа **Результаты расчёта колейности**. В ней также отображаются значения остаточной деформации грунта земляного полотна hr, износ покрытия Dи, общая глубина колеи hобщ, предельно допустимая глубина колеи hпр и запас.



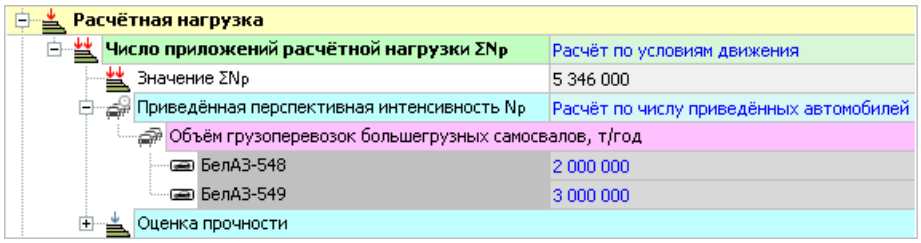
Для каждого конструктивного слоя, для которого рассчитываются остаточные деформации, в свойствах этого слоя в группе **Результаты расчёта колейности** отображается расчётное значение остаточной деформации в слое.



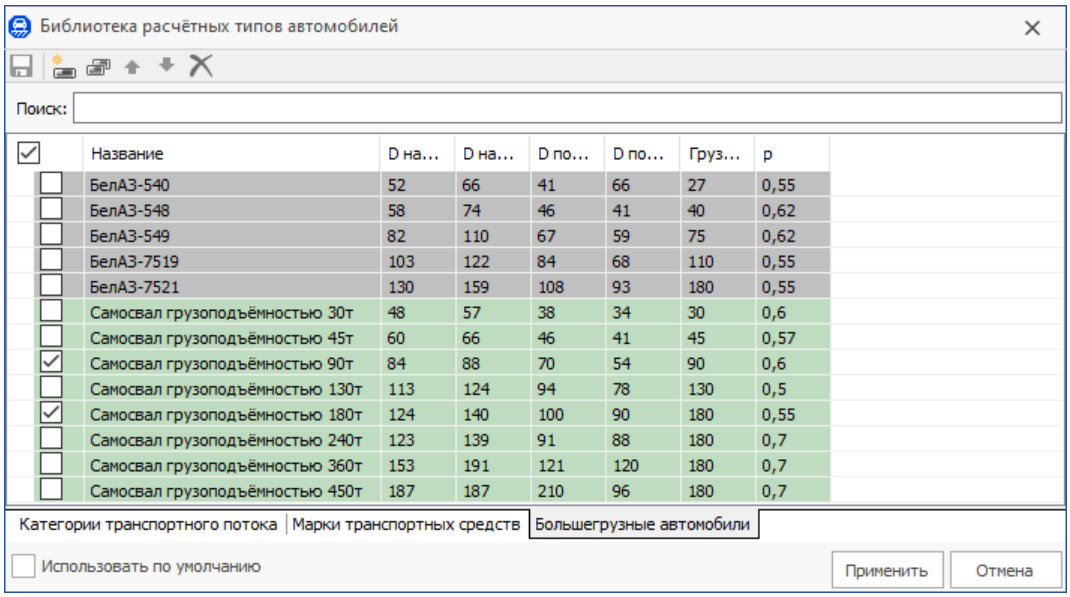
4.8. Особенности расчёта конструкций под большегрузные автомобили

Для расчёта нежёстких дорожных одежд под большегрузные автомобили системой IndorPavement поддерживаются два нормативных документа: «Инструкция по расчёту дорожных одежд нежёсткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузоподъёмностью 27–180 т» и СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт».

Расчёт при выборе этих методик осуществляется так же, как и для остальных базовых методик, по всем критериям прочности. Для большегрузов в свойствах проекта не нужно выбирать группу расчётной нагрузки, так как для этих методик характерно приведение к определённому расчётному автомобилю.



Однако для задания транспортного потока нужно применять категории, приведённые на вкладке **Большегрузные автомобили** в библиотеке расчётных типов автомобилей.



Расчёт морозоустойчивости и дренирующего слоя при выборе методик для большегрузов производится согласно ОДН 218.046–01.

Результаты расчёта по критериям упругого прогиба, сдвигоустойчивости и изгиба представлены в области формирования конструкции, свойствах варианта

конструкции и в отчётной документации аналогично результатам расчётов по базовым методикам.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Конструктивный слой № 1	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки, из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка	h = 5 см (3...15)	$E_{пов}$ = 282 МПа	$E_{упр}$ = 2800 МПа Запас = 2%	$E_{сдв}$ = 1600 МПа	$E_{изг}$ = 4000 МПа
Конструктивный слой № 2	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из мелкозернистой щебёночной	h = 5 см (3...15)	$E_{пов}$ = 260 МПа	$E_{упр}$ = 1700 МПа	$E_{сдв}$ = 1050 МПа	$E_{изг}$ = 2400 МПа Запас = 319%
Конструктивный слой № 3	Щебень чёрный для оснований, уложенный по способу заклинки	h = 15 см (8...40)	$E_{пов}$ = 249 МПа	$E_{упр}$ = 900 МПа	$E_{сдв}$ = 900 МПа	$E_{изг}$ = 900 МПа
Конструктивный слой № 4	Щебень фракционированный 31,5..45 (45..63) мм легкоуплотняемый с заклинкой	h = 45 см (8...45)	$E_{пов}$ = 202 МПа	$E_{упр}$ = 400 МПа	$E_{сдв}$ = 400 МПа	$E_{изг}$ = 400 МПа
Грунт земляного полотна	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%		$E_{пов}$ = 120 МПа	$E_{упр}$ = 120 МПа	$E_{сдв}$ = 120 МПа Запас = 24%	$E_{изг}$ = 120 МПа

4.9. Расчёт для дорог с низкой интенсивностью движения

Формирование конструкции и расчёт дорожной одежды для дорог с низкой интенсивностью по ПНСТ 371–2019 имеет ряд следующих особенностей.

1. В результате расчёта конструкции должно быть выполнено следующее неравенство:

   $E_{д.общ} \geq E_{д.тр} \times K_{пр}$,

   где $E_{д.общ}$ — общий модуль деформации, МПа;

   $E_{д.тр}$ — требуемый модуль деформации, МПа;

   $K_{пр}$ — требуемый коэффициент прочности дорожной одежды.

2. Конструкция может быть сформирована только из материалов групп **Щебёночные**, **гравийные**, **песчаные смеси и грунты > Щебёночно-гравийно-песчаные смеси и грунты по ПНСТ 371–2019** и Дополнительные материалы основания, так как только для этих материалов в библиотеке представлены модули деформации. Подробнее об этом в пункте Редактирование параметров конструктивного слоя.

3. Расчёт возможен только для переходного типа дорожных одежд IV категории дорог и переходного и низшего типов V категории дорог.

4. В качестве группы расчётной нагрузки может быть выбрана А10 или А6.

5. Критерии сдвигоустойчивости, изгиба и статической нагрузки заблокированы, расчёт по ним не производится.

6. При включении критерия **Колейность** в свойствах проекта появляется дополнительная группа **Параметры расчёта колееобразования**. Представленные в ней характеристики определяются автоматически в зависимости от материала покрытия, климатических факторов и параметров нагрузки, однако их можно редактировать и вручную согласно диапазону представленных в ПНСТ 371–2019 значений. Также можно изменить год

расчёта, проанализировать изменения и разработать соответствующий план мероприятий по устранению колеи.

Параметры расчёта колееобразования	
Коэффициент a, зависящий от погодоустойчивости покрытия и климатических условий	5,50
Коэффициент b, зависящий от качества материала покрытия, степени его увлажнения, состава и скорости движения	20,00
Коэффициент kш, учитывающий эксплуатацию дорог автомобилями с шинами с металлическими шипами	2,00
Коэффициент Kи, учитывающий изменение в составе транспортного потока	1,05
Год расчёта колейности	10

ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте колейности по методике ПНСТ 371–2019 не производится сравнение рассчитанного значения с требуемыми параметрами, так как подразумевается, что в любом случае в течение срока службы будут необходимы мероприятия по устранению колеи.

7. В случае недостаточной морозоустойчивости конструкции возможен расчёт морозозащитного слоя согласно ПНСТ 371–2019. Обратите внимание на значение параметра в свойствах грунта **εth, % (относительная деформация морозного пучения)** — в программе задано минимальное значение из диапазона возможных для заданного типа грунта.

4.10. Усиление конструкции дорожной одежды

Прочность дорожных конструкций является одним из важнейших транспортно-эксплуатационных показателей, влияющих на технический уровень и эксплуатационное состояние дороги. Дорожная одежда считается прочной, если на рассматриваемый момент времени обеспечивается сплошность и ровность дорожного покрытия. Условия прочности дорожной конструкции соблюдаются, если:

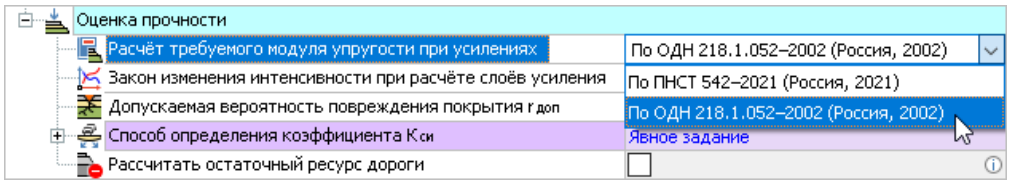
- фактический модуль упругости дорожной конструкции не ниже модуля, требуемого по условиям дорожного движения;
- при изгибе в связных слоях дорожной одежды не возникают растягивающие напряжения, превышающие допустимые значения;
- в несвязных и слабосвязных слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна возникающие напряжения не превышают значений, при которых обеспечивается условие местного предельного равновесия по сдвигу;
- общая толщина дорожной одежды достаточна для обеспечения её морозоустойчивости.

В процессе эксплуатации дорожной конструкции под воздействием различных факторов происходит постепенное снижение её прочности, связанное с внутренними необратимыми изменениями в каждом из конструктивных элементов. С целью оценки прочности конструкции проводят полевые испытания (линейные и контрольные), по результатам которых определяют фактические показатели прочности дорожной одежды. Если фактические величины оказываются меньше требуемых (расчётных), то для таких участков дорог рассчитываются толщины слоёв усиления. Слои усиления могут быть спроектированы в качестве выравнивающих при фактических показателях прочности, соответствующих требуемым показателям.

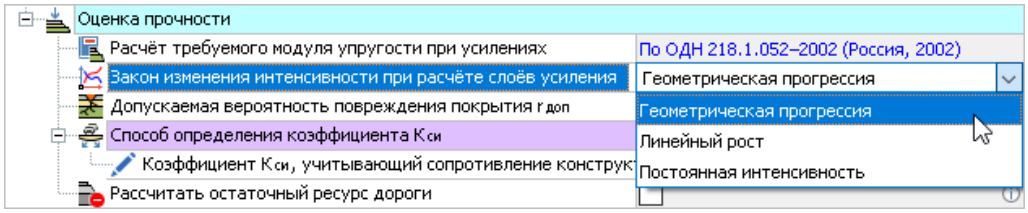
Рассмотрим ситуацию, когда измеренный модуль упругости существующей конструкции дорожной одежды меньше требуемого значения и необходимо назначить слои усиления.

1. Рассчитайте число приложений расчётной нагрузки (см. Расчётные параметры нагрузки). Обратите внимание, что для расчёта усиления конструкции по ОДН 218.1.052–2002 обязательно должна быть задана интенсивность движения.
2. При расчёте конструкции, содержащей слои усиления, следует задать ряд параметров в свойствах проекта в группе **Оценка прочности**.

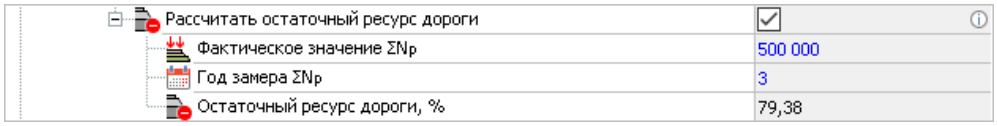
- В группе параметров **Оценка прочности** выберите расчётную методику в поле **Расчёт требуемого модуля упругости при усилениях**. Автоматически расчёт производится по методике ОДН 218.1.052–2002, также расчёт может выполняться в соответствии с базовой методикой, выбранной при создании проекта.



- При расчёте по методике ОДН 218.1.052–2002 также нужно заполнить ряд дополнительных параметров: **Закон изменения интенсивности при расчёте слоёв усиления**, **Допустимую вероятность повреждения покрытия rдоп** и **Коэффициент КСИ, учитывающий сопротивление конструктивных слоёв сдвигу и изгибу**. Коэффициент КСИ можно указать в явном виде или определить автоматически. Для этого в поле **Способ определения коэффициента КСИ** нужно выбрать соответствующую опцию.



- В группе **Оценка прочности** имеется возможность расчёта остаточного ресурса на указанный год эксплуатации. Для этого установите опцию **Рассчитать остаточный ресурс дороги** и задайте значения в полях **Фактическое значение ΣNp** и **Год замера ΣNp**. В поле **Остаточный ресурс дороги** отобразится результат расчёта. Данная опция не является параметром для расчёта слоёв усиления, с её помощью можно лишь оценивать ресурс дороги на текущий момент.



3. В области формирования конструкции задайте существующие конструктивные слои (см. Добавление конструктивного слоя), а затем добавьте слои усиления и задайте их толщины. Обратите внимание, что слои усиления не должны уступать по прочностным характеристикам существующему покрытию.

4. Для нижнего слоя усиления включите в свойствах слоя в группе **Конструктивные функции слоя** опцию **Слой усиления** — этот слой и все вышележащие над ним будут назначены слоями усиления и выделятся в области формирования конструкции оранжевым цветом.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Проект конструкции дорожной одежды				
Вариант № 1 (активный)				
Верхний слой покрытия (активный)	ЩМА-15 щебень из изверженных гор... пород М1200-М1400, марка битума 90/130	h = 7 см (4...20)	Eпов = 300...	Eупр = 3300 МПа Запас = 72%
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из песчаной смеси типа Г и Д, марка битума БНД/БН-60/90	h = 10 см (3...15)	Eпов = 215...	Eупр = 3200 МПа
Остаточное покрытие	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из песчаной смеси марка битума БНД-40/60	h = 5 см (3...15)	Eпов = 120...	Eупр = 2800 МПа
Основание	Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм трудноуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким	h = 20 см (8...40)		Eупр = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок мелкий, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	h = 20 см (10...80)		Eупр = 100 МПа
Грунт земляного полотна	Суглинок тяжёлый		Eпов = 36 М...	Eупр = 36 МПа

Слои усиления

Существующая конструкция

5. Назначьте верхнему слою существующей конструкции фактический модуль упругости, полученный в результате обследования. Для этого в свойствах слоя выберите в поле **Метод определения Eпов** пункт **Назначить фактический модуль упругости**, а затем в появившемся поле **Фактический модуль упругости** задайте его значение.

Свойства слоя № 3	Материалы
Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Верхний слой основания
Толщина, см	16,0
Укреплённое основание	☐
Конструктивные функции слоя	
Слой усиления	☐
Метод определения Eпов	Назначить фактический модуль упругости
Фактический модуль упругости, МПа	200,00
Параметры оптимизации	
Слой не входит в конструкцию дорожной одежды	☐

6. Возможна ситуация, когда фактический модуль упругости существующей конструкции известен, а конструктивные слои — нет. В этом случае фактический модуль упругости можно задать в свойствах грунта земляного полотна (см. Редактирование параметров грунта земляного полотна), который будет имитировать существующую конструкцию дорожной одежды. После

этого можно добавить новые конструктивные слои и назначить их слоями усиления.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Проект конструкции дорожной одежды				
Вариант № 1				
Верхний слой усиления	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки ... щебёночной (гравийной)	h = 7 см (3...15)	Eпов = 476 МПа	Eупр = 2400 МПа Запас = 9%
Нижний слой усиления	Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой	h = 10 см (6...15)	Eпов = 372 МПа	Eупр = 2000 МПа
Существующая дорожная одежда	Существующая дорожная одежда		Eпов = 240 МПа	Eупр = 240 МПа

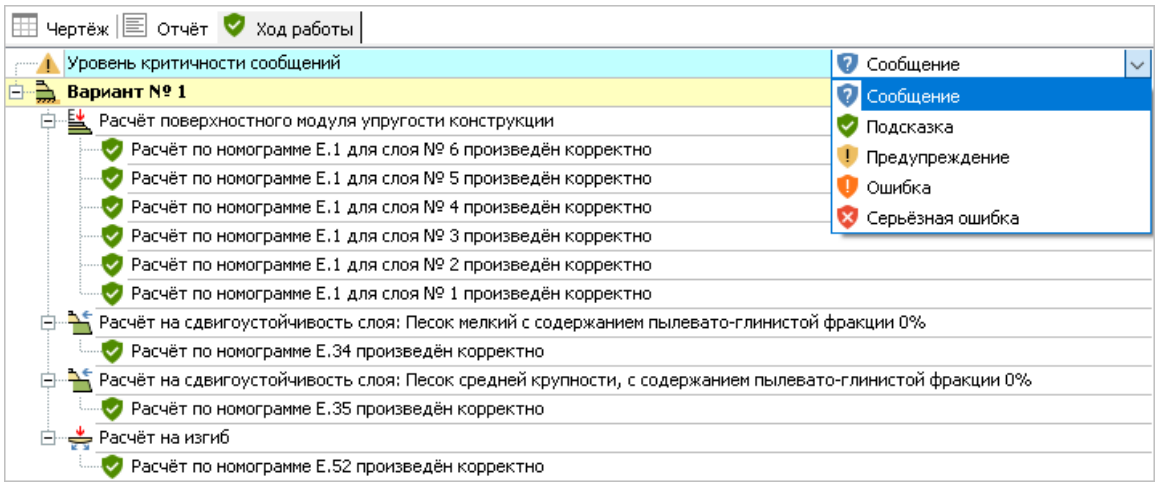
Результаты вычисления модулей упругости слоёв усиления отображаются в области формирования конструкции в столбце **Модуль**. В столбце **Прогиб** отображается краткая информация о расчёте по критерию упругого прогиба. Она содержит значения модуля упругости каждого слоя и запаса прочности. Если значение запаса прочности по критерию упругого прогиба меньше нуля, то для него в столбце **Прогиб** отображается подсказка в виде значка, в противном случае отображается значок. В столбце **Изгиб** отображается информация о расчёте по критерию сопротивления монолитных слоёв усиления усталостному разрушению от растяжения при изгибе. Информация содержит значения модуля упругости каждого слоя и запаса прочности. Также отображается подсказка в виде специального значка: если запас прочности по критерию сопротивления при изгибе данной конструкции больше нуля, значок окрашен зелёным цветом, в противном случае он окрашен в красный. Расчёт по условию сдвигоустойчивости выполняется только для слабосвязных слоёв усиления, если таковые есть в слоях усиления конструкции.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Верхний слой покрытия	ЩМА-15 щебень из изверженных горных пород М1200-М1400,	h = 8 см (4...20)	Eпов = 348 МПа	Eупр = 3300 МПа Запас = 93%	Eсдв = 2000 МПа	Eизг = 3400 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный II мар... из песчаной смеси типа Г	h = 10 см (3...15)	Eпов = 227 МПа	Eупр = 3200 МПа	Eсдв = 1100 МПа	Eизг = 4500 МПа Запас = 130%
Остаточное покрытие	Асфальтобетон горячей укладки пористый I ма... из песчаной смеси марка	h = 5 см (3...15)	Eпов = 120 МПа	Eупр = 2800 МПа	Eсдв = 900 МПа	Eизг = 3600 МПа
Основание	Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм	h = 20 см (8...40)		Eупр = 350 МПа	Eсдв = 350 МПа	Eизг = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок мелкий, с содержанием пылевато-глинистой	h = 20 см (10...80)		Eупр = 100 МПа	Eсдв = 100 МПа	Eизг = 100 МПа
Грунт земляного полотна	Суглинок тяжёлый		Eпов = 33 МПа	Eупр = 33 МПа	Eсдв = 33 МПа	Eизг = 33 МПа

4.11. Ход работы

Вкладка **Ход работы** расположена в области просмотра отчётной документации.

На этой вкладке отображается информация о предупреждениях и ошибках, которые возникают в ходе расчётов. Видимость сообщений можно настроить исходя из их критичности. Для этого в первой строке **Уровень критичности сообщений** из выпадающего списка выберите **Сообщение**, **Подсказка**, **Предупреждение**, **Ошибка** или **Серьёзная ошибка**. Каждый уровень критичности имеет соответствующий значок, что позволяет определить тип сообщения.

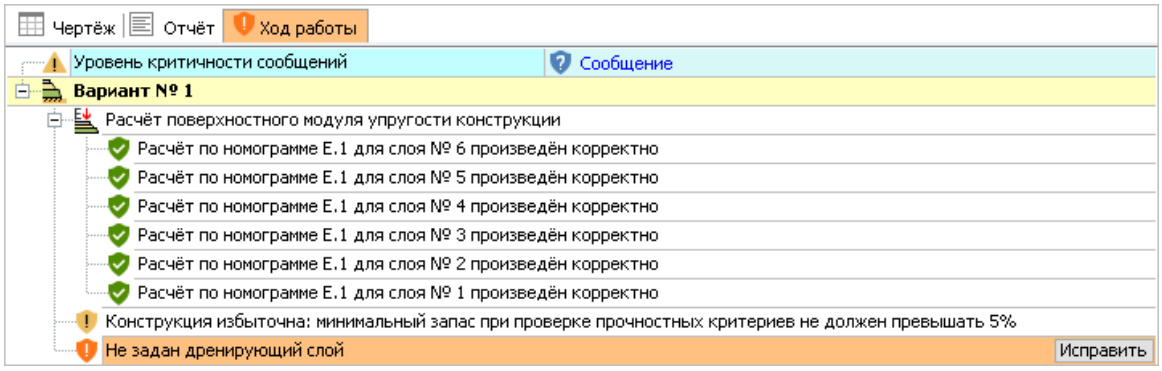


Все сообщения, которые отображаются на вкладке **Ход работы**, сгруппированы по вариантам конструкции и критериям расчёта. Также вне какого-либо варианта или критерия могут выводиться предупреждения, относящиеся ко всему проекту.

Тип сообщения **Подсказка** имеют сообщения о корректном расчёте. Сообщения, имеющие уровень критичности **Предупреждение**, информируют о неточностях в расчёте или некритичных ошибках ввиду недостатка информации. Также тип **Предупреждение** могут иметь уведомления о необходимости проведения дополнительной проверки или улучшения конструкции. Однако, несмотря на наличие сообщений такого типа, расчёт всё равно в таком случае может быть произведён. Например, система может таким образом уведомлять, что значения, используемые для какого-либо расчёта, вышли за границы представленных в методике шкал номограмм.

Уведомления, имеющие уровень критичности **Ошибка** и **Серьёзная ошибка**, информируют о том, что расчёт не может быть осуществлён при заданных условиях. В отличие от предупреждений они требуют исправления, и программа автоматически предлагает исправить ошибку нажатием кнопки **Исправить** в строке сообщения.

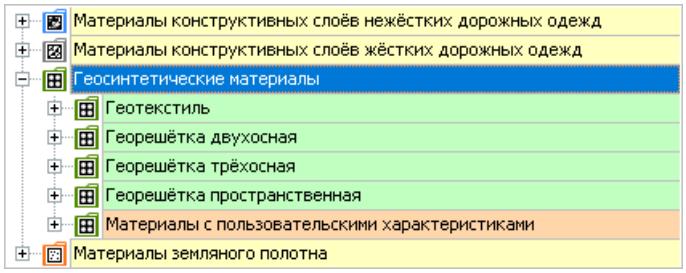
Например, такая ситуация возникает, если в проекте задан расчёт на дренаж, но при этом в конструкции не назначен дренирующий слой.



5. Расчёт с учётом геосинтетических материалов

В мировой практике современного строительства активно используются геосинтетические материалы. Они могут выполнять функции армирования, фильтрации, разделения и дренирования и обладают такими свойствами, как высокая прочность, химическая стойкость, долговечность, высокая температуростойкость. Для прогнозирования поведения геосинтетических материалов в конструкции дорожной одежды используются специализированные методики.

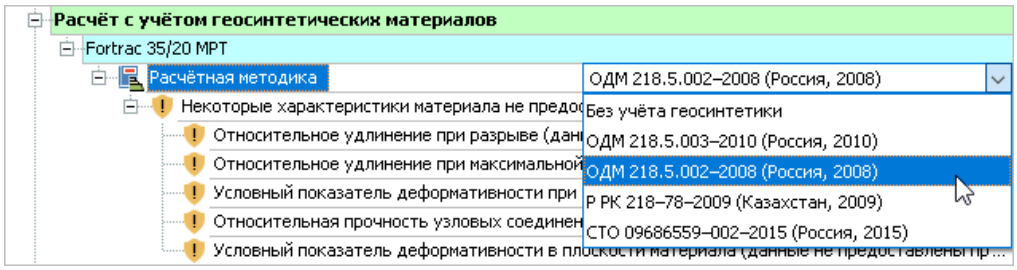
В библиотеке материалов IndorPavement геосинтетика разделена на группы соответственно конструктивному исполнению материалов.



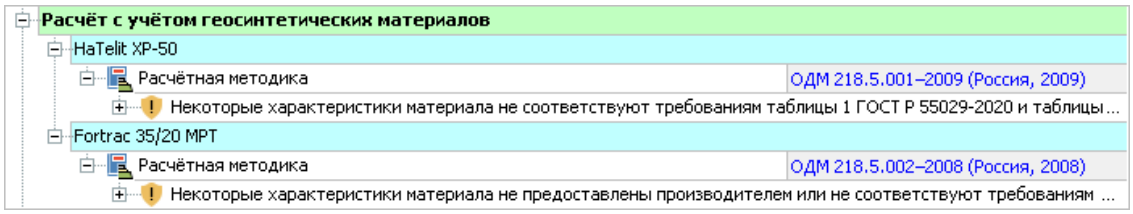
При внесении геосинтетического материала в конструкцию и включении его в расчёт помимо соответствующих изменений в результатах расчёта производится проверка материала на соответствие его конструктивных характеристик нормативным документам (за исключением пространственных георешёток).

5.1. Учёт геосинтетического материала в расчёте конструкции

После внесения геосинтетики в конструкцию дорожной одежды (см. Добавление геосинтетического материала) материал по умолчанию не влияет на её расчёт. Чтобы произвести корректировку, нужно в свойствах слоя, в который добавлена геосинтетика, выбрать соответствующую методику.

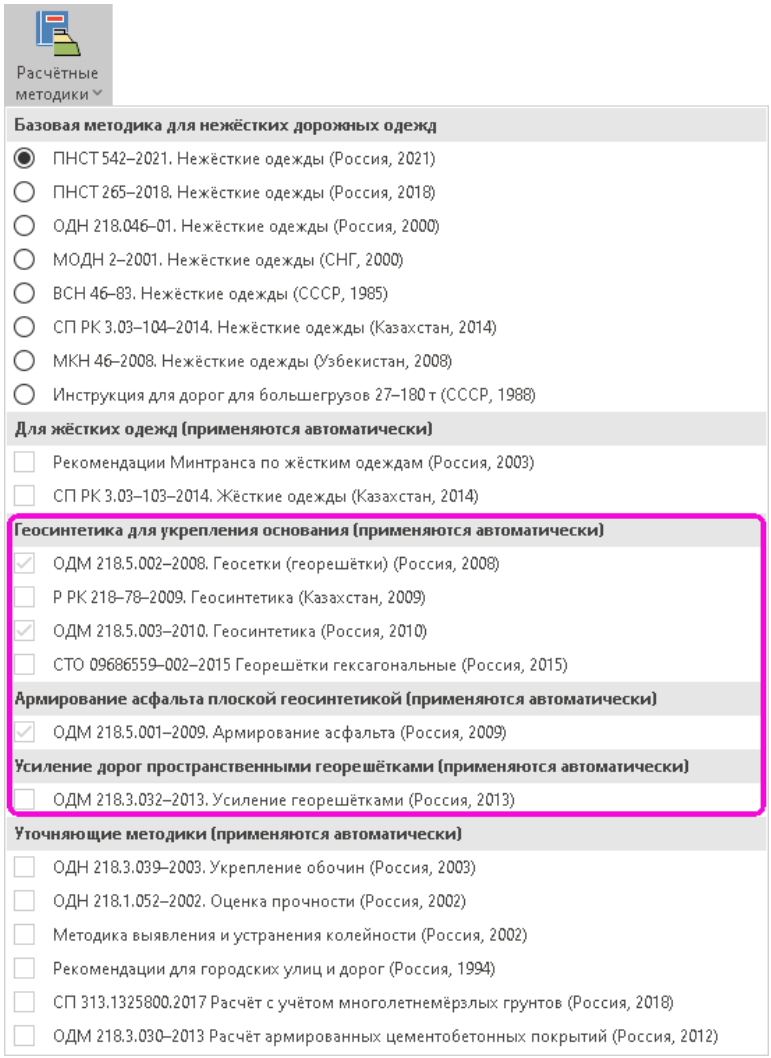


Методику учёта геосинтетики можно также выбрать в свойствах варианта конструкции.



Список возможных методик формируется на основе типа применяемого геосинтетического материала. Применение той или иной методики также

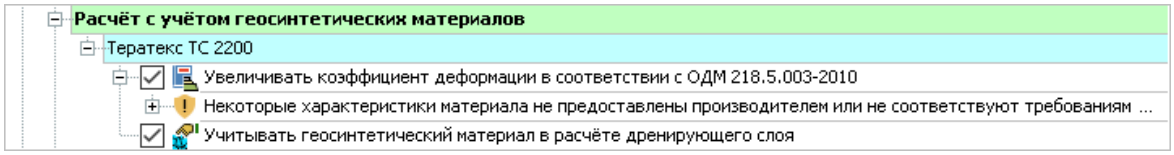
автоматически отображается в списке применяемых в проекте методик: **Главная > Методики > Расчётные методики**.



5.2. Геотекстиль

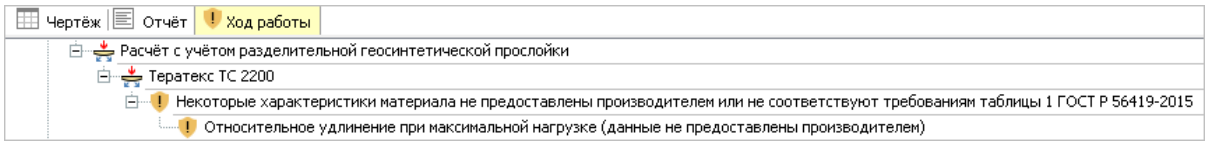
В библиотеке IndorPavement представлено 3 группы геотекстильных материалов: тканый, нетканый и прочий.

При добавлении нетканого геотекстиля выбор методики учёта не осуществляется, имеется только возможность повысить коэффициент деформации согласно ОДМ 218.5.003-2010 с помощью установки соответствующего флага. Если в проекте производится расчёт дренирующего слоя, учёт разделяющей прослойки можно выполнить, установив флаг **Учитывать геосинтетический материал в расчёте дренирующего слоя**.

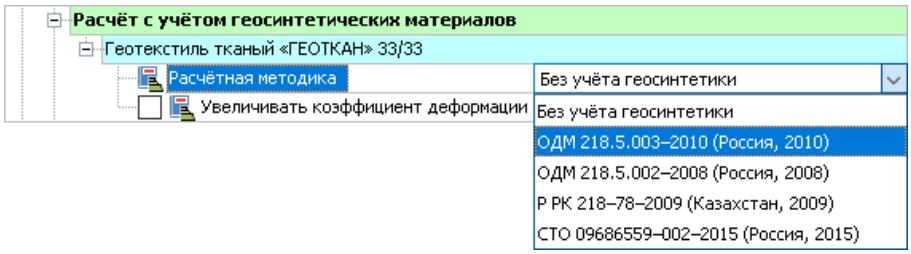


ЗАМЕЧАНИЕ. При расчёте по методикам Республики Казахстан повышение коэффициента деформации невозможно, так как этот параметр отсутствует при расчёте сдвигоустойчивости в этих нормативных документах.

При установке опции **Увеличивать коэффициент деформации в соответствии с ОДМ 218.5.003–2010** также производится проверка соответствия конструктивных характеристик геотекстиля требованиям таблицы 1 ГОСТ 56419–2015. Результаты проверки отображаются в свойствах конструктивного слоя с геосинтетикой в группе **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** и продублированы на вкладке **Ход работы**.



При внесении тканого и прочего геотекстиля, обладающего защитно-армирующими свойствами, можно выбрать, согласно какой методике будут внесены корректировки в расчёты прочности.



ЗАМЕЧАНИЕ. Выбор методики учёта полностью обосновывается пользователем. Выбор ОДМ 218.2.005–2008 может быть осуществлён только при наличии соответствующих лабораторных исследований.

Так же, как и для нетканого геотекстиля, в этом случае можно установить флаг **Увеличивать коэффициент деформации в соответствии с ОДМ 218.5.003-2010** для повышения коэффициента деформации при расчёте сдвигоустойчивости. Кроме того, при наличии армирующего геотекстиля в конструкции расчёты прочности производятся с учётом коэффициентов усиления α. Эти коэффициенты отображаются в области формирования конструкции в строке геосинтетической прослойки.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Верхний слой покрытия	А22Т Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 70/100, с максимальным	h = 6 см (5...10)	Eов = 505 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 16%	Eсдв = 1450 МПа	Eизг = 6400 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен	h = 10 см	Eов = 384 МПа	Eупр = 3000 МПа	Eсдв = 1000 МПа	Eизг = 5200 МПа Запас = 55%
Основание	Щебёночно-песчаные смеси, обработанные цементом (ГОСТ 23558), по прочности	h = 39 см (20...39)	Eов = 224 МПа	Eупр = 600 МПа	Eсдв = 600 МПа	Eизг = 600 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции	h = 20 см (20...30)	Eов = 60 МПа	Eупр = 120 МПа	Eсдв = 120 МПа Запас = 4%	Eизг = 120 МПа
	Тканый геотекстиль Геоспан ТН 50 по СТО 18603495.002-2010			α = 1,016		α = 1,016
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Eов = 37 МПа	Eупр = 37 МПа	Eсдв = 37 МПа Запас = 58%	Eизг = 37 МПа

Для армирующего геотекстиля дополнительно производится проверка конструктивных характеристик материала соответствию требованиям таблицы 1 ГОСТ 56338–2015. Результаты проверки отображаются в свойствах конструктивного слоя с геосинтетикой в группе **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** и продублированы на вкладке **Ход работы**.

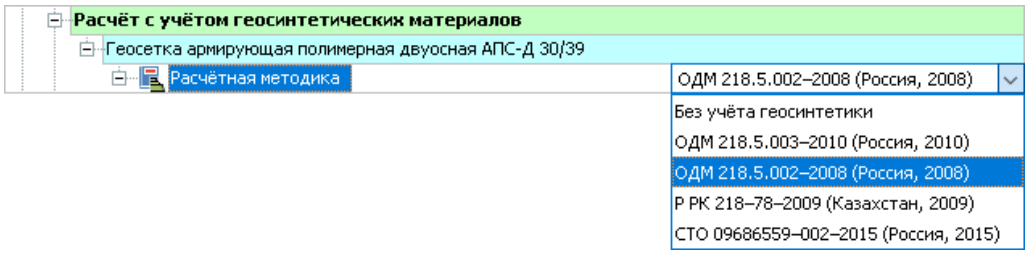
Чертёж | Отчёт | Ход работы

- Расчёт с учётом геосинтетического материала в соответствии с ОДМ 218.5–003–2010
  - Характеристики материала соотвествуют требованиям таблицы 1 ГОСТ Р 56338-2015

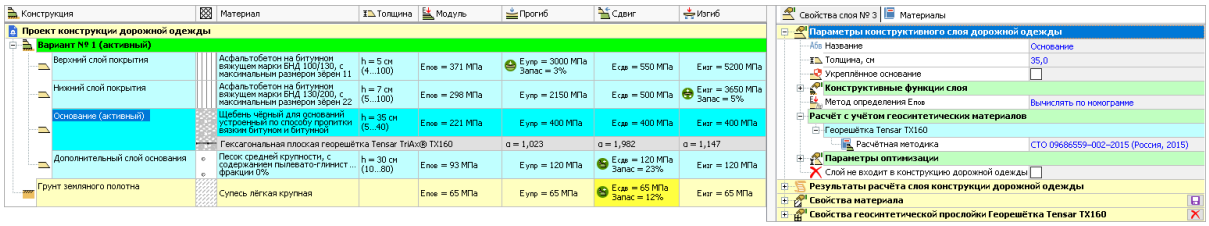
5.3. Плоские георешётки в слоях оснований

Для увеличения срока службы дорожной одежды и повышения её прочностных характеристик в зернистых слоях оснований применяются георешётки. В библиотеке IndorPavement георешётки представлены двумя группами: **Георешётка двухосная** и **Георешётка трёхосная**. Однако следует помнить, что в группе **Георешётка двухосная**, помимо армирующих геосеток для слоёв оснований, представлены также материалы для укрепления асфальтобетонных слоёв (см. Армирующие геосетки в слоях асфальтобетона).

После добавления георешётки в зернистый слой основания для учёта увеличения прочности конструкции нужно в группе **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** в свойствах слоя, в который добавлен геосинтетический материал, выбрать соответствующую методику. При расчётах по российским стандартам это ОДМ 218.5.002–2008, при расчётах по методикам Республики Казахстан может быть применён Р РК–218–78–2009. Можно также указать ОДМ 218.5.003–2010, однако он не учитывает в полной мере армирующее действие георешёток.



При добавлении в основание материалов из группы **Георешётка трёхосная** для учёта влияния на конструкцию можно указать специализированный СТО 09686559-002-2015.



Все расчёты на прочность (упругий прогиб, сдвигоустойчивость, изгиб) производятся с учётом соответствующих коэффициентов усиления α. Эти коэффициенты отображаются в области формирования конструкции в строке геосинтетической прослойки.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 5 см (4...100)	Eпов = 405 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 12%	Eсдв = 550 МПа	Eизг = 5200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 7 см (5...100)	Eпов = 304 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eсдв = 500 МПа	Eизг = 3650 МПа Запас = 4%
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 37 см (5...40)	Eпов = 226 МПа	Eупр = 400 МПа	Eсдв = 400 МПа	Eизг = 400 МПа
	Сетка армирующая полимерная из полиолефинов, ТУ 2291-026-7...		α = 1,096		α = 1,494	α = 1,103
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 30 см (10...80)	Eпов = 93 МПа	Eупр = 120 МПа	Eсдв = 120 МПа Запас = 3%	Eизг = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eсдв = 65 МПа Запас = 20%	Eизг = 65 МПа

Помимо учёта в расчётах конструкции дорожной одежды, система IndorPavement при выборе методики ОДМ 218.5.002–2008 для геосетки производит проверку соответствия конструктивных характеристик материала параметрам таблицы 5.1 этой методики. Результаты проверки выводятся в группу **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** в свойствах слоя, в который добавлена георешётка, и на вкладку **Ход работы**.

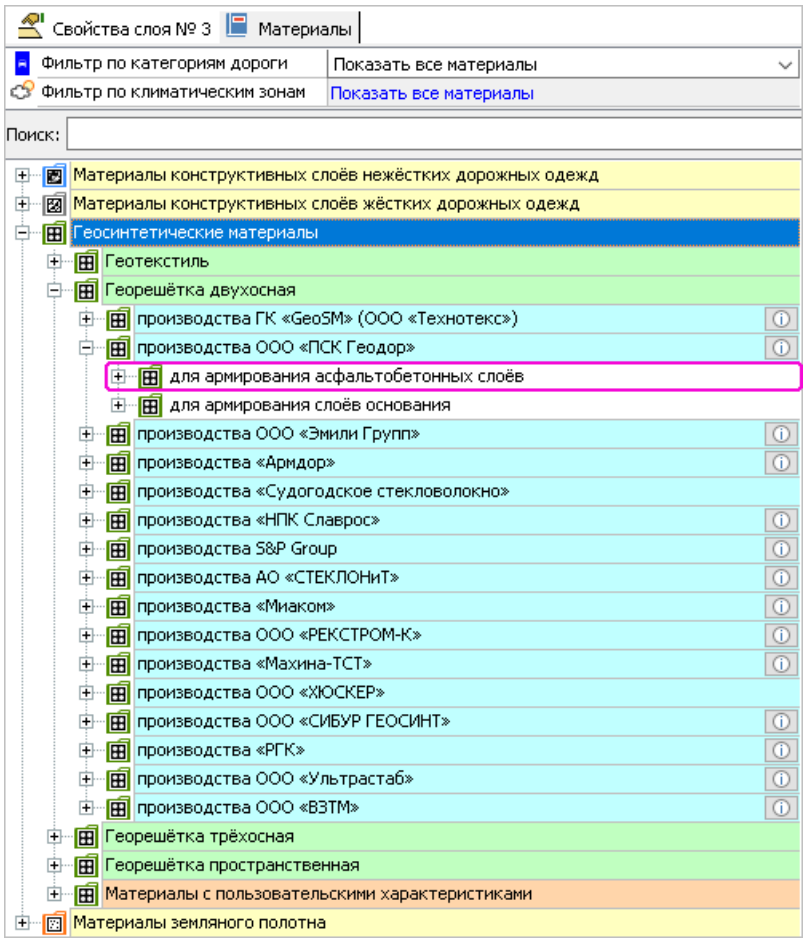
Чертёж | Отчёт | Ход работы

- Расчёт с учётом геосинтетического материала в соответствии с ОДМ 218.5–002–2008
  - Некоторые характеристики материала не предоставлены производителем или не соответствуют требованиям таблицы 5.1 ОДМ 218.5.002-2008
    - Относительное удлинение при максимальной нагрузке больше максимального значения 15,0 кН/м
    - Условный показатель деформативности в плоскости материала меньше минимального значения 20%

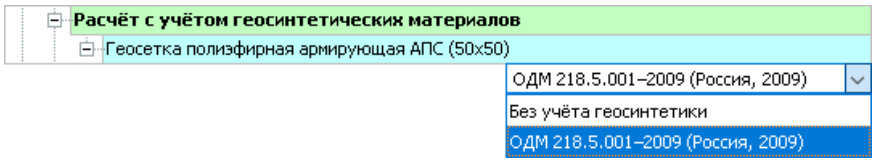
ЗАМЕЧАНИЕ. Если внесённый материал не соответствует конструктивным характеристикам георешётки, на вкладке **Ход работы** и в свойствах слоя, содержащего геосинтетику, выдаётся предупреждение **Геометрические параметры ячеек материала не соответствуют требуемым.**

5.4. Армирующие геосетки в слоях асфальтобетона

Для армирования и трещинопрерывания асфальтобетонных покрытий всё чаще применяют специализированные георешётки, которые позволяют замедлить скорость появления дефектов на дорогах. В библиотеке IndorPavement эти георешётки представлены в группе **Георешётка двухосная**.



После добавления георешётки в слой асфальтобетона для учёта увеличения прочности конструкции на сопротивление при изгибе нужно в группе **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** в свойствах слоя, в который добавлена геосетка, выбрать методику ОДМ 218.5.001–2009.



При расчёте конструкции дорожной одежды по критерию сопротивления усталостному разрушению на растяжение при изгибе с учётом защитно-армирующих

геосинтетических материалов применяются коэффициент повышения сопротивления Ка и коэффициент уменьшения усталостных процессов KNp. Эти параметры представлены в группе свойств геосинтетической прослойки.

Свойства геосинтетической прослойки Геосетка полиэфирная армирующая АПС (50x50)	
Общие свойства	
Название в дереве	Геосетка полиэфирная армирующа...
Полное название	Сетка полиэфирная армирующая, ТУ 2259-030-75957906-2011, АПС (50x50) 40/40 PET
Тип материала	Георешётка для покрытия
Защитно-армирующие свойства	
Условный модуль деформации, кН/м	300,00
Прочность при растяжении, кН/м	50,00
Коэффициент повышения сопротивления Ка	1,00
Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов KNp	1,00
Механические свойства	
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	13,00
Стойкость к агрессивным воздействиям среды	
Потеря прочности после 30 циклов замораживания-оттаивания, %	10,00
Потеря прочности при воздействии ультрафиолетового излучения, %	10,00
Потеря прочности в агрессивных средах, %	10,00
Отображение на чертеже	

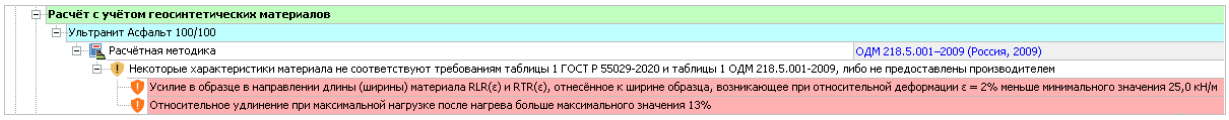
ЗАМЕЧАНИЕ. Добавление георешётки в слой асфальтобетона оказывает влияние только на расчёт на изгиб.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 6 см (4...100)	Eпов = 365 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 1%	Eизг = 5200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 6 см (5...100)	Eпов = 282 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eизг = 3650 МПа Запас = 17%
	Плоская георешётка производства «Миаком» для армирования ...				
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 35 см (5...40)	Eпов = 221 МПа	Eупр = 400 МПа	Eизг = 400 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 30 см (10...80)	Eпов = 93 МПа	Eупр = 120 МПа	Eизг = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eизг = 65 МПа

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 6 см (4...100)	Eпов = 365 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 1%	Eизг = 5200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 6 см (5...100)	Eпов = 282 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eизг = 3650 МПа Запас = -2%
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 35 см (5...40)	Eпов = 221 МПа	Eупр = 400 МПа	Eизг = 400 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 30 см (10...80)	Eпов = 93 МПа	Eупр = 120 МПа	Eизг = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eизг = 65 МПа

Помимо учёта в расчёте на изгиб конструкции дорожной одежды, система IndorPavement при выборе методики ОДМ 218.5.001–2009 для геосетки производит проверку соответствия конструктивных характеристик материала параметрам

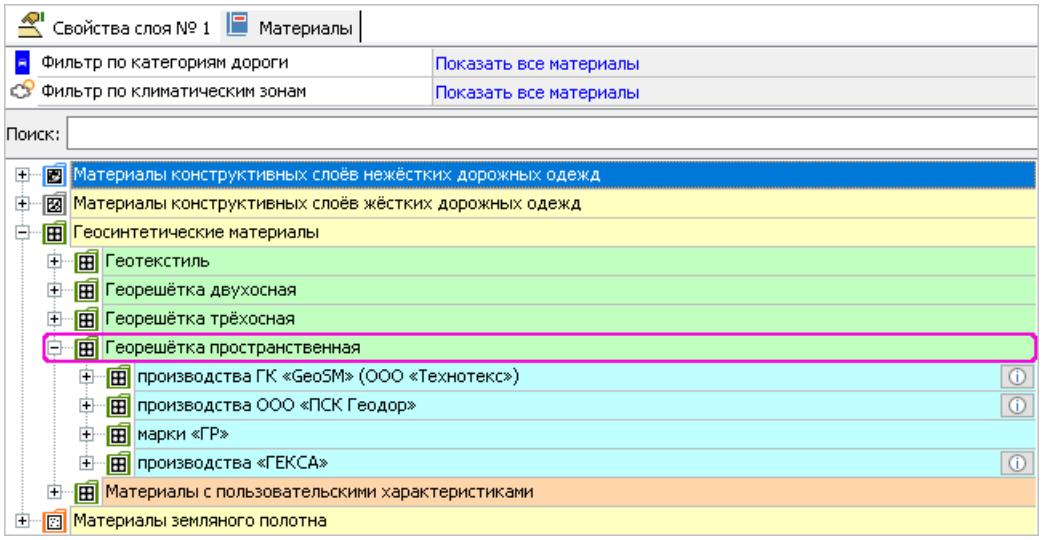
таблицы 1 ГОСТ Р 55029–2020 и таблицы 1 ОДМ 218.5.001–2009. Результаты проверки выводятся в группу **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** в свойствах слоя, в который добавлена георешётка, и на вкладку **Ход работы**.



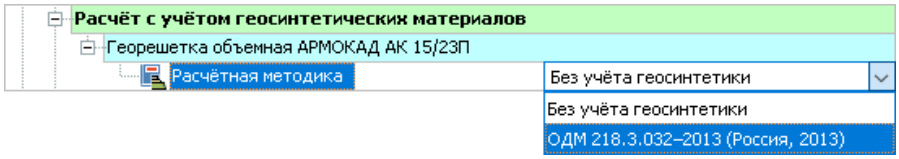
5.5. Пространственные георешётки

Пространственная георешётка — геосинтетический материал пространственной «сотовой» или схожей с ней ячеистой конструкции, образованной из соединённых между собой геополос, выпускаемый в виде складывающегося модуля и поставляемый в виде пакетов в сложенном состоянии. В рамках конструирования дорожной одежды они используются для объёмного армирования зернистого материала-заполнителя с целью образования композитного слоя «зернистый материал плюс георешётка», который обладает улучшенными по отношению к заполнителю эксплуатационными свойствами.

В библиотеке материалов IndorPavement геосинтетика этого типа представлена в группе **Георешётка пространственная**.



После добавления георешётки в зернистый слой основания для учёта увеличения прочности конструкции нужно в группе **Расчёт с учётом геосинтетических материалов** в свойствах слоя, в который добавлена георешётка, выбрать методику ОДМ 218.3.032–2013.



Конструктивные параметры объёмной георешётки представлены в свойствах конструктивного слоя, в который внесена геосинтетика, в группе **Свойства геосинтетической прослойки**.

Свойства геосинтетической прослойки Георешетка объемная АРМОКАД АК 15/...	
Соотношение углов трения δ/φ	0,80
Общие свойства	
Абв Название в дереве	Георешетка объемная АРМОКАД АК 15/23П
Абв Полное название	Материал геосотовый грунто-армирующий «АРМОКАД», СТО 75957906-085-2017, АК 15/23П
Тип материала	Георешётка пространственная
Параметры решётки	
Высота ребра, мм	150
Размер ячейки, мм	165; 165
Размер модуля, мм	4 165; 2 770
Площадь модуля, м²	11,54
Отображение на чертеже	

Расчётные параметры конструктивного слоя при внесении пространственной георешётки изменяются на те, которые указаны в группе **Свойства материала > Расчёт с учётом пространственной георешётки**.

Расчёт с учётом пространственной георешётки	
Eупр, прогиб, МПа	170
Eупр, сдвиг, МПа	480

Эти же значения отображаются в области формирования конструкции в строке геосинтетической прослойки.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 4 см (4...100)	Eпов = 364 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 1%	Eсдв = 550 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 7 см (5...100)	Eпов = 317 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eсдв = 500 МПа
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 47 см (5...47)	Eпов = 237 МПа	Eупр = 400 МПа	Eсдв = 400 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 18 см (10...80)	Eпов = 84 МПа	Eупр = 170	Eупр = 480
	Материал геосотовый грунто-армирующий «АРМОКАД», СТО 75957906-085-2017, АК 15/23П			Eупр = 170	Eсдв = 480
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eсдв = 65 МПа Запас = 30%

ЗАМЕЧАНИЕ. Учёт пространственных георешёток в расчётах на прочность согласно ОДМ 218.3.032–2013 для дорожных одежд капитального типа не производится.

5.6. Использование нескольких типов геосинтетики в конструкции

В конструкциях дорожной одежды зачастую могут быть применены несколько типов геосинтетических материалов для улучшения расчётных характеристик. В таких ситуациях нужно после добавления геосинтетики в свойствах соответствующего слоя указать, согласно какой методике будет произведён её учёт в расчётах.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 4 см (4...100)	Eпов = 390 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 8%	Eсдв = 550 МПа	Eизг = 5200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 7 см (5...100)	Eпов = 294 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eсдв = 500 МПа	Eизг = 3650 МПа Запас = 1%
	Геосетка для армирования а/б HaTelit XP-50					
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 35 см (5...40)	Eпов = 217 МПа	Eупр = 400 МПа	Eсдв = 400 МПа	Eизг = 400 МПа
	Геосетка для армирования грунта Fortrac 35/20 MPT			α = 1,149	α = 1,749	α = 1,156
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 25 см (10...80)	Eпов = 90 МПа	Eупр = 120 МПа	Eсдв = 120 МПа Запас = 5%	Eизг = 120 МПа
	Материал геотекстильный нетканый "Тератекс ТС 2200" для разделения...				↓Kд = 1,5	
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eсдв = 65 МПа Запас = 39%	Eизг = 65 МПа

Если геосинтетические материалы одинакового типа укладываются в разные слои и для них в свойствах слоя выбрана одинаковая методика, будет учитываться тот материал, применение которого оказывает наибольшее влияние на характеристики.

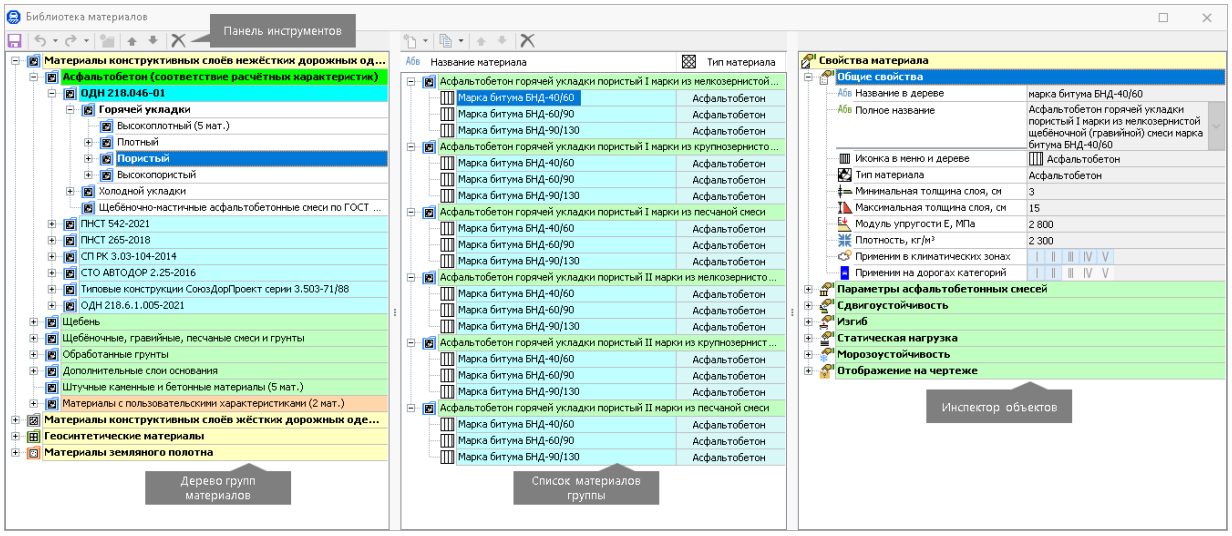
Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с максимальным размером зёрен 11	h = 7 см (4...100)	Eпов = 459 МПа	Eупр = 3000 МПа Запас = 26%	Eсдв = 550 МПа	Eизг = 5200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 130/200, с максимальным размером зёрен 22	h = 8 см (5...100)	Eпов = 311 МПа	Eупр = 2150 МПа	Eсдв = 500 МПа	Eизг = 3650 МПа Запас = 25%
Основание	Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной	h = 35 см (5...40)	Eпов = 217 МПа	Eупр = 400 МПа	Eсдв = 400 МПа	Eизг = 400 МПа
	Сетка армирующая полимерная из полиолефинов, ТУ 2291-026-75957906...			α = 1,095	α = 1,502	α = 1,103
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	h = 25 см (10...80)	Eпов = 90 МПа	Eупр = 120 МПа	Eсдв = 120 МПа Запас = 12%	Eизг = 120 МПа
	Сетка армирующая полимерная из полиолефинов, ТУ 2291-026-75957906...					
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная		Eпов = 65 МПа	Eупр = 65 МПа	Eсдв = 65 МПа Запас = 9%	Eизг = 65 МПа

Глава 6. Работа с библиотекой материалов

Все материалы, доступные для добавления в конструкцию, хранятся в библиотеке материалов. В комплект поставки системы IndorPavement включены все материалы, регламентированные ПНСТ 542–2021, ОДН 218.046–01, СП РК 3.03–104–2014, «Методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд», материалы из альбомов типовых конструкций дорожных одежд, геосинтетические материалы, обозначенные в рекомендациях по применению, а также от различных производителей. Помимо этого, можно дополнить библиотеку новыми материалами, создав их «с нуля» или на основе уже существующих.

6.1. Обзор окна библиотеки материалов

Чтобы открыть библиотеку материалов, нажмите кнопку **Главная > Данные > Библиотека материалов** или воспользуйтесь клавишей **F7**.

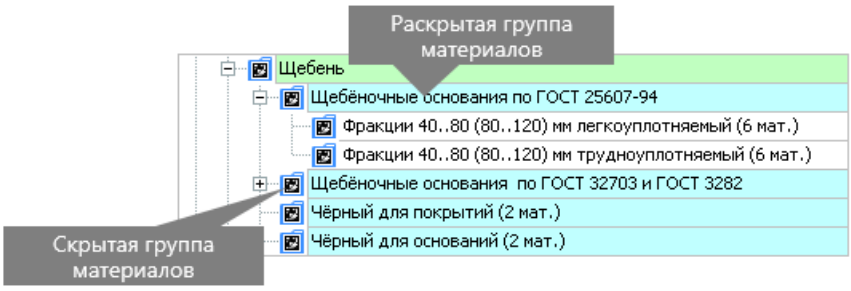


Окно библиотеки материалов состоит из следующих элементов:

- **Панель инструментов**. Располагается в верхней части окна. На панели инструментов сгруппированы кнопки для работы с деревом групп материалов, со списком материалов, а также кнопки отмены и возврата действий и сохранения библиотеки материалов.
- **Дерево групп материалов**. Занимает левую область диалогового окна и содержит группы материалов дорожных одежд. Дерево групп материалов имеет четыре секции: **Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд**, **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд**, **Геосинтетические материалы** и **Материалы земляного полотна** (аналогично вкладке **Материалы** в инспекторе объектов главного окна). Иерархия внутри этих групп не является стандартизованной, а отражает лишь логическое разделение материалов по нормативным документам и производителям.
- **Список материалов группы**. Располагается в центральной части окна и отображает материалы выделенной в дереве группы.
- **Инспектор объектов**. Занимает правую область диалогового окна и содержит параметры выделенного в списке материала. Отображаемые характеристики зависят от типа материала.

Просмотр подгрупп материалов

Рядом с теми группами, у которых есть подгруппы и/или материалы внутри, располагается значок ⊞. Нажмите его, чтобы раскрыть доступные позиции, или воспользуйтесь клавишей управления →. Значок изменит свой внешний вид на ⊟. Таким образом, если в данный момент не ведётся работа с материалами группы, то её можно скрыть, нажав на ⊟ или клавишу ←.

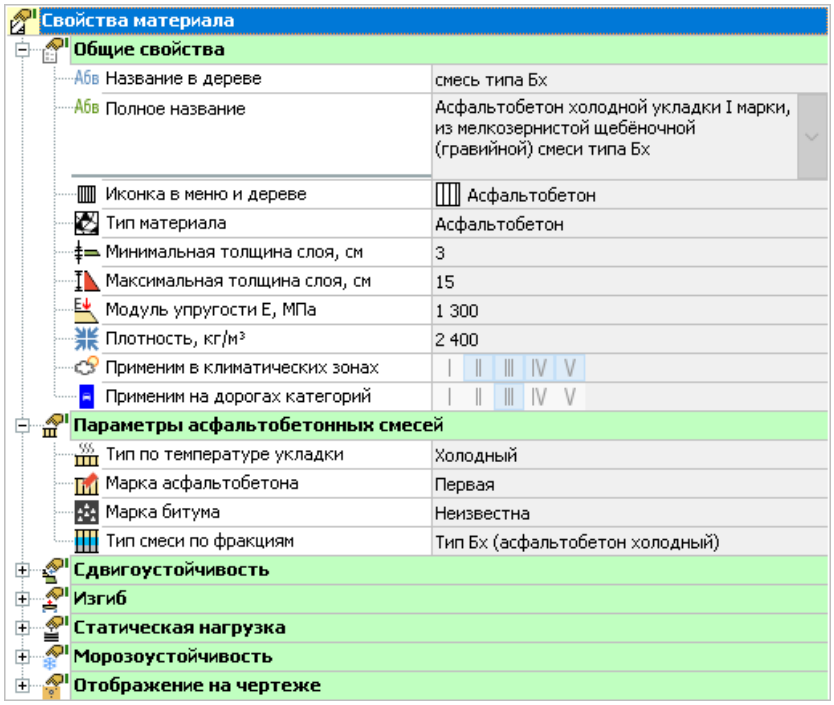


Список материалов выделенной группы отображается в центральной части окна. Материалы представлены в табличном виде, что позволяет быстро оценить его по таким важным критериям, как тип, плотность, поверхностный модуль упругости. Для геосинтетических материалов отображается информация только о типе материала.

Абв Название материала	Тип материала	Модуль	Плотность
Асфальтобетон Холодной укладки I марки			
Смесь типа Бх	Асфальтобетон	1300 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Вх	Асфальтобетон	1100 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Гх	Асфальтобетон	900 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Дх	Асфальтобетон	750 МПа	2400 кг/м³
Асфальтобетон Холодной укладки II марки			
Смесь типа Бх	Асфальтобетон	1300 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Вх	Асфальтобетон	1100 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Гх	Асфальтобетон	900 МПа	2400 кг/м³
Смесь типа Дх	Асфальтобетон	750 МПа	2400 кг/м³
Асфальтобетон Холодной укладки гранулобетонные смеси			

При выделении материала в этом списке его свойства отображаются в инспекторе объектов справа. Они аналогичны свойствам материала в инспекторе объектов

главного окна, но изменять характеристики материалов встроенной библиотеки нельзя.



6.2. Характеристики материалов

Встроенная библиотека материалов содержит более 2000 различных дорожных материалов. Для всех из них указаны физико-механические свойства (модуль упругости, плотность, теплопроводность и пр.) в соответствии с нормативными документами и описаниями производителей. Для материалов из встроенной библиотеки все свойства защищены от редактирования, но их можно копировать и создавать на их основании новые с изменёнными на усмотрение пользователя характеристиками.

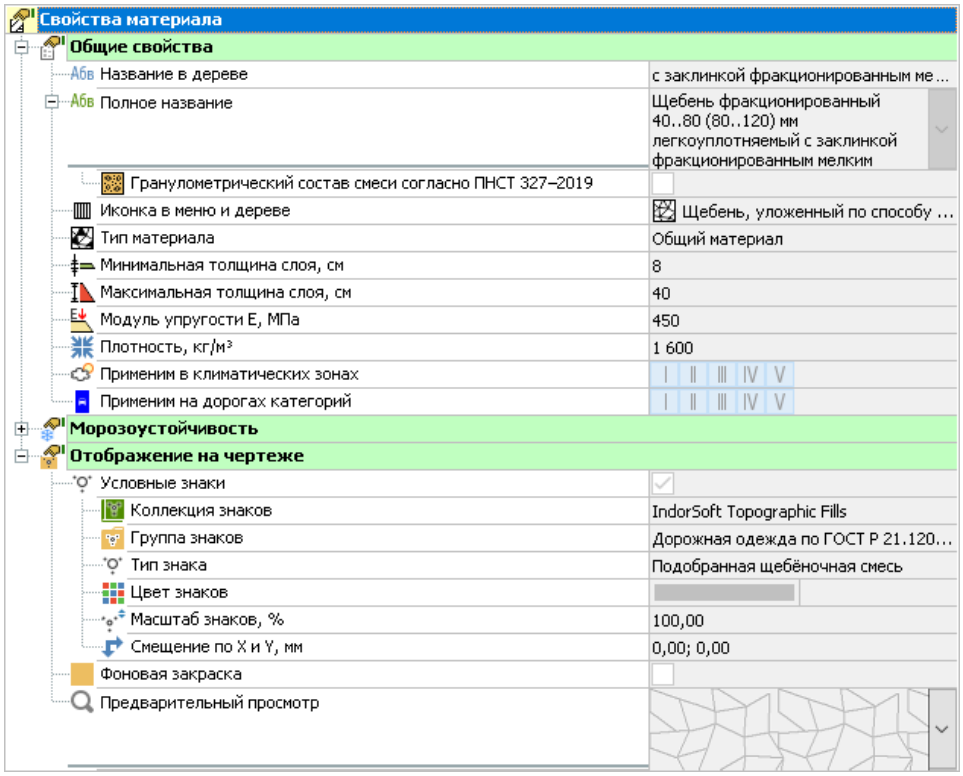
Все материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд делятся на типы: **Общий материал**, **Монолитный материал**, **Монолитный материал в основании**, **Асфальтобетон**, **Асфальтобетон в основании**, **ЩПС из металлургических шлаков**, **Слабосвязный материал**, **Дополнительный слой основания**.

В зависимости от своего типа материал имеет определённый набор групп параметров. Рассмотрим их подробнее.

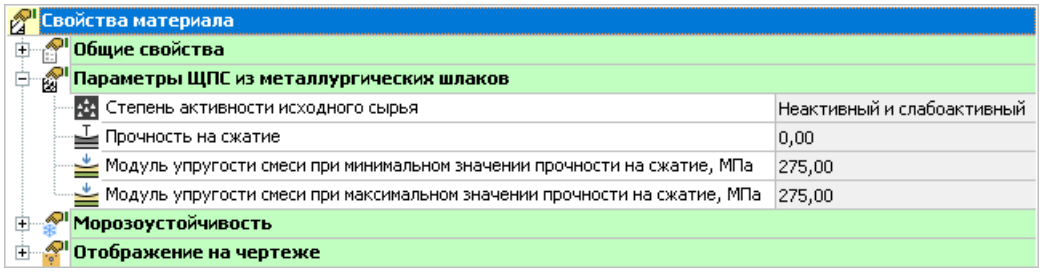
Материалы нежёстких дорожных одежд

Группы **Общие свойства** и **Отображение на чертеже** являются общими для всех материалов. В блоке **Общие свойства** задано наименование материала, диапазон его возможных толщин, общие физические характеристики, а также применимость для различных ДКЗ и категорий дорог. В группе **Отображение на чертеже** представлены настройки отображения материала на чертеже конструкции. В выпадающем списке предварительного просмотра можно настроить размер условного обозначения на чертеже, от очень мелкого до очень крупного.

Остальные параметры являются редактируемыми только в том случае, если материал пользовательский.



Наибольшее количество материалов в библиотеке имеют тип **Общий материал**. В основном это материалы, применяемые для устройства слоёв основания дорожной одежды. В группе **Морозоустойчивость** для них указана теплопроводность. Для материалов типа **ЩПС из металлургических шлаков**, помимо групп, характерных для материалов с типом Общий материал, добавлен блок **Параметры ЩПС из металлургических шлаков**. Эти параметры определены лабораторными испытаниями и регламентированы СТО АВТОДОР 2.2–2011. От них зависит модуль упругости ЩПС, что, соответственно, влияет на расчёты прочности конструкции дорожной одежды, в которую внесён материал.



Для материалов типа **Монолитный материал в основании** добавляется группа **Изгиб**, где указывается **Нормативное сопротивление весной R0**. Этот

параметр необходим при проверке промежуточных полужёстких слоёв на изгиб при расчёте конструкций по методикам ПНСТ 265–2018 и ПНСТ 542–2021.

Свойства материала	
Общие свойства	
Название в дереве	соответствующие марке 40
Полное название	Средний песчаный грунт, обработанный комплексным методом (ПНСТ 322-2019), по прочности соответствующий марке 40
Иконка в меню и дереве	Монолитный материал
Тип материала	Монолитный материал в основании
Минимальная толщина слоя, см	5
Максимальная толщина слоя, см	100
Модуль упругости E, МПа	450
Плотность, кг/м³	1 500
Применим в климатических зонах	I II III IV V
Применим на дорогах категорий	I II III IV V
Изгиб	
Нормативное сопротивление весной R0, МПа	0,35
Морозоустойчивость	
Теплопроводность (мёрзл.) λод, Вт/(м*К)	2,02
Отображение на чертеже	

Монолитный материал в свойствах материала, помимо подгрупп, характерных для общих материалов, также содержит группы параметров **Сдвигоустойчивость** и **Изгиб**. В группе **Сдвигоустойчивость** указываются **Варианты Ерасч**, сдвиг, так как при расчёте на сдвиг для этих материалов принимаются, в отличие от общих материалов, различные значения модуля упругости в зависимости от дорожно-климатической зоны. В группе **Изгиб** указан ряд параметров, позволяющих рассчитать конструкцию при наличии таких слоёв по критерию сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

Свойства материала	
Общие свойства	
Сдвигоустойчивость	
Варианты Ерасч, сдвиг, МПа	
Для зоны I	1 500,00
Для зоны II	1 500,00
Для зоны III	800,00
Для зоны IV	500,00
Для зоны V	350,00
Изгиб	
Нормативное сопротивление весной R0, МПа	2,50
Модуль упругости Ерасч, изгиб, МПа	10 000,00
Снижение прочности из-за повторяющейся нагрузки	
Усталостный показатель степени m	4,00
Коэффициент различия α (альфа)	5,00
Снижение прочности из-за погодно-климатических факторов	
μа (коэффициент Пуассона)	0,30
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) Rd МПа	2,00
Фактический коэффициент вязкого сопротивления hф, МПа*с	100
Морозоустойчивость	
Отображение на чертеже	

Для типов материалов **Асфальтобетон** и **Асфальтобетон в основании** в свойствах материала, кроме групп, описанных выше, представлен блок параметров **Статическая нагрузка**, содержащий значения модулей упругости соответственно дорожно-климатическим зонам при расчёте на статическую нагрузку и параметры, характеризующие сцепление материала. Асфальтобетон также имеет индивидуальную группу параметров **Параметры асфальтобетонных смесей**, которая включает в себя информацию о типе асфальтобетона по температуре укладки и о марке битума.

Свойства материала	
Общие свойства	
Параметры асфальтобетонных смесей	
Тип по температуре укладки	Горячий
Пористость	Высокоплотный
Марка битума	БНД-, БН-40/60 (вязкий)
Тип смеси по фракциям	Неизвестна
Сдвигоустойчивость	
Варианты Eрасч, сдвиг, МПа	
Для зоны I	2 600,00
Для зоны II	2 600,00
Для зоны III	1 550,00
Для зоны IV	850,00
Для зоны V	520,00
Изгиб	
Нормативное сопротивление весной R0, МПа	10,00
Модуль упругости Eрасч, изгиб, МПа	8 600,00
Снижение прочности из-за повторяющейся нагрузки	
Усталостный показатель степени m	6,00
Коэффициент различия α (альфа)	
Снижение прочности из-за погодно-климатических факторов	
μa (коэффициент Пуассона)	0,30
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) Rd МПа	2,00
Фактический коэффициент вязкого сопротивления hф, МПа*с	100
Статическая нагрузка	
Варианты Eрасч, стат, МПа	
Сцепление cn, МПа	0,20
Коэффициент, учитывающий зацепление зёрен, K	1,10
Морозоустойчивость	
Отображение на чертеже	

Для материалов с типом **Слабосвязный материал** в свойствах выводятся группы **Общие свойства**, **Отображение на чертеже** и **Морозоустойчивость** с аналогичными общему материалу параметрами. Для слабосвязных материалов добавляется группа **Сдвигоустойчивость**, так как в слабосвязных материалах (как и в дополнительных) согласно основным методикам необходим расчёт на сдвиг. Группа состоит из нескольких подгрупп: **Угол внутреннего трения φст**

при статическом действии нагрузки, **Угол внутреннего трения φ для расчёта активного напряжения сдвига** и **Сцепление cn**.

Свойства материала	
Общие свойства	
Сдвигоустойчивость	
Угол внутреннего трения φст при статическом действии нагрузки	
Число вариантов Wp и φст	1
Угол φст, °	45,0
Угол внутреннего трения φ для расчёта активного напряжения сдвига	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Расчёт по ВСН/СНРК	
Сцепление cn	
Коэффициент k3	5,00
Коэффициент деформации Kд	2,00
Kд (укреплённое основание)	2,00
Морозоустойчивость	
Теплопроводность (мёрзл.) λод, Вт/(м*К)	2,10
Отображение на чертеже	

Материалы с типом **Доп. слой основания** содержат группы с параметрами сдвигоустойчивости, морозоустойчивости и расчёта на дренаж. Данные параметры необходимы для этого типа материала, так как они назначаются в качестве морозозащитных, теплоизолирующих и дренирующих слоёв.

Свойства материала	
Общие свойства	
Сдвигоустойчивость	
Угол внутреннего трения φст при статическом действии нагрузки	
Угол внутреннего трения φ для расчёта активного напряжения сдвига	
Сцепление cn	
Коэффициент k3	5,00
Коэффициент деформации Kд	1,00
Kд (укреплённое основание)	3,00
Морозоустойчивость	
Теплопроводность (мёрзл.) λод, Вт/(м*К)	2,32
Теплопроводность (тал.) λтал, Вт/(м*К)	1,91
Расчёт на дренаж	
hнас (толщина слоя, насыщенного водой), м	0,05
hзап (дополнительная толщина слоя), м	0,20
Kф (коэффициент фильтрации), м/сут	2,20
Пористость	0,32
Отображение на чертеже	

Материалы жёстких дорожных одежд

Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд делятся на два типа: **Бетонные плиты для сборных покрытий** и **Монолитный цементобетон**.

Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд сильно отличаются по своим свойствам от материалов конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд. Для всех жёстких материалов указываются общие параметры (как для типа **Общий материал**), а также группа параметров **Сдвигоустойчивость** с указанием **Модуля упругости в зоне швов Ерасч**. Это значение принимается в качестве

модуля упругости при расчёте конструкции по критерию сдвигоустойчивости в грунте земляного полотна и слабосвязных слоях основания.

Для материалов с типом **Бетонные плиты для сборных покрытий** в свойствах материала добавляется группа **Параметры бетонной плиты**. В данной группе указываются такие параметры, как **μ (коэффициент Пуассона)**, **Ширина плиты**, **Длина плиты**, **Вес**, а также опция **Преднапряжённая плита**. Эти данные влияют на расчёт конструкции по критерию сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе и сдвигоустойчивость сборного покрытия в следующем слое, а также на расчёт количества арматурных стержней.

Параметры бетонной плиты	
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина плиты, см	50
Длина плиты, см	100
Вес, кг	100
Преднапряжённая плита	☑
Сдвигоустойчивость	
Модуль упругости в зоне швов Eрасч, МПа	1 000,00

Для материала с типом **Монолитный цементобетон** выводится группа с параметрами монолитного цементобетона. Она включает в себя параметры **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе**, **Тип твердения бетона**, **Краевое армирование**, **μ (коэффициент Пуассона)**, **Ширина плиты**, **Длина плиты** (используются при расчёте на изгиб по второй схеме), **α (коэффициент температурной деформации бетона)**. Эти данные используются для расчёта конструкции по критерию сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

Свойства материала	
Общие свойства	
Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	6,40
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	☑
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина плиты, см	200
Длина плиты, см	600
α (коэффициент температурной деформации бетона), 0,00001 °C	1,00
Сдвигоустойчивость	
Модуль упругости в зоне швов Eрасч, МПа	1 850,00
Морозоустойчивость	
Отображение на чертеже	

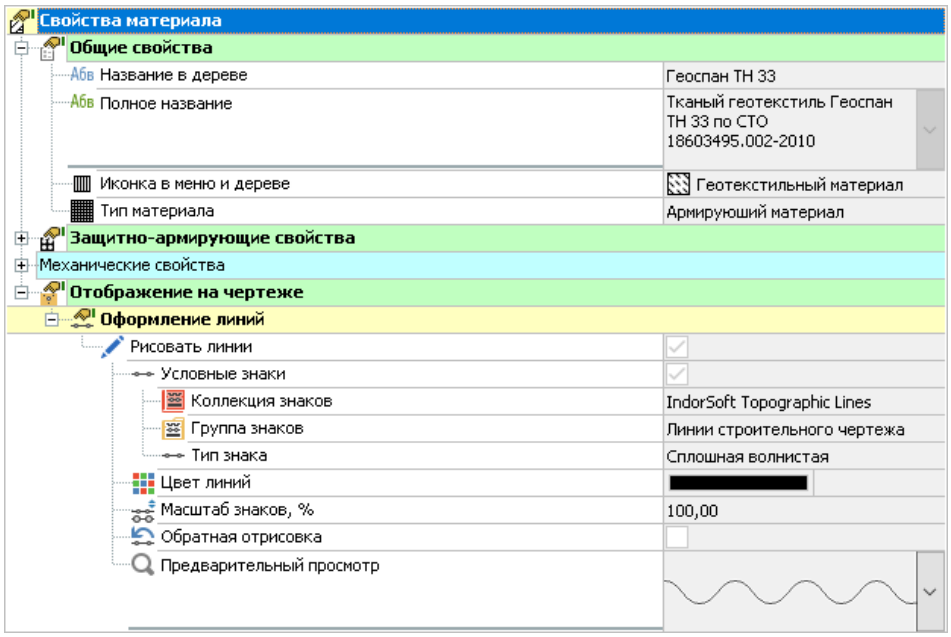
ЗАМЕЧАНИЕ. Если неизвестен класс бетона по прочности на растяжение при изгибе, а, например, для материала указан только класс на сжатие, необходимо обратиться к приложениям методических рекомендаций по проектированию жёстких дорожных одежд за соответствующими разъяснениями. Этот параметр необходим для расчёта и не заменяется другими, поэтому в таком случае нужно воспользоваться таблицами соответствия.

Геосинтетические материалы

Геосинтетические прослойки не являются полноценными конструктивными слоями, их физико-механические свойства отличаются от остальных материалов библиотеки. В отличие от конструктивных слоёв и грунтов характеристики этой группы материалов в основном предоставляются их производителями.

Все геосинтетические материалы делятся на типы: **Упрочняющий материал**, **Армирующий материал**, **Георешётка для основания**, **Георешётка для покрытия**, **Георешётка гексагональная**, **Разделяющая прослойка**, **Дренирующий материал**, **Пространственная георешётка**. Тип материала назначается в зависимости от функции материала в конструкции, а также его структуры и конструктивного решения.

Для каждого типа материала группы **Общие свойства** и **Оформление линий** являются общими. В них указываются полное название материала и параметры отображения на чертеже.



В группе **Геотекстиль** материалы разделены на два типа: **Разделяющая прослойка** и **Армирующий материал**. Для армирующих материалов в группе **Защитно-армирующие свойства** выводится подгруппа с механическими свойствами материала, в которой указываются прочность при продольном и поперечном растяжении.

Защитно-армирующие свойства	
Условный модуль деформации, кН/м	530,00
Прочность при растяжении, кН/м	50,00
Механические свойства	
Прочность при продольном растяжении, кН	9,50
Прочность при поперечном растяжении, кН	9,00

Для материала с типом **Разделяющая прослойка** в свойствах материала выводится группа **Дренажные свойства**, в ней указана **Поверхностная плотность γ** и также указываются механические свойства материала.

Дренажные свойства	
Поверхностная плотность γ, г/м²	400
Механические свойства	
Максимальное относительное удлинение при максимальной нагрузке,	115,00
Минимальная прочность при статическом продавливании, кН	2,50
Прочность при продольном растяжении, кН	11,60
Прочность при поперечном растяжении, кН	17,70
Диаметр отверстия в результате проникновения испытательного кон	15,00

Плоские георешётки имеют один из трёх типов: **Георешётка для покрытия**, **Георешётка для основания** или **Георешётка гексагональная**. Для георешёток в свойствах материала выводится группа параметров с защитно-армирующими свойствами, в которой указаны **Условный модуль деформации** и **Прочность при растяжении**. Эти параметры необходимы для расчёта армирующих коэффициентов согласно методикам, соответствующим типам материалов.

Свойства материала	
Общие свойства	
Абв Название в дереве	Славрос СД-20
Абв Полное название	Славрос СД-20
Иконка в меню и дереве	Армирующая решётка средняя
Тип материала	Георешётка для основания
Защитно-армирующие свойства	
Условный модуль деформации, кН/м	350,00
Прочность при растяжении, кН/м	7,00
Отображение на чертеже	

Если выбран тип **Георешётка для покрытия**, то в группе защитно-армирующих свойств добавляются подгруппы **Коэффициент повышения сопротивления Ka**, **Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов KNp**, **Механические свойства** и **Стойкость к агрессивным воздействиям среды**. В этих подгруппах отображаются соответствующие параметры, но только в том случае, если

они предоставлены производителем. Эти параметры не влияют на расчёт, они представлены только для просмотра пользователем.

Свойства материала	
Общие свойства	
Защитно-армирующие свойства	
Условный модуль деформации, кН/м	1 087,00
Прочность при растяжении, кН/м	50,00
Коэффициент повышения сопротивления Ka	
Для зоны I	1,10
Для зоны II	1,10
Для зоны III	1,10
Для зоны IV	1,10
Для зоны V	1,10
Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов KNp	
Для зоны I	0,80
Для зоны II	0,80
Для зоны III	0,80
Для зоны IV	0,80
Для зоны V	0,80
Механические свойства	
Стойкость к агрессивным воздействиям среды	
Отображение на чертеже	

Георешётки гексагональные имеют аналогичные георешёткам для основания свойства.

Для пространственных георешёток в свойствах материала указывается группа **Параметры решётки**, в которой представлены её геометрические параметры: **Высота ребра**, **Размер ячейки**, **Размер модуля**, **Площадь модуля**.

Параметры решётки	
Высота ребра, мм	50
Размер ячейки, мм	170; 170
Размер модуля, мм	2 500; 6 480
Площадь модуля, м²	16,20

Материалы земляного полотна

Рабочий слой земляного полотна не является частью конструкции дорожной одежды, однако от свойств этого материала во многом зависят результаты проектирования и расчёта. Материалы земляного полотна также делятся на типы: **Глина**, **Песок**, **Суглинок**, **Супесь** и **Прочие**. У каждого типа в свойствах материала имеются следующие группы характеристик: общие свойства, параметры сдвигоустойчивости, морозоустойчивости, расчёта на дренаж и отображения на чертеже. Песок, суглинок и супесь также имеют свои группы индивидуальных параметров, которые включают в себя пылеватость материала и его зернистость.

Параметры песка	
Пылеватость	
Зернистость	Мелкозернистый

В группе **Сдвигоустойчивость** представлены несколько подгрупп с параметрами, **Коэффициент k3**, **Коэффициент деформации Кд** и **Кд (укреплённое основание)**. В подгруппе **Угол внутреннего трения при статическом действии нагрузки** указано **Число вариантов Wp и φст** и **Угол φст** в зависимости от относительной расчётной влажности. В подгруппе **Угол внутреннего трения φ для расчёта активного напряжения сдвига** указаны данные, которые необходимы для расчёта сдвигоустойчивости согласно выбранной основной методике. Подгруппа **Сцепление cn** также содержит информацию о сцеплении в зависимости от вариантов влажности Wp и суммарного числа приложений расчётной нагрузки.

Сдвигоустойчивость	
Угол внутреннего трения φст при статическом действии нагрузки	
Число вариантов Wp и φст	6
Вариант 1: Wp = 0,60, φст = 24,0 °	
Вариант 2: Wp = 0,65, φст = 21,0 °	
Вариант 3: Wp = 0,70, φст = 18,0 °	
Вариант 4: Wp = 0,75, φст = 15,0 °	
Вариант 5: Wp = 0,80, φст = 13,0 °	
Вариант 6: Wp = 0,90, φст = 11,5 °	
Угол внутреннего трения φ для расчёта активного напряжения сдвига	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Расчёт по ВСН/СНРК	
Сцепление cn	
Коэффициент k3	1,50
Коэффициент деформации Кд	1,00
Кд (укреплённое основание)	1,50

Группа параметров **Морозоустойчивость** включает в себя информацию о теплопроводности материала, группу пучинистости грунта, коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв Кнагр, коэффициент Кпл, зависящий от уплотнения слоя, коэффициент учёта гранулометрии основания Кгр и коэффициент Ср для определения термического сопротивления. Данные параметры необходимы для выполнения расчёта на морозоустойчивость.

Морозоустойчивость	
Теплопроводность (мёрзл.) λод, Вт/(м*К)	1,62
Пучинистость грунта	Группа 3 (пучинистый)
Кнагр (коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв	0,20
Кпл (коэффициент, зависящий от уплотнения слоя)	0,80
Кгр (коэффициент учёта гранулометрии основания)	1,50
Коэффициент Ср для определения термического сопротивления	

В группе **Расчёт на дренаж** указаны параметры материала, которые необходимы для расчёта толщины дренирующего слоя.

Расчёт на дренаж	
Q (приток воды в основание за расчётный период), л/м²	0,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м²	0,00
Кп (коэффициент "пик")	0,00
Кг (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
пп (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

ЗАМЕЧАНИЕ. Материалы группы **Прочие** не содержат параметров расчёта на морозоустойчивость и дренаж, так как они не представлены в расчётных методиках.

6.3. Создание пользовательских материалов

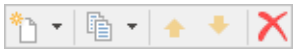
Несмотря на большой выбор материалов во встроенной библиотеке, каждый пользователь может дополнить свою библиотеку новыми материалами.

Существует несколько способов создания материала с пользовательскими характеристиками:

- создать пользовательский материал «с нуля» и задать все его характеристики вручную;
- скопировать уже имеющийся в библиотеке материал и изменить его характеристики;
- сохранить материал с изменёнными характеристиками из свойств конструктивного слоя (непосредственно при работе с проектом конструкции дорожной одежды).

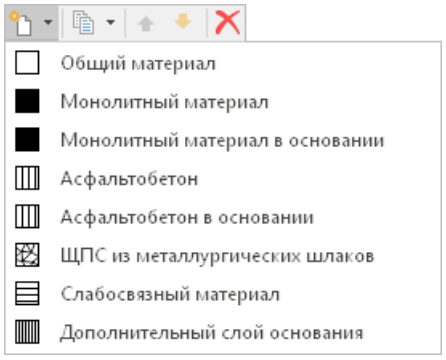
Рассмотрим, как создать материал с пользовательскими характеристиками «с нуля».

1. В дереве материалов выберите одну из четырёх групп материалов, к которой будет относиться создаваемый материал, и раскройте её. При выделении подгруппы **Материалы с пользовательскими характеристиками** станет активна панель инструментов, расположенная над списком материалов данной подгруппы (если никаких пользовательских материалов не было создано, то он пуст). На панели инструментов расположен ряд кнопок: **Добавить материал**, **Копировать материал**, кнопки перемещения материалов группы (**Переместить материал вверх** и **Переместить материал вниз**) и **Удалить материал**.



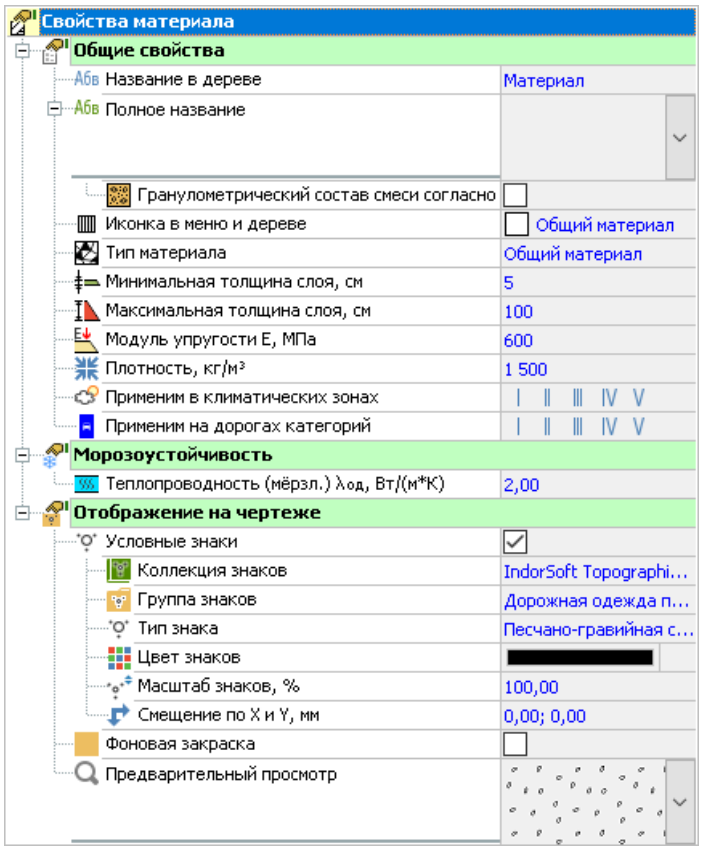
   Для добавления материала с пользовательскими характеристиками выберите инструмент **Добавить материал**. В выпадающем меню есть возможность выбрать тип материала, характерный для родительской группы материалов.

Если тип не выбран, автоматически создаётся материал с типом, заданным по умолчанию в данной группе.



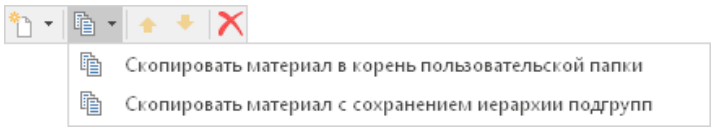
В дальнейшем тип материала можно изменить в инспекторе объектов в **Свойствах материала**.

2. После добавления материала в список группы в инспекторе объектов открываются свойства данного материала. Здесь необходимо указать его полное название и физико-механические характеристики. Если не изменить характеристики, то при расчётах будут использоваться данные, которые задаются для новых материалов по умолчанию, и расчёт конструкции дорожной одежды, включающий в себя данный материал, будет произведён некорректно.



Разберём более подробно второй способ: создание материала на основе уже имеющегося в библиотеке материалов.

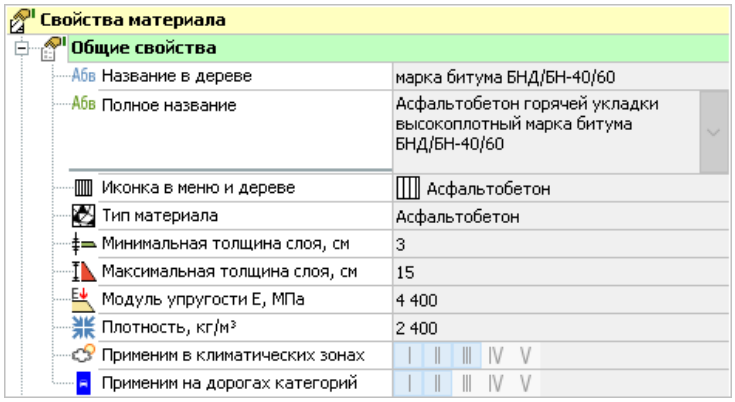
1. В дереве материалов выберите группу и выделите её — в списке материалов отобразятся все материалы данной группы. Из них нужно выбрать тот, на базе которого вы будете создавать новый материал, и выделить его. На панели инструментов воспользуйтесь кнопкой **Копировать материал**. Существует 2 варианта копирования: **Скопировать материал в корень пользовательской папки** и **Скопировать материал с сохранением иерархии подгрупп**. Во втором случае, помимо самого материала, из встроенной библиотеки будет скопирована вся иерархия папок, в которых находится копируемый материал.



2. После копирования материала появляется диалоговое окно с вопросом **Материал скопирован. Перейти в каталог с новым материалом?** При нажатии кнопки **Да** автоматически откроется группа материалов с пользовательскими характеристиками и скопированный материал будет выделен в списке материалов, а его свойства отобразятся в инспекторе объектов и станут доступными для редактирования. При нажатии **Нет** материал также будет скопирован в группу с пользовательскими характеристиками, но автоматического перехода в группу материалов с пользовательскими характеристиками не произойдёт. Для редактирования параметров материала следует самостоятельно перейти в подгруппу **Материалы с пользовательскими характеристиками**, найти и выделить скопированный материал.

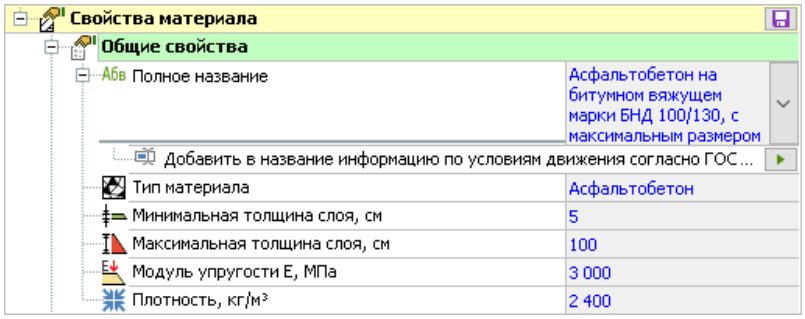
3. Когда свойства материала в инспекторе объектов станут доступными для редактирования, укажите ему **Название в дереве** и **Полное название**, выберите в выпадающем списке в поле **Иконка в меню и дереве** подходящую материалу иконку. В поле **Тип материала** из выпадающего

списка выберите тип данного материала и скорректируйте все необходимые физико-механические характеристики.



Добавленные в библиотеку материалы можно перемещать в списке материалов в группе, в которой они размещены. Для этого воспользуйтесь кнопками **Переместить материал вверх** или **Переместить материал вниз** на панели инструментов. Удалить добавленный материал можно с помощью кнопки **Удалить материал** на панели инструментов.

В том случае, если при создании конструкции дорожной одежды необходимо изменить какие-либо параметры материала непосредственно в конструктивном слое, это можно сделать в его свойствах в инспекторе объектов (см. Редактирование параметров конструктивного слоя). После того как характеристики материала были изменены, при необходимости его также можно сохранить в библиотеку материалов как материал с пользовательскими характеристиками. Для этого в свойствах слоя в строке **Свойства материала** нажмите кнопку **Сохранить материал в библиотеку**.



Все добавленные материалы также отображаются на вкладке **Материалы** в инспекторе объектов. Созданные материалы можно добавлять в конструкцию, и в инспекторе объектов будут отображаться все указанные пользователем характеристики. При открытии проекта другими пользователями программы все новые материалы также отобразятся в библиотеке материалов с сохранением всех своих параметров и характеристик.

Глава 7. Расчёт жёстких дорожных одежд

Расчёт дорожных одежд жёсткого типа выполняют по предельным состояниям, определяющим потерю работоспособности того или иного элемента конструкции, с учётом исходных данных (района проектирования, расчётной нагрузки). Для обеспечения необходимых прочностных характеристик дорожной одежды могут производиться следующие расчёты:

- расчёт цементобетонного основания или покрытия на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе;
- расчёт сопротивления при изгибе монолитного покрытия на цементобетонном основании;
- расчёт на сопротивление при изгибе покрытий из сборных плит;
- расчёт на сдвигоустойчивость основания конструкций со сборными покрытиями.

В этой главе рассматриваются визуальный анализ результатов и основные виды расчётов конструкций дорожных одежд. Расчёт конструкций дорожной одежды жёсткого типа на сдвигоустойчивость в грунте и слабосвязных слоях оснований при динамической и статической нагрузках, проверка морозоустойчивости и определение толщины дренирующего слоя аналогичны расчётам, применимым к конструкциям нежёсткого типа.

7.1. Расчёт конструкции с цементобетонным покрытием

При расчёте конструкции дорожной одежды жёсткого типа с цементобетонным покрытием необходимо выполнение условия прочности, согласно которому многократно возникающие в покрытии напряжения растяжения при изгибе от совместного действия транспортной нагрузки и изменения температуры в течение срока службы не должны превышать наименьшую прочность бетона при изгибе. Напряжения растяжения при изгибе определяют по одной из двух расчётных схем, учитывающих условия контакта плиты с основанием и место расположения нагрузки.

Первую расчётную схему применяют для определения толщины покрытия при условии гарантированной устойчивости земляного полотна и отсутствия неравномерных осадок или вспучивания. Расчётное место приложения нагрузки в дорожном покрытии — продольный внешний край в центре по длине плиты.

Вторую расчётную схему применяют для определения расстояния между поперечными швами, а также толщины плит в особых условиях для дорог низших категорий при заданной длине на участках с ожидаемыми неравномерными осадками или неравномерным пучением грунта земляного полотна.

По умолчанию расчёт производится по первой схеме. Для выбора схемы расчёта необходимо перейти на вкладку **Свойства варианта** и в группе **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** выбрать схему расчёта монолитных цементобетонных покрытий.

Расчёт по первой схеме

Чтобы произвести расчёт конструкции с цементобетонным покрытием на сопротивление при изгибе, выполните следующие действия.

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Сопротивление при изгибе** или откройте вкладку **Свойства проекта** и в группе **Общие параметры проекта** в критериях расчёта установите флаг **Расчёт на сопротивление при изгибе**.
2. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** определите следующие параметры:
   - равномерно распределённую нагрузку штампа колеса в поле **Давление в шине p** для расчёта напряжения растяжения при изгибе;

- расчётную нагрузку Q в поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность**;
- число приложений расчётной нагрузки ∑Np для определения требуемой толщины покрытия.

Расчётная нагрузка	
Двухбаллонное колесо	☑
Давление колеса на дорогу	Группа расчётной нагрузки № 1
Назначать параметры нагрузки согласно ГОСТ 32960–2014	☑
Давление в шине p, МПа	0,800
Диаметр отпечатка шины D (дин.), см	37,10
Диаметр отпечатка шины D (стат.), см	32,60
Статическая нагрузка на ось Q, кН	100,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность Qн, кН	50,00
Число приложений расчётной нагрузки ΣNp	Явное задание
Значение ΣNp	1 658 000
Приведённая интенсивность, авт./сут	2 000

3. Выделите вариант конструкции дорожной одежды и в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** задайте параметры расчёта конструкции.
   - В поле **Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий** укажите первую схему расчёта (она установлена по умолчанию).
   - В поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах** определите, имеет ли конструкция штыревые соединения.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий	1
Наличие штыревых соединений в поперечных швах	☑
Коэффициент Пуассона основания	0,30

   - В поле **Коэффициент Пуассона основания** задайте коэффициент Пуассона основания μ0 для расчёта упругой характеристики плиты.

4. Если в конструкции используется цементобетон, добавленный в качестве материала с пользовательскими характеристиками, в свойствах слоя в группе **Параметры монолитного цементобетона** задайте параметры слоя цементобетонного покрытия.
   - В поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе** определите класс бетона по прочности Btb.

Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	4,40
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	☑
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
α (коэффициент температурной деформации бетона), 0,00001 °C	1,00

- Выберите в поле **Тип твердения бетона** один из способов твердения. При выборе пункта **Естественного твердения** коэффициент набора прочности бетона КНП = 1,2; пункта **Пропаренный** — КНП = 1,0.
- Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле **μ (коэффициент Пуассона)**.
- В поле **Краевое армирование** можно задать тип армирования: краевое армирование цементобетона или неармированный цементобетон. Неармированное покрытие (опция отключена) задаёт коэффициент КМ = 1,5; при краевом армировании покрытия (опция включена) коэффициент КМ = 1,0.
- В поле **Модуль упругости E** отображается модуль упругости материала, указанный в библиотеке материалов. При необходимости измените его.

5. Определите остальные слои конструкции, укажите их толщины и для нестандартных материалов задайте модули упругости.
6. Минимальная толщина покрытия определяется по графику Ку = f(h) его пересечением с рассчитанным значением Ку = f(∑Np). График зависимости коэффициента усталости бетона при повторном нагружении от толщины выводится в чертёж и детальный отчёт проекта.

Расчёт по второй схеме

Расчёт по второй схеме аналогичен расчёту по первой схеме. Исключение составляют параметры варианта и дополнительные параметры цементобетона.

1. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** задайте следующие параметры.
   - В поле **Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий** установите вторую схему расчёта.
   - В поле **Ожидаемая просадка основания** задайте предполагаемый максимальный уровень просадки основания (земляного полотна). В соответствии с этим значением определяется коэффициент КС, влияющий на расчёт толщины плиты. При просадке более 15 см КС = 1,2; в остальных случаях КС = 1,0.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий	2
Ожидаемая просадка основания, см	10,00

2. Задайте параметры слоя цементобетонного покрытия.

   - В поле **Ширина плиты** задайте ширину бетонной плиты.

Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	4,40
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	☑
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина плиты, см	200
Длина плиты, см	600
α (коэффициент температурной деформации бетона), 0,00001 °C	1,00

   - В поле **Длина плиты** задайте длину бетонной плиты.

Расчёт на сопротивление при изгибе

Результаты расчёта конструкции на прочность по критерию сопротивления цементобетонного покрытия усталостному разрушению от растяжения при изгибе отображаются в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Изгиб** (аналогично расчёту дорожных одежд нежёсткого типа) и на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**.

В области формирования конструкции в столбце **Изгиб** отображается значение модуля упругости при расчёте на изгиб. Для слоя цементобетонного покрытия выводится значение минимально допустимой толщины слоя hmin и значение запаса толщины слоя, рассчитываемое следующим образом:

$$\text{Запас} = h_{\min} - h_{\text{тек}},$$

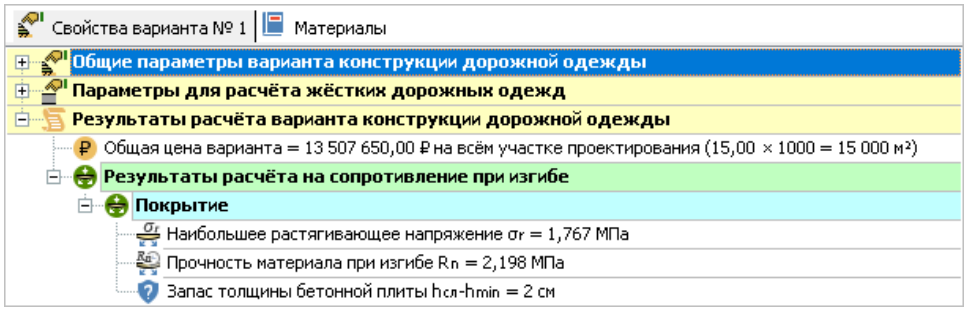
где $h_{\min}$ — минимально допустимая расчётная толщина слоя цементобетонного покрытия;

$h_{\text{тек}}$ — текущая толщина слоя покрытия.

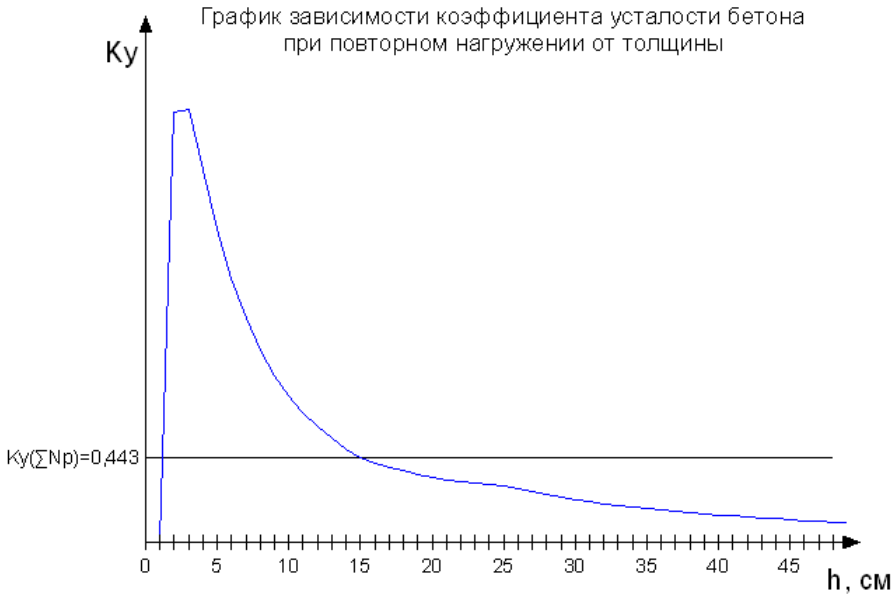
Если значение запаса толщины слоя больше нуля, т.е. конструкция удовлетворяет критерию сопротивления при изгибе, то в слое цементобетонного покрытия отображается подсказка в виде значка , в противном случае отображается значок .

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Покрытие	Тяжёлый бетон класса B tb 4.4	h = 16 см (10...50)		Eупр = 36000 МПа	hmin = 13 см Запас = 3 см
Основание	Средний песчаный грунт, обработанный цементом (ГОСТ 23558), по прочности	h = 16 см (5...100)	Eэ = 103 МПа	Eупр = 550 МПа	Eизг = 550 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции	h = 35 см (10...80)	Eэ = 65 МПа	Eупр = 120 МПа	Eизг = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая		Eпов = 42 МПа	Eупр = 42 МПа	Eизг = 42 МПа

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на сопротивление при изгибе отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**, в которой приведён краткий список расчётных величин.



Определение требуемой толщины плиты цементобетонного покрытия происходит следующим образом. Для нескольких значений толщин покрытия строится график зависимости коэффициента усталости бетона от толщины Ку = f(h) и находится точка пересечения его с графиком Ку = f(∑Np). Если точка пересечения находится за границами указанного в свойствах материала диапазона возможных толщин покрытия, соответствующее предупреждение выводится в **Ход работы**.



Коэффициент усталости бетона при заданной расчётной нагрузке вычисляется следующим образом:

$$K_y = 1{,}08 \times \left(\sum N_p\right)^{-0{,}063},$$

где $\sum N_p$ — суммарное число приложений расчётной нагрузки.

С помощью графика определяют толщину покрытия hmin, соответствующую требуемому Ку = f(∑Np).

При расчёте конструкции с цементобетонным покрытием по второй расчётной схеме результаты расчёта (как и при первой схеме) отображаются в области формирования конструкции и в инспекторе объектов. В области формирования конструкции результаты сгруппированы в столбце **Изгиб**, в инспекторе объектов результаты расчёта объединены на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды					
Вариант № 1					
Покрытие	Тяжёлый бетон класса B tb 4.4	h = 25 см (10...50)		Eупр = 36000 МПа	hmin = 24 см Запас = 1 см
Основание	Средний песчаный грунт, обработанный цементом (ГОСТ 23558), по прочности	h = 20 см (5...100)	Eэ = 99 МПа	Eупр = 550 МПа	Eизг = 550 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции...	h = 40 см (10...80)	Eэ = 54 МПа	Eупр = 120 МПа	Eизг = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Eпов = 26 МПа	Eупр = 26 МПа	Eизг = 26 МПа

В инспекторе объектов отображается запас толщины конструктивного слоя.

Свойства варианта № 1 | Материалы

- **Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды**
- **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд**
- **Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды**
  - Общая цена варианта = 18 759 000,00 ₽ на всём участке проектирования (15,00 × 1000 = 15 000 м²)
  - **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**
    - **Покрытие**
      - Запас толщины бетонной плиты hсл-hmin = 1 см

При расчёте по второй схеме (в случае опирания плиты на основание в её центральной части) толщина плиты определяется по формуле:

$$h_{тр} = \sqrt{\frac{60 \times K_c \times Q}{B \times R_{р.и.}^{расч.}} \times \left(\frac{A}{4} - R\right)},$$

где K_c — коэффициент скорости потери ровности основания при ожидаемой общей просадке основания (земляного полотна), вычисляемый в соответствии со значением, заданным в свойствах варианта в поле **Ожидаемая просадка основания**;

Q — расчётная нагрузка, кН;

B — полуширина плиты, вычисляемая в соответствии с полем **Ширина** в свойствах цементобетонного слоя;

$R_{р.и.}^{расч.}$ — расчётная прочность бетона на сопротивление при изгибе;

A — полудлина плиты, вычисляемая в соответствии с полем **Длина** в свойствах цементобетонного слоя;

R — радиус отпечатка колеса.

Особенности расчёта морозоустойчивости

Расчёт конструкций дорожной одежды жёсткого типа на морозоустойчивость выполняется в соответствии с базовой методикой, установленной в меню **Расчётные методики**. Он может быть выполнен по двум алгоритмам: общий алгоритм или алгоритм с учётом морозозащитного слоя. Если конструкция дорожной одежды имеет жёсткое покрытие, то допустимая величина пучения грунта принимается из следующих условий.

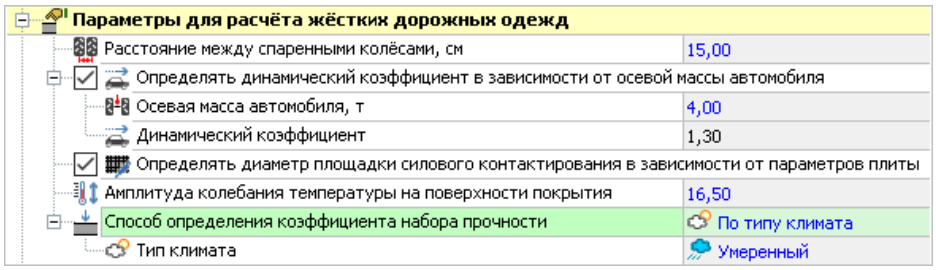
- Для цементобетонных покрытий при эксплуатации по первой расчётной схеме и для сборных покрытий из железобетонных ненапряжённых плит длиной более 25h lдоп = 3 см.
- Для цементобетонных покрытий при эксплуатации по второй расчётной схеме и для сборных покрытий из железобетонных ненапряжённых плит длиной менее 25h, а также для сочленённых и предварительно напряжённых плит допустимая величина пучения грунта lдоп зависит от наличия штыревых соединений.
    - При отсутствии в поперечных швах стыков lдоп = 4 см.
    - При наличии в поперечных швах стыков lдоп = 6 см.

7.2. Расчёт конструкции со сборными покрытиями из плит

При расчёте сборных покрытий учитываются условия прочности бетона на изгиб краевых участков плит и в центре плиты, определяемые набором расчётных характеристик. Кроме того, производится расчёт основания под плитами на сдвигоустойчивость.

Чтобы произвести расчёт по этим критериям, выполните следующие действия.

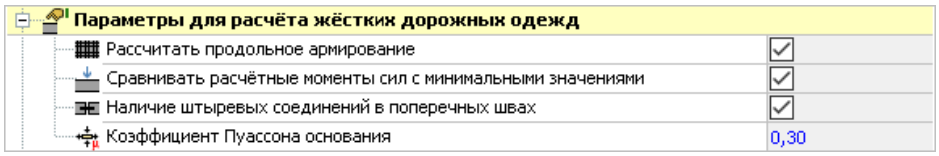
1. Установите критерии расчёта **Сопротивление при изгибе** и **Сдвигоустойчивость**, нажав соответствующие кнопки на вкладке **Главная** в группе **Расчёт** или в свойствах проекта в группе **Критерии расчёта**.
2. На вкладке **Свойства проекта** в группе **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** задайте параметры, перечисленные ниже.



   - Для определения полудлины и полуширины отпечатка колеса, отнесённых к нейтральной линии плиты, задайте расстояние между колёсами в поле **Расстояние между спаренными колёсами**.
   - При установке флага **Определять динамический коэффициент в зависимости от осевой массы автомобиля** необходимо указать осевую массу автомобиля. При снятии флага динамический коэффициент по умолчанию принимает значение 1,3, что соответствует осевой массе автомобиля 4 т.
   - При снятии флага **Определять диаметр площадки силового контактирования в зависимости от параметров плиты** эта характеристика принимает значение, равное диаметру отпечатка шины. При установке опции она вычисляется исходя из полудлины отпечатка колеса, отнесённой к нейтральной линии плиты, и толщины плиты.
   - Задайте **Амплитуду колебания температуры на поверхности покрытия**.

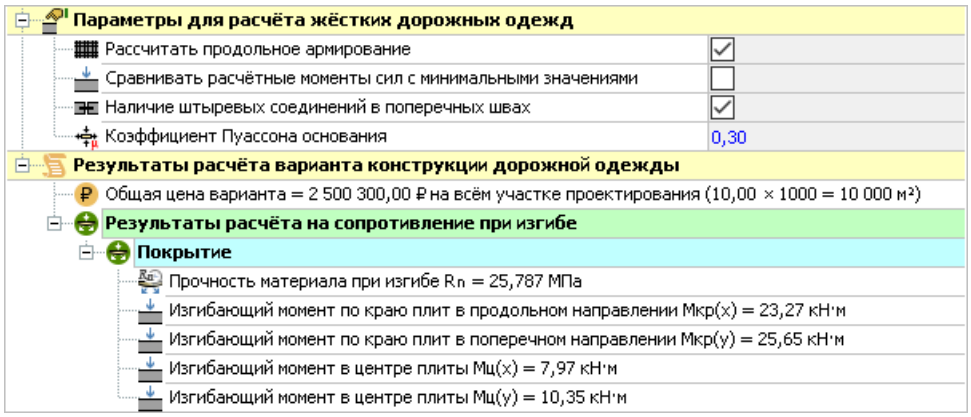
- **Коэффициент набора прочности** можно определить двумя способами: указать в явном виде или определить по типу климата.

3. На вкладке **Свойства варианта** задайте коэффициент Пуассона основания μ0 для расчёта упругой характеристики плиты в поле **Коэффициент Пуассона основания**.



Также здесь вы можете установить или отключить следующие опции.

- **Рассчитать продольное армирование**. При установке этого флага производится расчёт по ОДМ 218.3.030–2013 количества стержней продольного армирования и расстояния между ними.
- **Сравнивать расчётные моменты сил с минимальными значениями**. Если по результатам расчёта нет необходимости определять минимальный коэффициент запаса при расчёте на изгиб, то эту опцию можно отключить. В таком случае в область формирования конструкции, отчёт и свойства варианта будут выведены только результаты расчёта изгибающих моментов по краям и в центре плиты.



- **Наличие штыревых соединений в поперечных швах**. Эта опция влияет на коэффициент mст при расчёте сдвигоустойчивости основания.

4. В свойствах конструктивного слоя покрытия из плит в группе **Параметры бетонной плиты** задайте, если параметры отличаются от указанных, размеры плиты, расположение монтажных скоб, марку прочности бетона на сжатие и наличие преднапряжения плиты. Если используются плиты из

пользовательских материалов библиотеки, укажите в группе **Сдвигоустойчивость** значение **Модуля упругости в зоне швов Ерасч**.

Параметры бетонной плиты	
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина плиты, см	200
Длина плиты, см	600
Расстояние между монтажными скобами на длинной стороне плиты, см	25,00
Расстояние от монтажных скоб до торцов плиты, см	10,00
Марочная прочность бетона на сжатие, кгс/см²	300,00
Плечо внутренней пары сил Z (сжатие и растяжение), см	10,00
Вес, кг	4 000
Преднапряжённая плита	☑
Сдвигоустойчивость	
Модуль упругости в зоне швов Ерасч, МПа	1 600,00

5. Если в свойствах варианта была включена опция **Рассчитать продольное армирование**, в свойствах конструктивного слоя из плит в группе **Параметры продольного армирования** нужно указать характеристики армирования, которые необходимы для этого расчёта. В строках **Количество стержней** и **Расстояние между стержнями** будет сразу же выдан результат.

Параметры продольного армирования	
Процент армирования μa	5,00
Защитный слой шва, см	5
Номинальный диаметр стержня d, мм	8
Количество стержней	378
Расстояние между стержнями, см	1,00

Результаты расчёта конструкции по критериям сопротивления при изгибе и сдвигоустойчивости основания, подстилающего плиты сборных покрытий, отображаются в области формирования конструкции в столбцах **Изгиб** и **Сдвиг** и на вкладке **Свойства варианта** в группах **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе** и **Результаты расчёта на сдвигоустойчивость > Расчёт основания**.

Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды
Общая цена варианта = 2 500 300,00 ₽ на всём участке проектирования (10,00 × 1000 = 10 000 м²)
Результаты расчёта на сдвигоустойчивость
Расчёт основания
Сдвигоустойчивость
Запас прочности Qдоп-Qрасч = 0,23 МПа
Дополнительный слой основания
Грунт земляного полотна
Результаты расчёта на сопротивление при изгибе
Покрытие
Прочность материала при изгибе Rn = 25,787 МПа
Изгибающий момент по краю плит в продольном направлении Мкр(x) = 23,27 кН·м
Изгибающий момент по краю плит в поперечном направлении Мкр(y) = 25,65 кН·м
Изгибающий момент в центре плиты Мц(x) = 7,97 кН·м
Изгибающий момент в центре плиты Мц(y) = 10,35 кН·м

В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Сдвиг** в слое основания, подстилающего покрытие из сборных бетонных плит, помимо модуля упругости слоя отображается запас прочности слоя в МПа относительно допустимого

значения. В столбце **Изгиб** в конструктивном слое из бетонных плит представлен минимальный коэффициент запаса прочности рассчитанных значений изгибающих моментов по краям и в центре относительно упругой характеристики плиты (если включена опция **Сравнивать расчётные моменты сил с минимальными значениями** в свойствах варианта). В случае если коэффициенты запаса при расчёте по критериям на сдвиг и изгиб положительные, отображаются значки и соответственно, если отрицательные — и .

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Покрытие	Плита железобетонная напряжённая, изготавливаемая в форме с откидными бортами...	h = 20 см (10...50)		$E_{упр}$ = 32000 МПа	$E_{сдв}$ = 1600 МПа	$E_{изг}$ = 32000 МПа Запас = 1%
Выравнивающий слой	Гравийно-песчаная смесь, обработанная жидкими органическими вяжущими	h = 5 см (0, 5...100)				
Основание	Смеси гравийные с непрерыв... гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований)	h = 35 см (8...40)	$E_э$ = 70 МПа	$E_{упр}$ = 220 МПа	$E_{сдв}$ = 220 МПа Запас = 0,230...	$E_{изг}$ = 220 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции...	h = 44 см (10...80)	$E_э$ = 48 МПа	$E_{упр}$ = 120 МПа	$E_{сдв}$ = 120 МПа Запас = 83%	$E_{изг}$ = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Суглинок лёгкий		$E_{пов}$ = 33 МПа	$E_{упр}$ = 33 МПа	$E_{сдв}$ = 33 МПа Запас = 15%	$E_{изг}$ = 33 МПа

7.3. Расчёт конструкции на цементобетонном основании

Для определения прочностных характеристик конструкции с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании рассчитывают сопротивление слоёв усталостному разрушению от растяжения при изгибе. В процессе выполнения расчёта решаются две задачи: определение прочности основания и вычисление необходимой толщины асфальтобетонного покрытия, защищающего цементобетонное основание.

Рассмотрим поэтапно произведение расчёта, задав сначала параметры для определения прочности цементобетонного основания и для расчёта асфальтобетонного покрытия.

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Сопротивление при изгибе** или откройте вкладку **Свойства проекта** и в группе **Общие параметры** проекта в критериях расчёта установите флаг **Расчёт на сопротивление при изгибе**.

2. На вкладке **Свойства проекта** задайте следующие параметры.

   - В поле **Амплитуда колебания температуры на поверхности покрытия** в группе **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** задайте значение перепада температуры в течение суток на поверхности асфальтобетонного покрытия, указанное в п. 4.11 «Методических рекомендаций по проектированию жёстких дорожных одежд» согласно району проектирования. Данный параметр используется для расчёта перепада температур по толщине цементобетонного слоя.

   - Укажите группу расчётной нагрузки в свойствах проекта в поле **Расчётная нагрузка > Давление колеса на дорогу**. Если необходимо задать нестандартные параметры из выпадающего списка, выберите **Явное задание** и введите значения в поля **Давление в шине p** и **Статическая нагрузка от колеса на поверхность**.

   - В поле **Число приложений расчётной нагрузки ∑Np** из выпадающего списка необходимо выбрать **Расчёт по условиям движения**, так как для расчёта толщины асфальтобетона требуется задать приведённую перспективную интенсивность Np. Этот параметр влияет на расчёт коэффициента усталости Kуа, учитывающего многократное приложение нагрузки в течение суток. Если приведённая интенсивность не задана, то расчёт будет произведён некорректно.

3. Выделите вариант дорожной одежды в области формирования конструкции и в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** в группе **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** задайте сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона Ca в соответствующем поле. При отсутствии гарантированного сцепления принимается Ca = 0. В поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах** определите, имеет ли конструкция штыревые соединения. В поле **Коэффициент Пуассона основания** задайте коэффициент Пуассона основания μ0 для расчёта упругой характеристики плиты.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона, 10^{-3}МПа	0,20
Наличие штыревых соединений в поперечных швах	☑
Коэффициент Пуассона основания	0,30

4. Если в конструкции присутствуют материалы с пользовательскими характеристиками, задайте для них модули упругости. Для всех слоёв укажите предварительную толщину.

5. Если слой цементобетонного основания задан как материал с пользовательскими характеристиками, в свойствах слоя в группе **Свойства материала** укажите нижеперечисленные параметры.

   - В поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе** укажите класс бетона по прочности Btb.

Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	2,40
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	☑
μ (коэффициент Пуассона)	0,20
α (коэффициент температурной деформации бетона), 0,00001 °C	1,00

   - Выберите в поле **Тип твердения бетона** один из способов твердения. При выборе пункта **Естественного твердения** коэффициент набора прочности бетона КНП = 1,2; пункта **Пропаренный** — КНП = 1,0.

   - Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле **μ (коэффициент Пуассона)**.

   - В поле **α (коэффициент температурной деформации бетона)** задайте коэффициент линейной деформации, влияющий на расчёт напряжения σt от перепада температур по толщине слоя.

   - В поле **Модуль упругости E** отображается модуль упругости материала, определённый в библиотеке материалов. При необходимости измените его.

Если слой асфальтобетона задан как материал с пользовательскими характеристиками, в свойствах слоя в группе **Свойства материала** задайте следующие параметры.

- Сопротивление асфальтобетона на растяжение при изгибе определите в поле **Нормативное сопротивление (жёсткое основание) Rd**.

Изгиб	
Нормативное сопротивление весной R0, МПа	9,80
Модуль упругости Eрасч, изгиб, МПа	6 000,00
μa (коэффициент Пуассона)	0,30
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) Rd МПа	2,00
Фактический коэффициент вязкого сопротивления hф, МПа*с	100

- В поле **μa (коэффициент Пуассона)** задайте коэффициент Пуассона асфальтобетона.

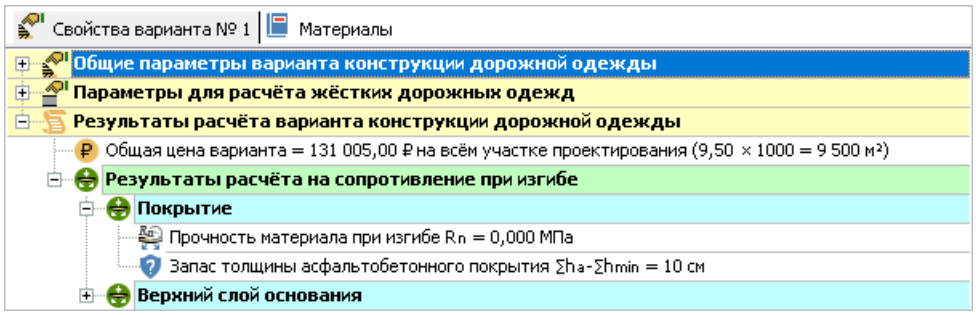
Результаты расчёта слоя монолитного цементобетона на сопротивление при изгибе отображаются в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Изгиб** и в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**.

В столбце **Изгиб** для слоя асфальтобетона отображается минимально допустимая толщина и запас толщины слоя. Если монолитное покрытие состоит из нескольких слоёв асфальтобетона, то его минимально допустимая толщина и запас толщины отображаются для нижнего слоя покрытия, а для остальных слоёв асфальтобетона выводится модуль упругости при расчёте на изгиб.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Покрытие	Асфальтобетон горячей укладки высокоплотный марка битума БНД/БН-60/90	h = 13 см (3...15)		Eупр = 4500 МПа	Eсдв = 1100 МПа	hmin = 3 см Запас = 10 см
Верхний слой основания	Тяжёлый бетон класса B tb 2.4	h = 16 см (10...50)		Eупр = 26000 МПа	Eсдв = 1310 МПа	Eизг = 26000 МПа Запас = 2%
Нижний слой основания	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и крупнообломочные грунты	h = 30 см (8...40)	Eэ = 218 МПа	Eупр = 800 МПа	Eсдв = 800 МПа	Eизг = 800 МПа
Грунт земляного полотна	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%		Eпов = 100 МПа	Eупр = 100 МПа	Eсдв = 100 МПа Запас = 36%	Eизг = 100 МПа

Если текущая толщина слоя асфальтобетона (или сумма толщин нескольких слоёв) больше минимально допустимой толщины слоя (или суммы минимально допустимых толщин слоёв), то в слое покрытия отображается значок , в противном случае отображается значок .

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте на сопротивление при изгибе отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**, в которой содержатся расчётные параметры монолитного покрытия.



8. Анализ и оптимизация конструкции дорожной одежды

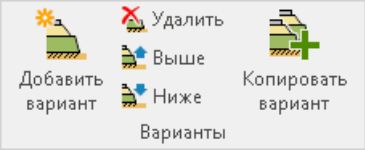
В рамках одного проекта IndorPavement можно создавать неограниченное количество вариантов конструкции дорожной одежды, что позволяет осуществить технико-экономический анализ и упрощает выбор наилучшего решения.

Для определения оптимального решения также можно воспользоваться специальным функционалом ⚖️ **Оптимизация толщин**, который позволяет варьировать толщины слоёв в автоматическом режиме по заданным критериям: цена, прочность, толщина и пр.

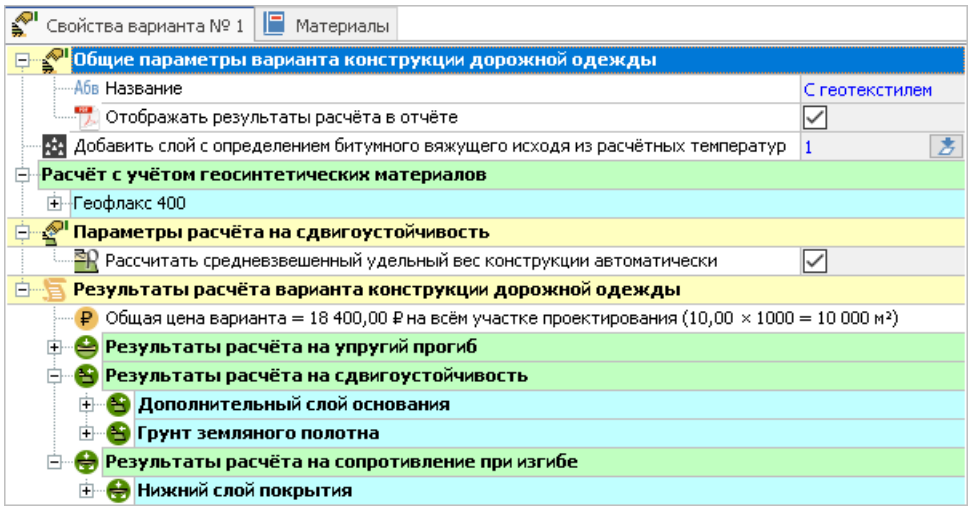
8.1. Работа с вариантами

В системе IndorPavement можно создавать сколько угодно вариантов конструкции для дальнейшей их оценки и выбора оптимального варианта. Оцениваемая конструкция дорожной одежды и все её альтернативные варианты могут располагаться в одном проекте. Каждый вариант может иметь любое количество конструктивных слоёв.

Команды для работы с вариантами конструкции доступны в группе **Варианты** на вкладке **Главная**.



Один из вариантов конструкции является активным, что отображается рядом с его названием в скобках. В каждый момент времени активным может быть только один вариант конструкции. С ним можно совершать различные операции (копирование, удаление, перемещение). Параметры активного варианта отображаются в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** и представляют собой общие параметры варианта и информацию о расчёте конструкции дорожной одежды по заданным критериям для этого варианта.



Чтобы сделать вариант активным, выделите поле с его названием в области формирования конструкции дорожной одежды.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Вариант № 1				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 70/100, с	h = 6 см (5...20)	Eов = 541 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 26%
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с	h = 10 см (5...100)	Eов = 423 МПа	Eупр = 3000 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-песчаные смеси, обработанные цементом (ГОСТ 23558),	h = 22 см (5...100)	Eов = 251 МПа	Eупр = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционированный 31,5..45 (45..63) мм	h = 15 см (8...40)	Eов = 126 МПа	Eупр = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупнос... с содержанием пылевато-глинистой	h = 20 см (10...80)	Eов = 76 МПа	Eупр = 120 МПа
Вариант № 2 (активный)				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 70/100, с	h = 8 см (5...20)	Eов = 684 МПа	Eупр = 4150 МПа Запас = 58%
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон на битумном вяжущем марки БНД 100/130, с	h = 12 см (5...100)	Eов = 480 МПа	Eупр = 3000 МПа
Верхний слой основания	Щебёночно-песчаные смеси, обработанные цементом (ГОСТ 23558),	h = 22 см (5...100)	Eов = 251 МПа	Eупр = 600 МПа
Нижний слой основания	Щебень фракционированный 31,5..45 (45..63) мм	h = 15 см (8...40)	Eов = 126 МПа	Eупр = 350 МПа
Дополнительный слой основания	Песок средней крупнос... с содержанием пылевато-глинистой	h = 20 см (10...80)	Eов = 76 МПа	Eупр = 120 МПа
Грунт земляного плотна	Супесь лёгкая		Eов = 53 МПа	Eупр = 53 МПа

Чтобы добавить пустой вариант конструкции дорожной одежды, не содержащий конструктивных слоёв, нажмите кнопку **Главная > Варианты > Добавить вариант**. Новый вариант становится активным.

Действия с вариантами

Чтобы создать копию варианта конструкции дорожной одежды, выделите его в области формирования конструкции и нажмите кнопку **Главная > Варианты > Копировать вариант**.

При создании варианту по умолчанию присваивается название вида **Вариант №...** Чтобы его изменить, введите новое наименование на вкладке **Свойства варианта** в поле **Название**.

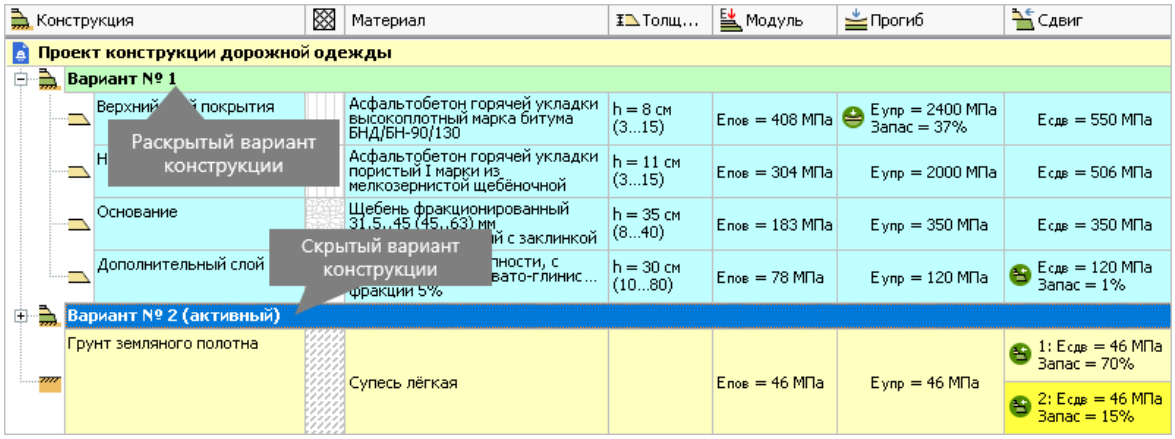
Вариант дорожной одежды можно перемещать в области формирования конструкции дорожной одежды. Так, например, наиболее перспективные варианты можно разместить выше по списку, а менее перспективные — ниже. Чтобы переместить активный вариант на одну позицию выше, нажмите кнопку **Главная > Варианты > Выше**. Аналогично можно переместить активный вариант конструкции дорожной одежды ниже, нажав кнопку **Ниже**.

ЗАМЕЧАНИЕ. Порядок расположения вариантов в отчётной документации (в чертеже, кратком отчёте и расшифровке расчёта) соответствует порядку расположения вариантов в области формирования конструкции дорожной одежды.

Для удаления варианта конструкции дорожной одежды сделайте его активным в области формирования и нажмите кнопку **Главная > Варианты > Удалить**.

Свойства варианта

В области формирования конструкции дорожной одежды конструктивные слои располагаются в секции варианта. Если в данный момент вариант конструкции не используется, то его слои можно скрыть, нажав кнопку . Для обратной операции нажмите кнопку .



ЗАМЕЧАНИЕ. Грунт земляного полотна представляет собой отдельный слой с неопределённой толщиной, не принадлежащий ни одному из вариантов, а относящийся ко всему проекту дорожной одежды.

При выделении варианта в области формирования конструкции дорожной одежды его параметры отображаются в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта**.

В группе **Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды** отображается название варианта, опция **Отображать результаты расчёта в отчёте**, а также команда добавления конструктивного слоя с определением битумного вяжущего исходя из расчётных температур слоя. По умолчанию все варианты отображаются в кратком и детальном отчётах, но если для какого-либо из вариантов это не нужно или вы не хотите перегружать отчёт, опцию можно отключить.

Группа **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** объединяет параметры, влияющие на расчётные характеристики конструкции жёсткой дорожной одежды, и появляется только при наличии в конструкции материалов жёстких дорожных одежд.

- Если конструкция дорожной одежды содержит монолитный цементобетон в качестве покрытия, то в поле **Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий** необходимо выбрать схему расчёта.

  При выборе первой схемы доступны следующие параметры:

  - Для учёта в проектируемой конструкции штыревых соединений в поперечных швах установите опцию **Наличие штыревых соединений в поперечных швах**.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий	1
Наличие штыревых соединений в поперечных швах	☑
Коэффициент Пуассона основания	0,30

  - Коэффициент Пуассона для расчёта упругой характеристики основания можно задать в поле **Коэффициент Пуассона основания**.

  Если установлена вторая расчётная схема, то нужно указать ожидаемую просадку основания в поле **Ожидаемая просадка основания**.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий	2
Ожидаемая просадка основания, см	10,00

- Если конструкция дорожной одежды содержит монолитный цементобетон в качестве слоя основания асфальтобетонного покрытия, то нужно задать значение параметра в поле **Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона**.

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона, 10^{-3}МПа	1,00
Наличие штыревых соединений в поперечных швах	☑
Коэффициент Пуассона основания	0,30

- Если конструкция дорожной одежды содержит в качестве покрытия сборные плиты, то нужно в зависимости от требований к расчёту включить/выключить следующие опции:

  - **Рассчитать продольное армирование** — позволяет произвести расчёт продольной арматуры: количества стержней и расстояния между ними.

- **Сравнивать расчётные моменты сил с минимальными значениями** — при включении данной опции производится расчёт изгибающих моментов сил без сравнения их с моментом сопротивления плиты и определения запаса прочности изгиба плиты.

При расчёте конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость в свойствах варианта появляется дополнительная группа **Параметры расчёта на морозоустойчивость**. Данная группа содержит вычисляемые значения коэффициента Кугв и уровня грунтовых вод от низа дорожной одежды.

Параметры расчёта на морозоустойчивость	
Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды), м	1,00
Кугв (коэффициент учёта уровня грунтовых вод)	0,79

Если в конструкции дорожной одежды используются геосинтетические материалы, то в свойствах варианта доступна дополнительная группа параметров **Расчёт с учётом геосинтетических материалов**. Здесь можно выбрать методику учёта геосинтетики в зависимости от типа применяемого материала. Эта группа дублируется в свойствах слоя, в который внесена геосинтетика.

При расчёте конструкции дорожной одежды на сдвигоустойчивость в свойствах варианта появляется дополнительная группа **Параметры расчёта на сдвигоустойчивость**. В ней по умолчанию установлена опция **Рассчитать средневзвешенный удельный вес конструкции автоматически**. При установке этой опции этот параметр вычисляется из указанных плотностей материалов слоёв. При отключении данной опции средневзвешенный удельный вес конструкции принимается равным 0,002.

Если для дорожной одежды производится расчёт толщины дренирующего слоя, то в свойствах варианта доступна дополнительная группа параметров **Параметры расчёта дренирующего слоя**. В данной группе можно определить длину пути фильтрации одним из двух способов: автоматически с использованием данных проекта (ширина проезжей части, заложение откоса и пр.) или в явном виде, задав значение вручную.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Способ определения длины пути фильтрации	Автоматический расчёт
Длина пути фильтрации L, м	7,29

В группе **Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды** отображаются расчётные параметры указанных в проекте критериев расчёта и расчётная цена варианта. Если конструкция не удовлетворяет какому-либо критерию расчёта, то запас, иллюстрирующий результат расчёта, выделяется красным цветом.

8.2. Технико-экономический анализ вариантов

Для оценки стоимости вариантов конструкции дорожной одежды необходимо указать геометрические параметры проектируемого участка дороги. В свойствах проекта в группе **Параметры дороги** должны быть заданы **Длина участка проектирования** и **Ширина участка проектирования**.

Параметры дороги	
Длина участка проектирования, м	750
Ширина участка проектирования, м	12,00

Каждый конструктивный слой дорожной одежды в свойствах слоя имеет группу **Параметры оптимизации**. Для осуществления оценки стоимости конструкции в данной группе нужно выбрать единицы измерения материалоёмкости (м3 или тонны) и задать удельную цену материала за выбранную единицу.

Параметры оптимизации	
Единица измерения материалоёмкости	т
Удельная цена, /т	1 700,00

Если в конструкции дорожной одежды используются геосинтетические материалы, их стоимость также может быть указана и учтена в оценке. Для внесения этих данных нужно открыть свойства слоя, в который добавлена геосинтетика, и в группе **Параметры оптимизации** в подгруппе **Удельная цена геосинтетических прослоек на 1 м2 дороги** ввести стоимость. Обратите внимание, что задаётся цена не за 1 м2 геосинтетики, а общая цена материала, укладываемого в среднем на 1 м2 дороги. Это позволяет учесть ряд особенностей применения геосинтетики, например, в случае укладки не в один слой, а с подгибанием материала по краям или с оборачиванием конструктивного слоя сверху.

Параметры оптимизации	
Единица измерения материалоёмкости	м³
Удельная цена, /м³	600,00
Удельная цена геосинтетических прослоек на 1 м² дороги	
Геотекстиль тканый «ГЕОТКАН» 33/33, /м²	56,00

Суммарное количество материалов в указанных единицах и их стоимость на данном участке отображаются для всех вариантов конструкции, заданных в проекте, в таблице технико-экономического сравнения вариантов конструкции дорожной одежды в отчётной документации по проекту. Расход по всем материалам указывается для тех значений длины и ширины участка, которые были заданы в свойствах проекта. В таблице также представлена итоговая стоимость конструкции

дорожной одежды для каждого варианта, что позволяет легко произвести анализ и выбрать наиболее выгодное решение.

Технико-экономическое сравнение вариантов конструкции дорожной одежды

Наименование материала	Ед. изм.	Стоимость, ед. изм.,	Расход материалов на 750 п.м.							
			1 вариант		2 вариант		3 вариант		4 вариант	
			Количество	Стоимость,	Количество	Стоимость,	Количество	Стоимость,	Количество	Стоимость,
Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНД/БН-40/60	м²	2700	225	607500	—	—	375	1012500	—	—
Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из мелкозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-40/60	м²	1700	750	1275000	—	—	750	1275000	—	—
Готовые песчано-щебёночные смеси I класса прочности, укреплённые гранулированным шлаком в количестве 8-10% в сочетании с 5-7% портландцемента М-40 (смесь 2)	м²	650	1725	1121250	—	—	1350	877500	—	—
Супесь лёгкая крупная	м²	200	1875	375000	—	—	2250	450000	—	—
Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНД/БН-90/130	м²	2700	—	—	375	1012500	—	—	375	1012500
Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из мелкозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130	м²	1700	—	—	375	637500	—	—	750	1275000
Органоминеральные смеси, обработанные жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными (ГОСТ 30491)	м²	600	—	—	1125	675000	—	—	1500	900000
Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм легкоуплотняемый с заклинкой асфальтобетонной смесью	м²	500	—	—	3000	1500000	—	—	2250	1125000
Песок крупный, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	м²	350	—	—	1125	393750	—	—	1125	393750
Итоговая стоимость:	—	—	—	3378750	—	4218750	—	3615000	—	4706250

8.3. Оптимизация конструкции

Команда ⚖ **Оптимизация толщин** позволяет рассчитать характеристики прочности и стоимость вариантов конструкции в указанном диапазоне толщин слоёв с заданным шагом. Таким образом, среди возможных вариантов в итоговой таблице легко выбрать наиболее выгодное решение.

8.3.1. Настройка параметров оптимизации

Оптимизация конструкции дорожной одежды производится для всех вариантов проекта, которые удовлетворяют заданным критериям прочности. Перед тем как осуществить эту операцию, для каждого слоя нужно задать параметры, ограничивающие область поиска вариантов конструкции дорожной одежды. Они располагаются в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя** в группе **Параметры оптимизации**.

Параметры оптимизации	
Единица измерения материалоёмкости	м³
Удельная цена, /м³	985,00
Вариант без этого слоя	☐
Минимум, см	8,00
Максимум, см	40,00
Шаг перебора, см	6,00
Варианты толщин, см: 11, 17,..., 29, **35**	

Чтобы определить диапазон толщин слоя, участвующих в оптимизации, укажите значения в полях **Минимум** и **Максимум**.

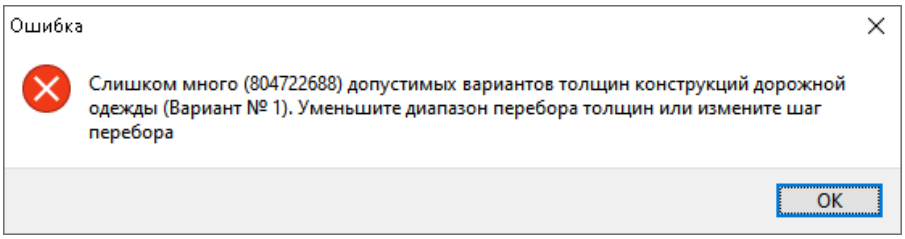
> **ЗАМЕЧАНИЕ.** Значение в поле **Минимум** не может быть меньше, чем значение, заданное в поле **Минимальная толщина слоя** для данного материала, а значение в поле **Максимум** не может превышать значение, заданное в поле **Максимальная толщина слоя**. Таким образом, значения, заданные в этих полях, определяют диапазон, ограничивающий возможные значения толщин слоя. Значения в полях **Минимальная толщина слоя** и **Максимальная толщина слоя** можно изменить в группе **Общие свойства** в свойствах материала и после этого внести изменения в параметры оптимизации.

Шаг перебора задаётся в поле **Шаг перебора**. В соответствии с этим значением определяются рассматриваемые толщины слоя в указанном диапазоне, причём таким образом, чтобы текущий вариант толщины слоя присутствовал в оптимизации. Например, если минимальная толщина слоя равна 5 см, максимальная — 30 см, шаг перебора равен 5, а текущая толщина слоя — 8 см, то будут рассмотрены следующие варианты: 8, 13, ..., 23, 28 см.

Просмотреть, какие варианты толщин будут участвовать в оптимизации, можно в поле **Варианты толщин**. Значение толщины текущего слоя выделено отдельным стилем.

Помимо этого, возможен поиск вариантов конструкции без учёта указанных слоёв. Для этого установите опцию **Вариант без этого слоя** для тех слоёв, которые не будут участвовать при расчёте оптимизации.

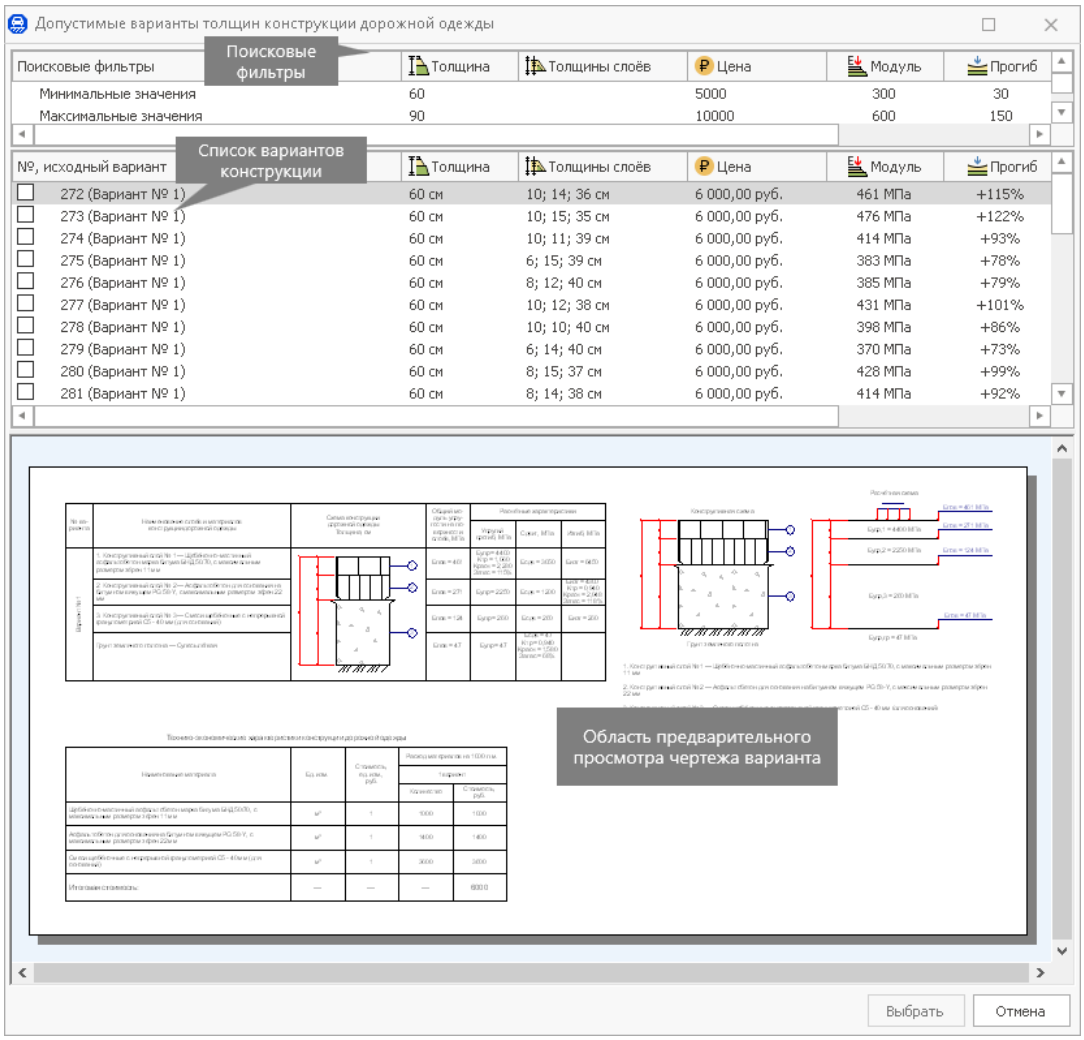
ЗАМЕЧАНИЕ. Оптимизация будет произведена только в том случае, если количество возможных вариантов суммарно будет меньше 10 000. Если их больше, то программа выводит ошибку с пояснением, что найдено слишком много допустимых вариантов конструкций дорожной одежды. В этом случае необходимо уменьшить диапазон толщин для оптимизации или изменить шаг перебора.



8.3.2. Анализ результатов оптимизации

После того как настройка параметров завершена, запустите процесс поиска вариантов толщин слоёв конструкции, нажав кнопку **Главная > Слои > Оптимизация толщин** или клавишу **F5**.

Откроется окно просмотра допустимых вариантов толщин конструкции. Рассмотрим элементы, из которых оно состоит.



- Элемент **Поисковые фильтры** расположен в верхней части окна. Здесь можно указать диапазон значения различных параметров, таких как суммарная толщина, цена и запасы прочности, для поиска наиболее подходящих вариантов.
- **Список вариантов конструкции**. Занимает центральную часть окна и содержит список допустимых вариантов конструкции дорожной одежды при оптимизации по толщинам слоёв, представленный в табличном виде. Строками являются варианты конструкции, а столбцы содержат информацию

о суммарной толщине конструктивных слоёв, толщине каждого слоя, цене и результатах расчёта (запасе прочности) по выбранным критериям.

- **Область предварительного просмотра чертежа варианта**. Располагается в нижней части окна и содержит чертёж выделенного варианта конструкции, представленный расчётной и конструктивной схемами. С помощью чертежа можно быстро оценить параметры варианта, полученные в результате расчёта по выбранным критериям. Таким образом, можно визуально оценить вариант, даже не добавляя его в проект.

Информация о возможных вариантах конструкции

Информация о возможных вариантах конструкции даёт возможность провести предварительную оценку и выбрать наиболее подходящий вариант. Ниже представлены данные, предоставляемые для анализа.

- **№, исходный вариант**. В этом столбце отображается порядковый номер сформированного варианта конструкции дорожной одежды. Если текущий вариант соответствует всем критериям расчёта, то он также присутствует в списке вариантов оптимизации и выделен флагом.

  Если в проекте сформировано несколько вариантов конструкции дорожной одежды, то оптимизация по толщине слоёв осуществляется для всех. В столбце **№, исходный вариант** в скобках будет указано название исходного варианта.

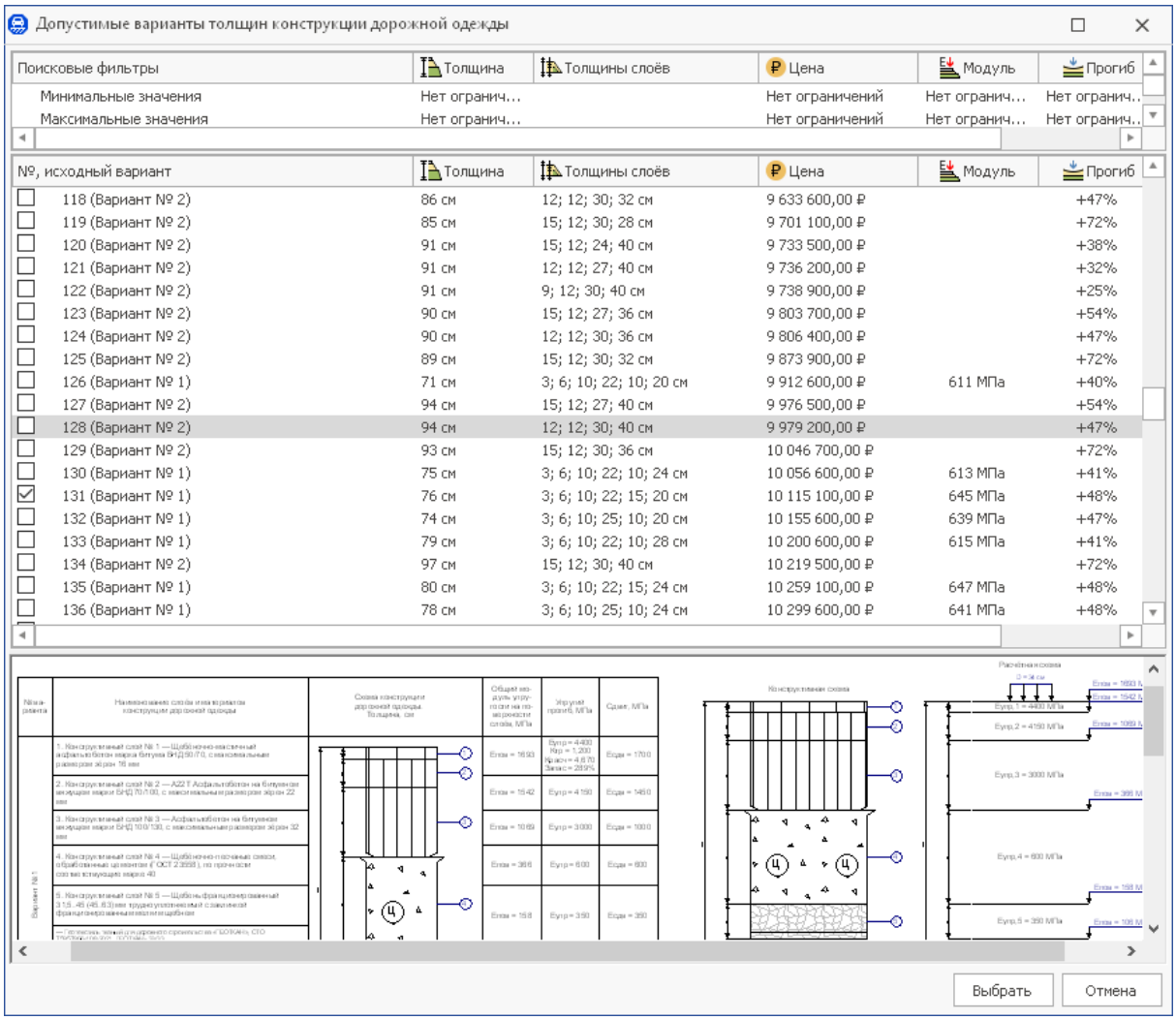
№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб
272 (Вариант № 1)	60 см	10; 14; 36 см	6 000,00 руб.	461 МПа	+115%
273 (Вариант № 1)	60 см	10; 15; 35 см	6 000,00 руб.	476 МПа	+122%
274 (Вариант № 1)	60 см	10; 11; 39 см	6 000,00 руб.	414 МПа	+93%
275 (Вариант № 1)	60 см	6; 15; 39 см	6 000,00 руб.	383 МПа	+78%
276 (Вариант № 1)	60 см	8; 12; 40 см	6 000,00 руб.	385 МПа	+79%
277 (Вариант № 1)	60 см	10; 12; 38 см	6 000,00 руб.	431 МПа	+101%
278 (Вариант № 1)	60 см	10; 10; 40 см	6 000,00 руб.	398 МПа	+86%
279 (Вариант № 1)	60 см	6; 14; 40 см	6 000,00 руб.	370 МПа	+73%
280 (Вариант № 1)	60 см	8; 15; 37 см	6 000,00 руб.	428 МПа	+99%
281 (Вариант № 1)	60 см	8; 14; 38 см	6 000,00 руб.	414 МПа	+92%
282 (Вариант № 1)	60 см	8; 13; 39 см	6 000,00 руб.	399 МПа	+86%
283 (Вариант № 1)	60 см	10; 13; 37 см	6 000,00 руб.	446 МПа	+108%
284 (Вариант № 1)	61 см	10; 13; 38 см	6 100,00 руб.	449 МПа	+109%
285 (Вариант № 1)	61 см	8; 13; 40 см	6 100,00 руб.	402 МПа	+88%
286 (Вариант № 1)	61 см	10; 15; 36 см	6 100,00 руб.	479 МПа	+124%
287 (Вариант № 1)	61 см	8; 15; 38 см	6 100,00 руб.	431 МПа	+101%

Оптимизация нескольких вариантов

- **Толщина**. В этом столбце отображается суммарное значение толщины конструкции дорожной одежды.

- **Толщины слоёв**. Этот столбец содержит список толщин конструктивных слоёв. Первое значение соответствует верхнему слою покрытия, последнее — самому нижнему слою основания. Значения представлены в сантиметрах.

- **Цена**. В этом столбце отображается общая цена конструкции, рассчитываемая как сумма произведений объёмов слоёв на их цены. Единицы измерения задаются в свойствах проекта в поле Единица стоимости конструкции.
- **Модуль**. В этом столбце отображается значение поверхностного модуля упругости, рассчитанное для верхнего слоя покрытия конструкции дорожной одежды с учётом всех нижележащих слоёв. Для конструкций жёстких дорожных одежд данный параметр не актуален и не отображается. В случае оптимизации нескольких вариантов, один из которых формирует конструкцию жёсткой дорожной одежды, а другой — нежёсткой, поле остаётся пустым, если данные не актуальны.



- **Прогиб**. Этот столбец содержит значение запаса прочности конструкции при расчёте по критерию упругого прогиба, иллюстрирующее результат этого расчёта в процентном соотношении. Для конструкций жёстких дорожных одежд данный параметр, как и поверхностный модуль упругости, отсутствует.

- **Сдвиг**. Этот столбец содержит значение запаса прочности конструкции при расчёте по критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке, иллюстрирующее результат этого расчёта в процентном соотношении. Если расчёт на сдвигоустойчивость проводится не только в грунте земляного полотна, но и в слабосвязных слоях основания, то в столбце будет отображаться минимальный из рассчитанных запас прочности.
- **Изгиб**. В этом столбце отображается значение запаса прочности конструкции при расчёте на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе, иллюстрирующее результат этого расчёта в процентном соотношении. При оптимизации конструкции жёсткой дорожной одежды с монолитным цементобетоном в столбце **Изгиб** отображается запас прочности цементобетонного слоя в сантиметрах.
- **Стат. нагрузка**. Этот столбец аналогичен столбцу **Сдвиг**. Разница заключается в том, что конструкция рассчитывается по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке.
- **Мороз**. В этом столбце отображается запас толщины морозозащитного слоя.
- **Дренаж**. В этом столбце отображается запас толщины дренирующего слоя.

Сортировка вариантов

При оптимизации конструкции дорожной одежды список допустимых вариантов упорядочен по возрастанию цены. Список вариантов можно отсортировать по любому другому столбцу, нажав на поле его заголовка.

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб
108 (Вариант № 1)	97 см	5; 9; 10; 25; 20; 28 см	12 943 800,00 ₽	899 МПа	+107%
107 (Вариант № 1)	93 см	5; 9; 10; 25; 20; 24 см	12 799 800,00 ₽	898 МПа	+106%
104 (Вариант № 1)	89 см	5; 9; 10; 25; 20; 20 см	12 655 800,00 ₽	896 МПа	+106%
105 (Вариант № 1)	94 см	5; 9; 10; 22; 20; 28 см	12 700 800,00 ₽	872 МПа	+100%
102 (Вариант № 1)	90 см	5; 9; 10; 22; 20; 24 см	12 556 800,00 ₽	871 МПа	+100%
97 (Вариант № 1)	86 см	5; 9; 10; 22; 20; 20 см	12 412 800,00 ₽	869 МПа	+100%
106 (Вариант № 1)	92 см	5; 9; 10; 25; 15; 28 см	12 741 300,00 ₽	869 МПа	+99%
103 (Вариант № 1)	88 см	5; 9; 10; 25; 15; 24 см	12 597 300,00 ₽	868 МПа	+99%
99 (Вариант № 1)	84 см	5; 9; 10; 25; 15; 20 см	12 453 300,00 ₽	866 МПа	+99%
98 (Вариант № 1)	96 см	4; 9; 10; 25; 20; 28 см	12 447 000,00 ₽	860 МПа	+98%
94 (Вариант № 1)	92 см	4; 9; 10; 25; 20; 24 см	12 303 000,00 ₽	859 МПа	+98%
88 (Вариант № 1)	88 см	4; 9; 10; 25; 20; 20 см	12 159 000,00 ₽	857 МПа	+97%
100 (Вариант № 1)	89 см	5; 9; 10; 22; 15; 28 см	12 498 300,00 ₽	844 МПа	+94%
95 (Вариант № 1)	85 см	5; 9; 10; 22; 15; 24 см	12 354 300,00 ₽	843 МПа	+93%
90 (Вариант № 1)	81 см	5; 9; 10; 22; 15; 20 см	12 210 300,00 ₽	841 МПа	+93%
101 (Вариант № 1)	87 см	5; 9; 10; 25; 10; 28 см	12 538 800,00 ₽	838 МПа	+93%
96 (Вариант № 1)	83 см	5; 9; 10; 25; 10; 24 см	12 394 800,00 ₽	836 МПа	+93%
92 (Вариант № 1)	79 см	5; 9; 10; 25; 10; 20 см	12 250 800,00 ₽	834 МПа	+92%
89 (Вариант № 1)	93 см	4; 9; 10; 22; 20; 28 см	12 204 000,00 ₽	833 МПа	+92%

При упорядочивании по столбцам **№, исходный вариант**, **Толщина**, **Толщины слоёв**, **Цена** варианты конструкции отображаются в порядке возрастания

значений, по всем остальным столбцам (**Модуль**, **Прогиб**, **Сдвиг**, **Изгиб**, **Стат. нагрузка**, **Мороз**, **Дренаж**) — в порядке убывания значений.

Использование фильтров

В верхней части окна просмотра результатов оптимизации отображаются фильтры поиска. С их помощью возможно задать критерии поиска и тем самым уменьшить количество подходящих вариантов конструкции. Например, можно задать максимально допустимую толщину всей конструкции и минимально допустимый поверхностный модуль упругости, определяющий прочность дорожной одежды.

Поисковые фильтры	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб
Минимальные значения	80		10000000	560	30
Максимальные значения	90		11000000	10000	80

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб
26 (Вариант № 1)	80 см	3; 6; 10; 22; 15; 24 см	10 259 100,00 ₽	647 МПа	+48%
32 (Вариант № 1)	81 см	3; 6; 10; 22; 20; 20 см	10 317 600,00 ₽	670 МПа	+54%
43 (Вариант № 1)	84 см	3; 6; 10; 22; 15; 28 см	10 403 100,00 ₽	648 МПа	+49%
55 (Вариант № 1)	82 см	3; 6; 10; 25; 10; 28 см	10 443 600,00 ₽	642 МПа	+48%
56 (Вариант № 1)	85 см	3; 6; 10; 22; 20; 24 см	10 461 600,00 ₽	672 МПа	+54%
62 (Вариант № 1)	83 см	3; 6; 10; 25; 15; 24 см	10 502 100,00 ₽	668 МПа	+53%
71 (Вариант № 1)	84 см	3; 6; 10; 25; 20; 20 см	10 560 600,00 ₽	692 МПа	+59%
85 (Вариант № 1)	89 см	3; 6; 10; 22; 20; 28 см	10 605 600,00 ₽	673 МПа	+54%
87 (Вариант № 1)	87 см	3; 6; 10; 25; 15; 28 см	10 646 100,00 ₽	669 МПа	+53%
102 (Вариант № 1)	80 см	4; 6; 10; 22; 10; 28 см	10 697 400,00 ₽	639 МПа	+47%
103 (Вариант № 1)	88 см	3; 6; 10; 25; 20; 24 см	10 704 600,00 ₽	694 МПа	+59%
112 (Вариант № 1)	81 см	4; 6; 10; 22; 15; 24 см	10 755 900,00 ₽	672 МПа	+54%
119 (Вариант № 1)	82 см	4; 6; 10; 22; 20; 20 см	10 814 400,00 ₽	697 МПа	+60%
132 (Вариант № 1)	80 см	4; 6; 10; 25; 15; 20 см	10 854 900,00 ₽	693 МПа	+59%
136 (Вариант № 1)	85 см	4; 6; 10; 22; 15; 28 см	10 899 900,00 ₽	673 МПа	+54%
146 (Вариант № 1)	83 см	4; 6; 10; 25; 10; 28 см	10 940 400,00 ₽	667 МПа	+53%
147 (Вариант № 1)	86 см	4; 6; 10; 22; 20; 24 см	10 958 400,00 ₽	699 МПа	+61%
154 (Вариант № 1)	84 см	4; 6; 10; 25; 15; 24 см	10 998 900,00 ₽	695 МПа	+60%

Добавление вариантов в проект

Наиболее перспективные варианты конструкции дорожной одежды можно добавить в проект, установив для них в столбце **№, исходный вариант** флаг ☑ и нажав кнопку **Выбрать**. Если принято решение не добавлять ни один из предложенных вариантов в проект, нажмите кнопку **Отмена**.

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
☑ 1 (Вариант № 1)	72 см	1; 9; 10; 22; 10; 20 см	794 000,00 ₽	683 МПа	+57%	+16%	+103%
2 (Вариант № 1)	72 см	1; 9; 10; 22; 10; 20 см	794 000,00 ₽	683 МПа	+57%	+16%	+103%
3 (Вариант № 1)	72 см	1; 6; 10; 25; 10; 20 см	794 000,00 ₽	600 МПа	+38%	+10%	+75%
☑ 4 (Вариант № 1)	72 см	1; 6; 10; 25; 10; 20 см	794 000,00 ₽	600 МПа	+38%	+10%	+75%
☑ 5 (Вариант № 1)	72 см	1; 9; 10; 22; 10; 20 см	794 000,00 ₽	683 МПа	+57%	+16%	+103%
6 (Вариант № 1)	72 см	1; 6; 10; 25; 10; 20 см	794 000,00 ₽	600 МПа	+38%	+10%	+75%
7 (Вариант № 1)	74 см	1; 6; 10; 22; 15; 20 см	794 200,00 ₽	606 МПа	+39%	+16%	+77%
8 (Вариант № 1)	74 см	1; 6; 10; 22; 15; 20 см	794 200,00 ₽	606 МПа	+39%	+16%	+77%
☑ 9 (Вариант № 1)	74 см	1; 6; 10; 22; 15; 20 см	794 200,00 ₽	606 МПа	+39%	+16%	+77%
10 (Вариант № 1)	75 см	1; 9; 10; 25; 10; 20 см	794 300,00 ₽	706 МПа	+63%	+31%	+108%
11 (Вариант № 1)	75 см	1; 9; 10; 25; 10; 20 см	794 300,00 ₽	706 МПа	+63%	+31%	+108%
12 (Вариант № 1)	75 см	1; 9; 10; 25; 10; 20 см	794 300,00 ₽	706 МПа	+63%	+31%	+108%
13 (Вариант № 1)	76 см	1; 9; 10; 22; 10; 24 см	794 400,00 ₽	685 МПа	+58%	+15%	+104%
14 (Вариант № 1)	76 см	1; 6; 10; 25; 10; 24 см	794 400,00 ₽	603 МПа	+38%	+8%	+76%
15 (Вариант № 1)	76 см	1; 9; 10; 22; 10; 24 см	794 400,00 ₽	685 МПа	+58%	+15%	+104%

Выбрать | Отмена

9. Формирование отчётной документации

В этой главе рассматриваются возможности формирования, печати и экспорта отчётной документации, представленной в системе IndorPavement в трёх видах: чертёж конструкции дорожной одежды, пояснительная записка (краткий отчёт по расчёту) и расшифровка расчёта (детальный отчёт) с описанием и ссылками на все применённые формулы и номограммы.

9.1. Подготовка чертежа

Чертёж конструкции автоматически формируется системой IndorPavement в процессе проектирования дорожной одежды и хранится в файле проекта. Область предварительного просмотра чертежа располагается в нижней части главного окна системы на вкладке **Чертёж**.

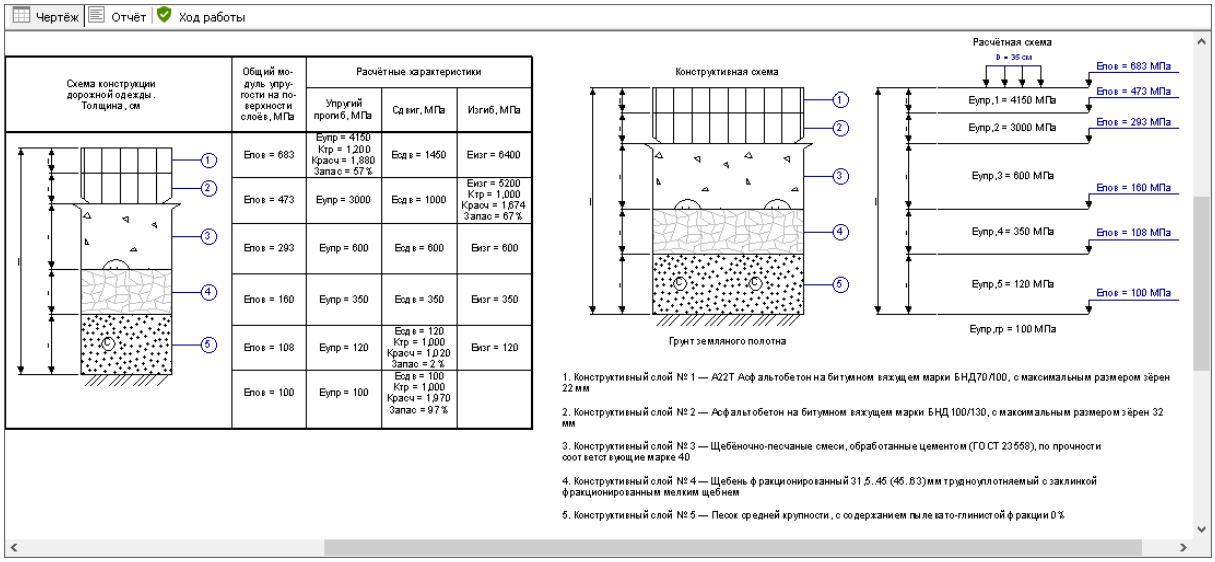


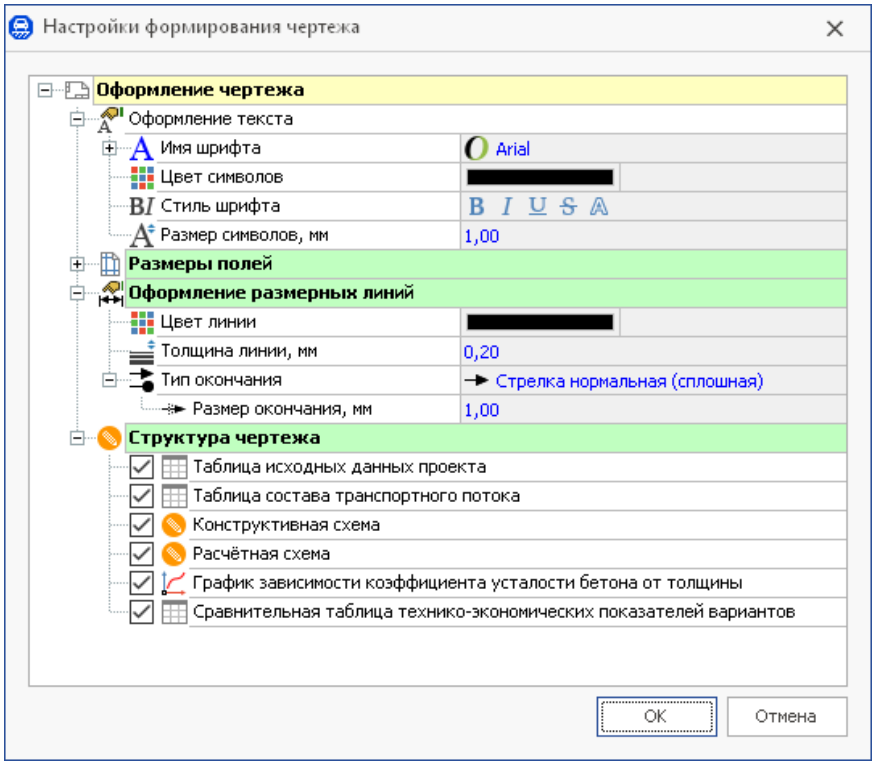
Чертёж может содержать расчётную и конструктивную схемы конструкции дорожной одежды, таблицу с исходными данными проекта (названием объекта и выполняемых расчётов, районом проектирования, категорией дороги и т.д.), таблицу состава транспортного потока, график зависимости коэффициента усталости бетона от толщины (для жёстких дорожных одежд), таблицу вариантов для технико-экономического сравнения. Содержание чертежа зависит от установленных настроек (см. Настройка параметров чертежа).

Каждый вариант конструкции дорожной одежды представлен в виде отдельной таблицы, что позволяет наглядно сравнивать варианты.

ЗАМЕЧАНИЕ. Чертёж имеет масштаб 1:500 и располагается, как правило, на листе нестандартного формата. Размер листа устанавливается таким образом, чтобы чертёж конструкции полностью поместился на листе.

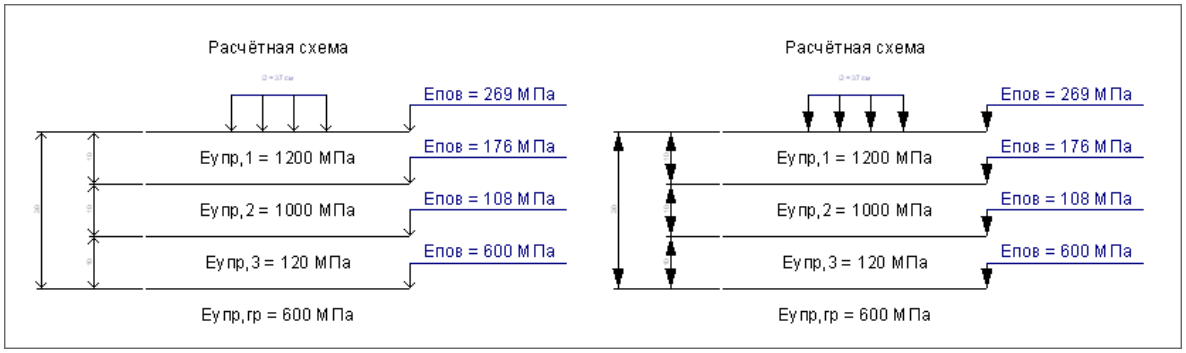
9.1.1. Настройка параметров чертежа

Некоторые параметры чертежа можно настроить вручную: оформление текстовых надписей, размерных линий и пр. Отдельно можно определить структуру чертежа, исключив, например, расчётную схему или таблицу вариантов для технико-экономического сравнения. Параметры чертежа настраиваются в специальном окне, открыть которое можно кнопкой **Чертёж и отчёт > Чертёж > Настройки**. Эти параметры представлены также в настройках системы (**Файл >Настройки**).



- **Оформление текста**. В окне **Настройки формирования чертежа** в группе **Оформление текста** можно изменить шрифт, которым выполняются надписи на чертеже, цвет символов, их размер. Также доступны настройки стиля шрифта: можно выбрать полужирный, курсив, подчёркнутый, зачёркнутый или контурный.
- **Оформление размерных линий**. В разделе **Оформление размерных линий** можно настроить толщину размерных линий, отображаемых на чертеже

(например, в расчётной схеме), а также тип засечек и их размер. Ниже показан пример нестандартного оформления засечек.



- **Определение структуры чертежа**. На чертёж опционально выводится следующая информация: исходные данные по проекту дорожной одежды, таблицы с расчётными параметрами различных вариантов дорожной одежды, расчётная и конструктивная схемы, наглядно отображающие состав дорожной одежды и послойный расчёт, а также таблица для проведения технико-экономического сравнения вариантов дорожной одежды. Содержание чертежа может варьироваться в зависимости от решения текущих задач. Чтобы вывести на чертёж определённые блоки информации, включите соответствующие опции в настройках чертежа в группе **Структура чертежа**.

Настройка отображения материалов на чертеже

При добавлении материала в конструкцию дорожной одежды он отображается на чертеже стилем, который определён для него в библиотеке материалов. Изменить стиль оформления материала возможно только после добавления его в конструкцию в свойствах слоя в группе **Отображение на чертеже**. В библиотеке материалов эту группу параметров можно редактировать только у материалов, добавленных пользователем.

Отображение материалов, формирующих конструктивные слои и геосинтетические прослойки, различно. Конструктивные слои являются отдельными слоями, в то время как геосинтетическая прослойка связана с каким-либо конструктивным слоем и отображается в IndorPavement внутри слоя, даже если предполагается, что геосинтетический материал подстилает конструктивный слой.

Отображение конструктивных слоёв и грунта земляного полотна

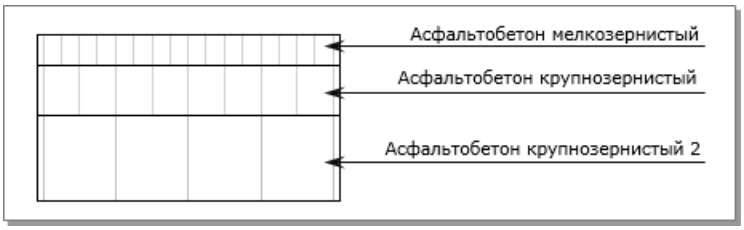
Для настройки отображения конструктивного слоя перейдите в свойства этого слоя в группу параметров **Свойства материала** в подгруппу **Отображение**

на чертеже. Возможно несколько вариантов отображения конструктивного слоя или грунта земляного полотна:

- **Заливка сплошным цветом**. Включите опцию **Фоновая закраска** и в появившемся поле **Цвет фона** выберите нужный цвет для отображения материала. Обратите внимание, если включена опция **Условные знаки**, то опция **Фоновая закраска** может быть недоступна (в случае знаков, для которых не предусмотрено оформление условными знаками с фоном).
- **Отображение условными знаками**. Опция **Условные знаки** всегда включена по умолчанию, но при необходимости выключить или включить её можно, соответственно убрав или установив флаг **Условные знаки**.
- В поле **Коллекция знаков** по умолчанию указан пункт **IndorSoft Topographic Fills**. В строке **Группа знаков** выберите пункт **Дорожная одежда по ГОСТ Р 21.1207–97** и в поле **Тип знака** выберите тип материала. Для выбранного условного знака дополнительно можно изменить цвет отображения (поле **Цвет знаков**), масштаб отображения (поле **Масштаб знаков**). Для красивого отображения условного знака в чертеже возможно задать смещение условного знака по горизонтали и вертикали (поле **Смещение по X и Y**).
- **Отображение условными знаками с фоном**. Практически для всех знаков доступно отображение условными знаками с назначением фонового цвета (опции **Условные знаки** и **Фоновая закраска**).

Если необходимо отключить отображение материала на чертеже, то отключите обе опции: **Условные знаки** и **Фоновая закраска**.

СОВЕТ. Если в конструкции используются разные типы асфальтобетонов, то для большего удобства в конструктивной схеме на чертеже их можно отобразить разными условными знаками. Например, для верхнего слоя пакета в поле **Тип знаков** можно назначить заливку **Асфальтобетон мелкозернистый**, для среднего слоя — **Асфальтобетон крупнозернистый**, а для нижнего слоя — **Асфальтобетон крупнозернистый 2**.



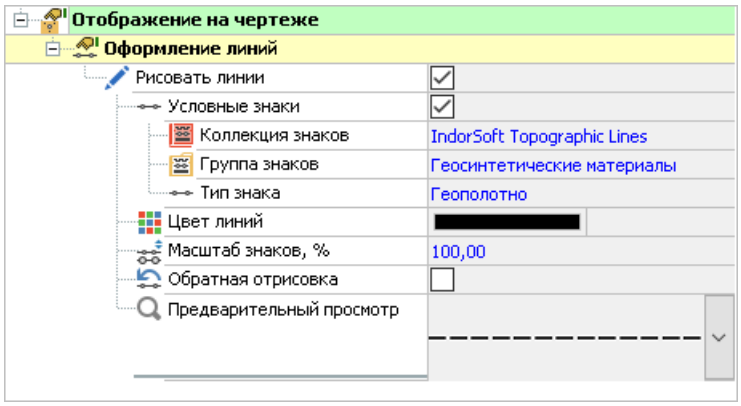
Отображение геосинтетических прослоек

На чертеже у каждого типа геосинтетического материала свой стиль отображения по умолчанию, но при необходимости можно настроить отображение геосинтетических прослоек самостоятельно. Настройки оформления линий расположены в группе **Свойства геосинтетической прослойки** в свойствах слоя, в котором находится геосинтетика. По умолчанию включены опции **Рисовать линии** и **Условные знаки**.

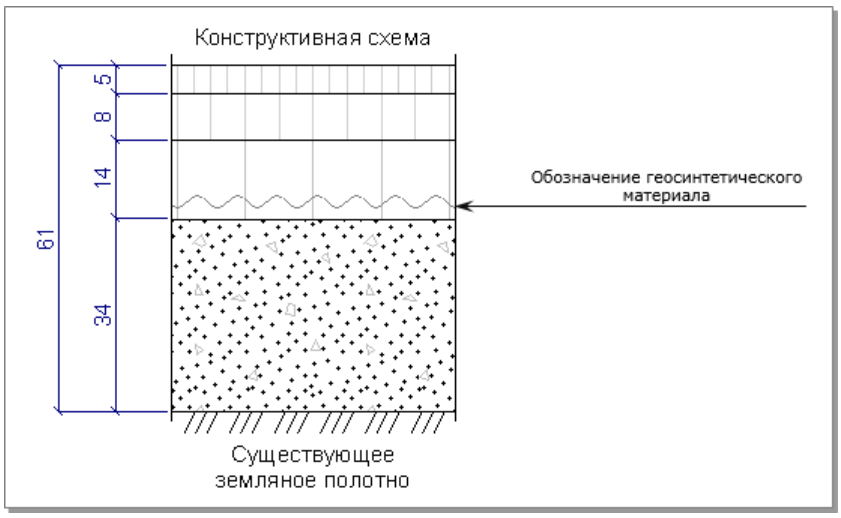
- **Рисовать линии**. Если данный флаг отключен, то геосинтетический материал на чертеже отсутствует. При включении он отображается на чертеже конструкции в виде линии. Если при этом отключен флаг **Условные знаки**, то геосинтетика представлена на чертеже сплошной линией. В таком случае можно настроить только её толщину и цвет.

- **Условные знаки**. Эта опция доступна только в том случае, если опция **Рисовать линии** включена. Для назначения стиля оформления линии включите опцию **Условные знаки**, в поле **Группа знаков** из выпадающего списка выберите группу знаков **Геосинтетические материалы**, а в поле **Тип знаков** — тип линии в соответствии с применяемым типом геосинтетики.

При необходимости можно изменить масштаб условного знака линии в поле **Масштаб знаков**, цвет — в поле **Цвет линии**, а также задать отрисовку в обратном порядке, установив флаг **Обратная отрисовка**.



В поле **Предварительный просмотр** отображается вид линии в соответствии с установленными параметрами оформления. При нажатии кнопки можно выбрать масштаб линии в поле просмотра: **4:1 Очень крупно**, **2:1 Крупно**, **1:1 Нормально**, **1:2 Мелко** или **1:4 Очень мелко**.

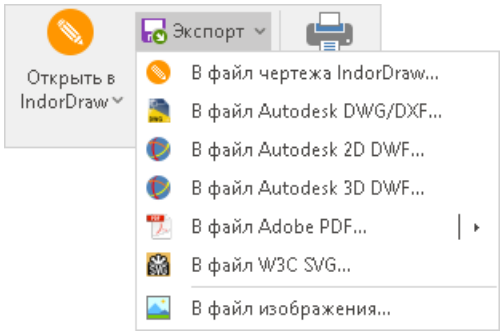


9.1.2. Экспорт чертежа

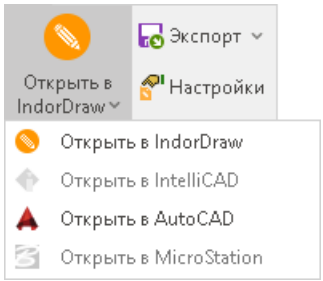
В системе IndorPavement возможен экспорт чертежей в следующие форматы:

- Растровые файлы: BMP, JPEG, GIF, TIFF, PNG, RST.
- Метафайлы: WMF, EMF.
- Файлы AutoCAD: DXF, DWG.
- Файлы Autodesk 2D и 3D: DWF.
- Файлы Adobe: PDF.
- Векторные форматы: RDW, SVG.

Команды экспорта доступны в группе **Чертёж и отчёт > Чертёж > Экспорт**.



Возможно открыть чертёж напрямую в таких системах, как IndorDraw, AutoCAD, IntelliCAD и MicroStation. Эти команды доступны в группе **Чертёж и отчёт > Чертёж > Открыть в...**

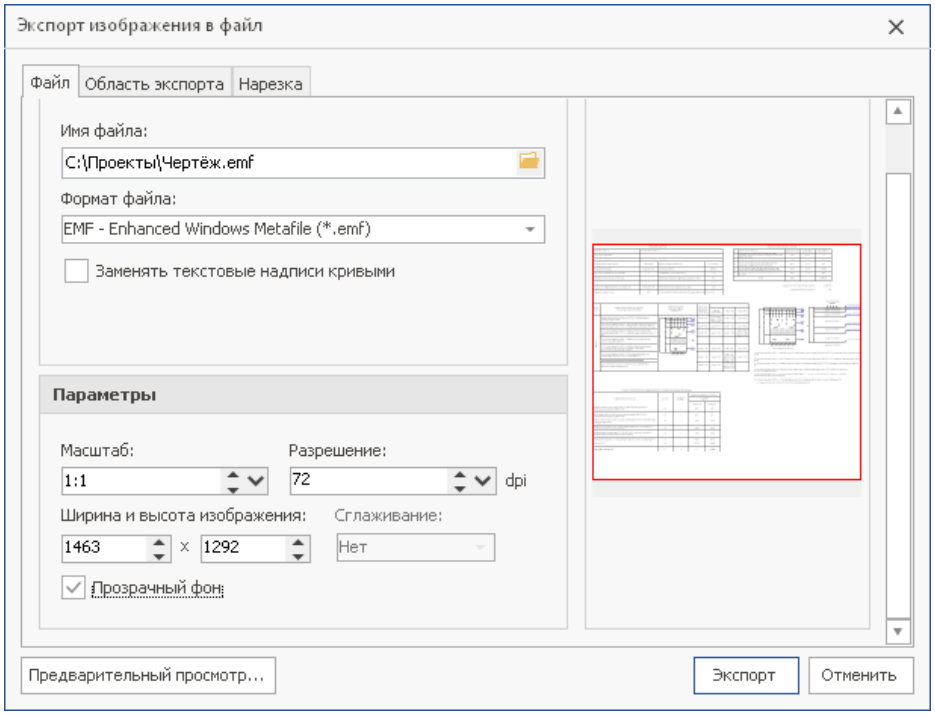


ЗАМЕЧАНИЕ. При использовании пробной или учебной версии системы кнопки экспорта в сторонние форматы недоступны. Однако для доработки чертежа можно экспортировать его в систему IndorDraw (кнопка **Чертёж и отчёт > Чертёж > Открыть в IndorDraw**).

Рассмотрим подробно экспорт в растровые форматы файлов. Чтобы настроить параметры экспорта чертежа в файл изображения, откройте диалоговое окно **Экспорт** и выберите пункт **В файл изображения...**

Окно экспорта изображения содержит три вкладки с настройками и область предварительного просмотра.

Файл. На этой вкладке необходимо указать имя файла, выбрать формат файла и задать специальные параметры выбранного формата (например, для формата JPEG — качество сжатия и признак того, что изображение должно быть экспортировано в оттенках серого, для векторного формата EMF — заменять ли текстовые надписи кривыми).



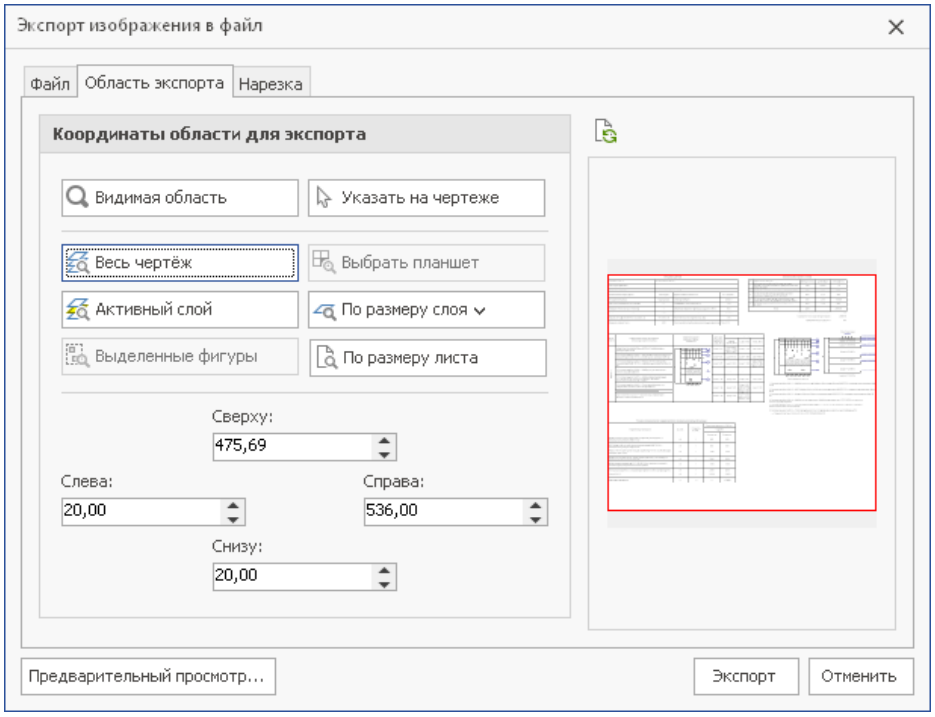
Ниже указываются размеры результирующего изображения: ширина и высота изображения, масштаб и разрешение изображения, а также способ сглаживания. Для векторных форматов можно установить прозрачный фон.

Область экспорта. На этой вкладке можно задать экспортируемую область чертежа, указав точные координаты области в полях **Слева**, **Сверху**, **Справа** и **Снизу**. При этом в качестве начала системы координат используется левый нижний угол листа.

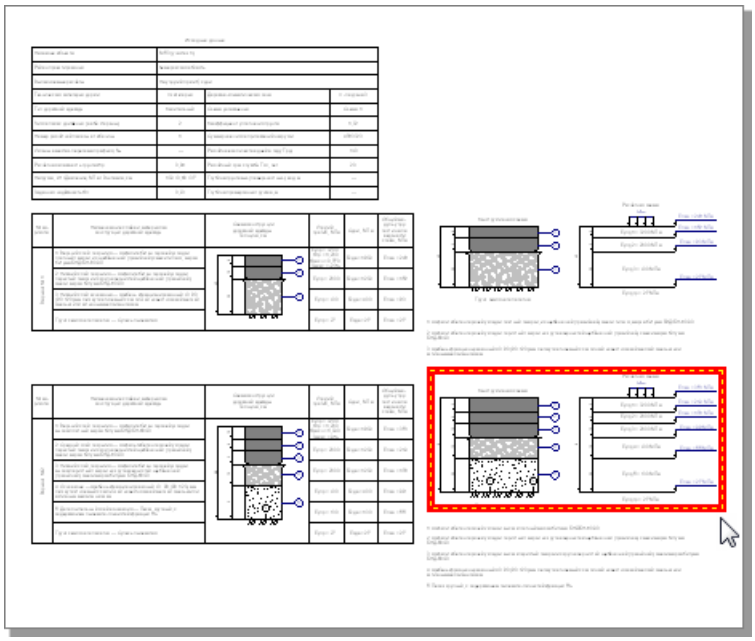
Кроме того, можно воспользоваться дополнительными командами.

- Кнопка **Видимая область** устанавливает координаты области экспорта по размеру видимой области.
- Кнопка **Весь чертёж** устанавливает координаты области по размеру, занимаемому всеми объектами чертежа.
- Кнопка **По размеру листа** устанавливает координаты области по размеру листа чертежа.

- **По размеру слоя**, соответственно, устанавливает координаты по размеру, занимаемому всеми объектами выбранного из списка слоя. Кнопка **Активный слой** устанавливает размер области экспорта в соответствии с размером, занимаемым всеми объектами активного слоя.



Также можно указать экспортируемую область на чертеже. Для этого нажмите кнопку **Указать на чертеже** и выделите рамкой нужный фрагмент чертежа.



Текущая экспортируемая область отображается в области предварительного просмотра справа.

Нарезка. На этой вкладке можно задать число фрагментов нарезки. Каждый фрагмент будет сохранён в отдельный файл. Например, если имя результирующего файла **Чертёж.emf**, то после нарезки изображения на четыре части получится четыре файла: **Чертёжx0y0.emf**, **Чертёжx0y1.emf**, **Чертёжx1y0.emf**, **Чертёжx1y1.emf**.

Чтобы просмотреть изображение в отдельном окне, нажмите кнопку **Предварительный просмотр…**, расположенную в левом нижнем углу диалогового окна экспорта чертежа.

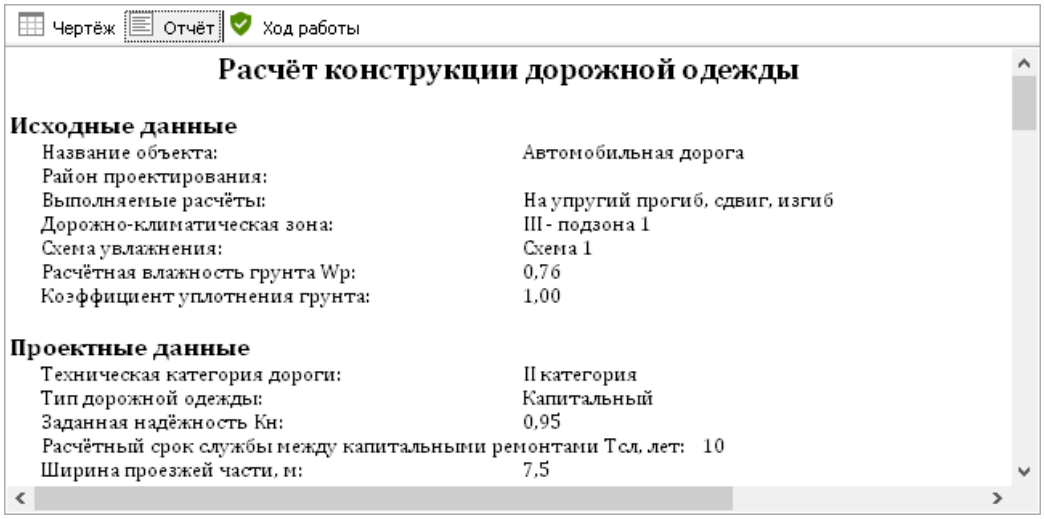
Для экспорта изображения нажмите кнопку **Экспорт**.

9.2. Краткий отчёт

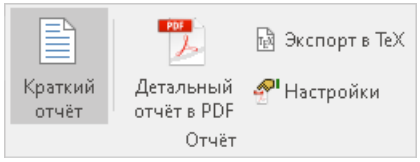
Краткий отчёт (или пояснительная записка) по проекту, как и чертёж, формируется системой IndorPavement динамически в процессе проектирования дорожной одежды. Он содержит исходные данные проекта и все результирующие расчётные параметры, представленные для каждого варианта конструкции отдельно.

> **ЗАМЕЧАНИЕ.** Краткий отчёт о расчёте конструкции дорожной одежды всегда соответствует текущим настройкам проекта и сформированной конструкции.

Просмотреть пояснительную записку можно в нижней части главного окна системы на вкладке **Отчёт**.



Чтобы распечатать пояснительную записку, нажмите кнопку **Чертёж и отчёт > Отчёт > Краткий отчёт**.



В открывшемся окне пояснительная записка разбита на страницы формата А4, страницы имеют портретную ориентацию.

Для печати сформированного отчёта нажмите на панели инструментов кнопку **Печать**. Далее в стандартном диалоге печати выберите нужный принтер, настройте параметры печати, такие как номера страниц для печати, количество копий и др.

Для экспорта нажмите кнопку **Сохранить**. В открывшемся меню выберите нужный формат файла и далее задайте путь к файлу в стандартном диалоге. При экспорте

в некоторые форматы потребуется задать дополнительные параметры. Краткий отчёт можно сохранить в следующих форматах:

- Файл формата PDF.
- Файл формата HTML (табличный).
- Файл формата JPEG.
- Файл формата TXT.
- Файл формата CSV.
- Файл формата RTF.
- Документ Microsoft Excel (XML).
- Документ OpenOffice Writer (ODT).
- Документ OpenOffice Calc (ODS).
- Файл формата DBF (dBase).

При необходимости в дальнейшем краткий отчёт можно отредактировать, выполнив экспорт в один из предложенных форматов.

9.3. Расшифровка расчёта

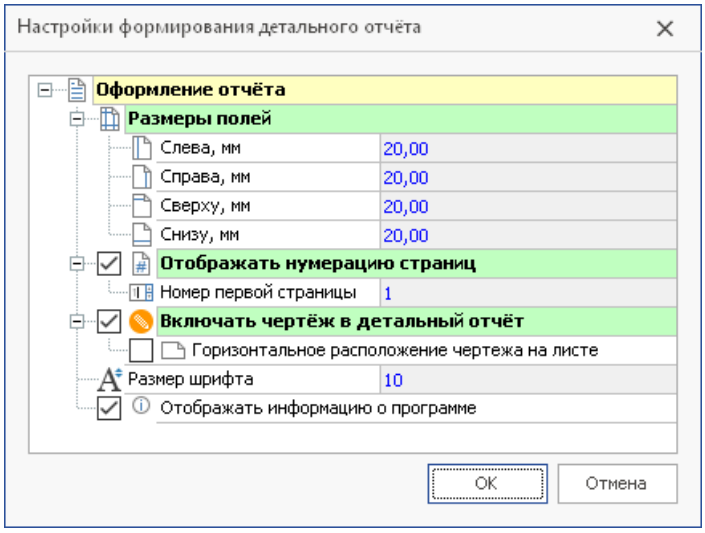
В коммерческой версии IndorPavement доступна возможность получения подробной расшифровки по расчёту. В качестве расшифровки система генерирует документ в формате PDF, содержащий исходные данные, чертёж, вычисления по формулам, ссылки на нормативные документы. Детальный отчёт имеет следующую структуру.

- В начале документа представлены общие параметры проекта: исходные данные и вычисление общих расчётных параметров проекта, которые являются независимыми от варианта конструкции (расчётная влажность грунта, суммарное число приложений расчётной нагрузки, требуемый модуль упругости и пр.).
- Далее для каждого варианта представлены списки конструктивных слоёв и выбранных для них материалов с полными наименованиями и толщинами и подробные расчёты, сгруппированные по заданным критериям (заголовки, указывающие на это, выделены жирным шрифтом). Каждое вычисление сопровождается ссылкой, где первая цифра — это номер нормативного документа в списке, который представлен в конце детального отчёта, а второе значение указывает номер таблицы, номограммы или формулы, согласно которым произведён расчёт. Отключить отображение расшифровки расчёта того или иного варианта можно с помощью соответствующей опции в свойствах этого варианта.
- В конце документа представлен чертёж, дублирующий информацию с вкладки **Чертёж** в области отчётной документации, и список нормативных документов, согласно которым производились все расчёты в проекте.
- На каждой странице отчёта в верхнем колонтитуле указана информация о наименовании программы, в которой были произведены расчёты, указаны номер и дата выпуска версии программы.

Настройка параметров оформления расшифровки

Некоторые параметры оформления формируемого отчёта можно предварительно настроить в диалоговом окне, открываемом кнопкой **Чертёж и отчёт > Отчёт > Настройки**. Здесь можно изменить величины полей, номера страниц, размер

шрифта и пр. При отключении опции **Отображать информацию о программе** в отчёт не будет выводиться название программы, номер сборки и дата.

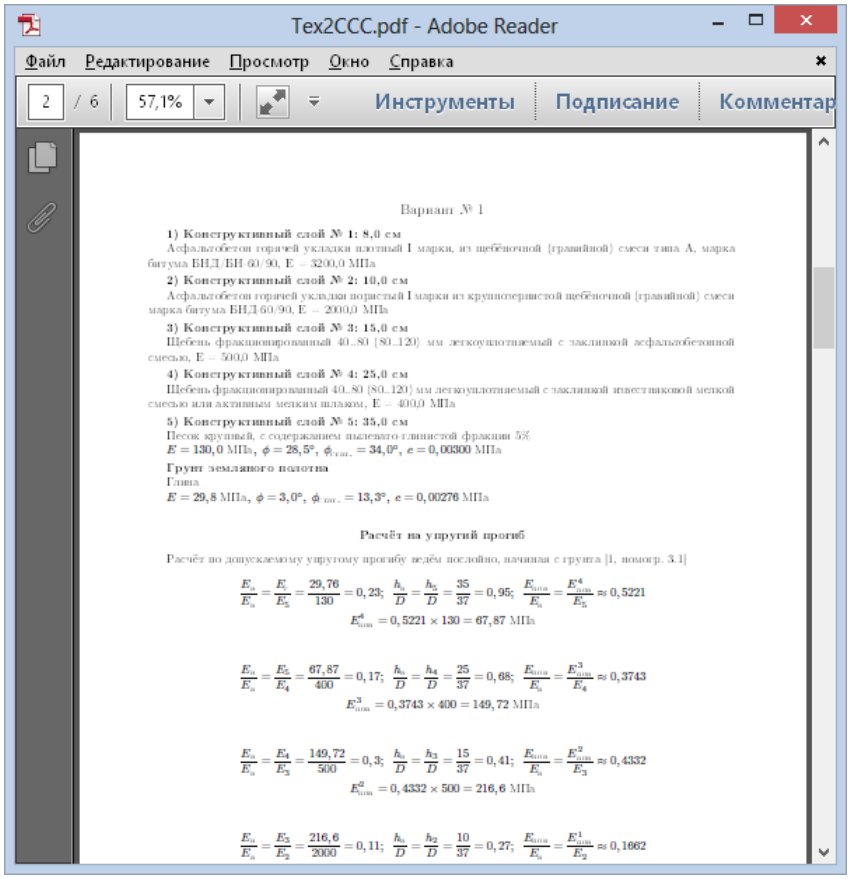


ЗАМЕЧАНИЕ. При большом количестве вариантов конструкций дорожной одежды могут возникнуть проблемы с формированием детального отчёта, так как его размер ограничен. В таком случае можно отключить опцию **Включать чертёж в детальный отчёт** или в свойствах вариантов, для которых нет необходимости в расшифровке расчётов, отключить опцию **Отображать результаты расчёта в отчёте**.

Формирование расшифровки расчёта

Расшифровка расчёта (детальный отчёт) является полноценным документом, который можно сформировать либо в распространённом формате PDF, либо выгрузить его в формат TeX, позволяющий редактировать формульные выражения.

Чтобы сформировать документ в формате PDF, нажмите кнопку **Чертёж и отчёт > Отчёт > Детальный отчёт в PDF**.



ЗАМЕЧАНИЕ. В пробной и учебной версиях системы IndorPavement также можно сгенерировать детальный отчёт для ознакомления, однако все рассчитываемые значения и ссылки будут скрыты.

Для экспорта документа в формат TeX нажмите кнопку **Чертёж и отчёт > Отчёт > Экспорт в TeX**.

ИндорСофт

ООО «ИндорСофт»
www.indorsoft.ru
+7 3822 650-450
8 800 333-08-05
info@indorsoft.ru