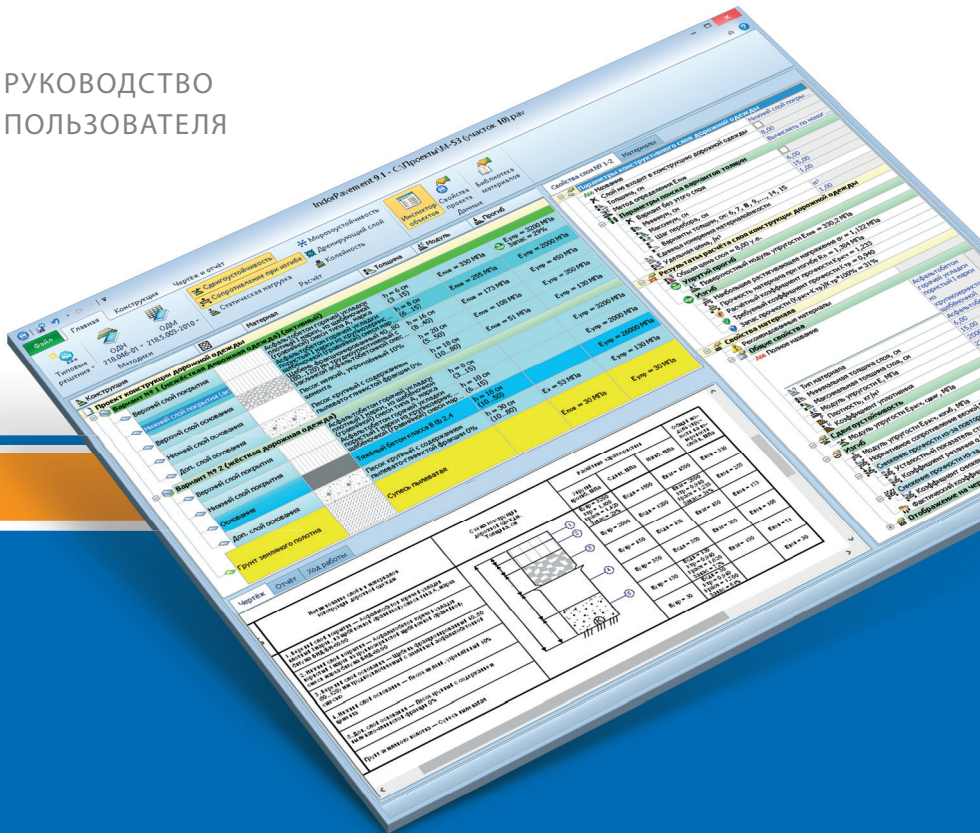


Е.Е. Рукавишникова, К.А. Лубкина, А.В. Скворцов

# Проектирование дорожных одежд в IndorPavement

РУКОВОДСТВО  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



ООО «ИндорСофт»

# Проектирование дорожных одежд в IndorPavement

Издательство Томского университета  
2015

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2  
P84

**Рукавишникова Е.Е., Лубкина К.А., Скворцов А.В.**

P84 Проектирование дорожных одежд в IndorPavement. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. — 284 с. — doi: 10.17273/book.2015.4

Rukavishnikova E.E., Lubkina K.A., Skvortsov A.V. *Proyektirovaniye dorozhnykh odezhd v IndorPavement* [Road pavement design with IndorPavement]. — Tomsk: Tomsk State University, 2015. — 284 p.— doi: 10.17273/book.2015.4

ISBN 978-5-7511-2338-3

В книге представлены функции системы IndorPavement, предназначенные для создания конструкций дорожных одежд и их расчёта по различным критериям. Все виды расчёта для жёстких и нежёстких конструкций подробно описаны с указанием формул, по которым производится расчёт. Отдельно рассматривается учёт геосинтетических материалов в конструкции при расчёте на прочность и дренаж. Особое внимание уделено возможностям работы с несколькими вариантами конструкции дорожной одежды в рамках одного проекта и инструментам для проведения технико-экономического сравнения вариантов. Помимо этого, книга содержит описание формируемой отчётной документации, представленной чертежом, кратким отчётом по расчёту и расшифровкой расчёта, содержащей детальное описание расчёта, ссылки на нормативные документы, расчёты по формулам и пр. Описывается экспорт отчётной документации в привычные форматы данных: PDF, DWG, JPEG и др., а также рассказывается о возможностях печати документации.

**УДК 681.3.06**  
**ББК 32.973.26-018.2**

© Е.Е. Рукавишникова, К.А. Лубкина, А.В. Скворцов, 2015

© ООО «ИндорСофт», 2015

© Оформление: Е.Е. Рукавишникова, 2015

© Обложка: Е.В. Патов, 2015

ISBN 978-5-7511-2338-3

# Оглавление

Введение .....	7
----------------	---

## Глава 1

Начало работы .....	11
1.1. Обзор главного окна системы .....	12
1.2. Использование инспектора объектов .....	14
1.3. Ввод числовых значений .....	17
1.4. Работа с проектами .....	19
1.5. Отмена действий .....	21
1.6. Настройка параметров системы .....	22
Выводы .....	24
Контрольные вопросы .....	25

## Глава 2

Формирование конструкции дорожной одежды .....	27
2.1. Структура дорожной одежды .....	28
2.2. Работа с конструктивными слоями .....	30
2.3. Работа с грунтом земляного полотна .....	44
2.4. Работа с геосинтетическими материалами .....	50
Выводы .....	56
Контрольные вопросы .....	57

## Глава 3

Расчёт нежёстких дорожных одежд .....	59
3.1. Визуальный анализ расчёта .....	60
3.2. Ввод исходных данных .....	65
3.3. Расчёт на упругий прогиб .....	81
3.4. Расчёт на сдвигоустойчивость .....	86
3.5. Расчёт на сопротивление при изгибе .....	93
3.6. Расчёт на статическую нагрузку .....	100

3.7. Расчёт на морозоустойчивость .....	105
3.8. Расчёт дренажного слоя .....	118
3.9. Прогнозирование образования колеи .....	130
3.10. Усиление конструкции дорожной одежды .....	135
Выводы .....	140
Контрольные вопросы .....	141

## Глава 4

Расчёт с учётом геосинтетических материалов .....	143
4.1. Геосинтетические защитно-армирующие материалы .....	144
4.2. Геосинтетические защитно-дренирующие материалы .....	149
Выводы .....	151
Контрольные вопросы .....	152

## Глава 5

Расчёт жёстких дорожных одежд .....	153
5.1. Визуальный анализ расчёта .....	154
5.2. Расчёт сопротивления при изгибе цементобетонного покрытия .....	161
5.3. Расчёт сопротивления при изгибе цементобетонного основания и монолитных слоёв покрытия .....	173
5.4. Определение расчётных характеристик сборных покрытий из плит .....	185
5.5. Расчёт сдвигоустойчивости основания .....	193
5.6. Расчёт на морозоустойчивость .....	200
Выводы .....	201
Контрольные вопросы .....	202

## Глава 6

Технико-экономический анализ результатов .....	203
6.1. Работа с несколькими вариантами конструкций .....	204
6.2. Мастер создания конструкций .....	212
6.3. Оптимизация конструкции дорожной одежды .....	218

---

Выводы .....	226
Контрольные вопросы .....	227

## **Глава 7**

Работа с библиотекой материалов .....	229
7.1. Обзор окна библиотеки материалов .....	230
7.2. Работа с группами материалов .....	232
7.3. Работа с материалами .....	235
7.4. Редактирование параметров материалов .....	237
Выводы .....	258
Контрольные вопросы .....	259

## **Глава 8**

Формирование отчётной документации .....	261
8.1. Подготовка чертежа .....	262
8.2. Подготовка пояснительной записки .....	275
8.3. Подготовка расшифровки расчёта .....	277
Выводы .....	279
Контрольные вопросы .....	280
 Литература .....	 281



---

# Введение

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

Основные функции системы:

- » Формирование конструкций дорожных одежд нежёсткого и жёсткого типов вручную и с помощью альбомов типовых решений.
- » Проектирование нескольких вариантов конструкций в рамках одного проекта для технико-экономического анализа.
- » Расчёт конструкций на прочность по различным критериям: упругий прогиб, сдвигоустойчивость в грунте земляного полотна и слабосвязных слоях, сопротивление монолитных слоёв усталостному разрушению от растяжения при изгибе.
- » Расчёт на морозоустойчивость, расчёт толщины теплоизолирующего, морозозащитного и дренирующего слоёв.
- » Расчёт остаточных деформаций в слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна для прогнозирования колеиности.
- » Оптимизация конструкций по толщинам слоёв.
- » Организация материалов конструктивных слоёв, грунтов земляного полотна и геосинтетических материалов.
- » Подготовка отчётной документации.

Система IndorPavement позволяет производить следующие расчёты:

- » Прочностные расчёты нежёстких конструкций дорожных одежд, проверка на морозоустойчивость, расчёт морозозащитного, теплоизолирующего и дренирующего слоёв [4, 5].
- » Прочностные расчёты, проверка на морозоустойчивость,



- расчёт дренарующего слоя, расчёт усиления для Казахстана [1, 18].
- » Расчёт сборных покрытий из плит, асфальтобетонных покрытий с цементобетонным основанием, монолитных цементобетонных покрытий [3, 19]
  - » Расчёт усиления [6].
  - » Расчёт краевых укрепительных полос, обочин, остановочных полос [8].
  - » Расчёт и прогнозирование колеяности [15].
  - » Расчёт с учётом геосинтетических материалов: упругий прогиб, сдвиг, изгиб, дренаж на осушение [7, 9, 10, 11].
  - » Проектирование типовых конструкций [14, 20–23].

Данное руководство содержит подробное описание возможностей системы IndorPavement, пользовательского интерфейса и инструментальных средств, используемых для конструирования и расчёта дорожных одежд.

В главе «Начало работы» даётся обзор системы IndorPavement, описываются принципы работы с инспектором объектов, рассматриваются базовые сведения для начала работы с системой.

В главе «Формирование конструкции дорожной одежды» рассматривается процесс формирования конструкции дорожной одежды: добавление конструктивных слоёв и геосинтетических прослоек, выбор грунта земляного полотна, а также редактирование параметров слоёв.

Глава «Расчёт нежестких дорожных одежд» содержит перечень параметров, используемых в качестве исходных данных проекта, описание алгоритмов расчёта конструкций дорожных одежд нежесткого типа по различным критериям и получаемых расчётных параметров, а также методику визуального анализа результатов расчётов.

Глава «Расчёт с учётом геосинтетических материалов» содержит описание методик учёта геосинтетических материалов при расчёте конструкций дорожных одежд на прочность.

Глава «Расчёт жёстких дорожных одежд» описывает основные алгоритмы расчёта конструкций дорожных одежд жёсткого типа и расчётные параметры, а также методику визуального анализа результатов расчётов.

Глава «Технико-экономический анализ результатов» рассматривает принцип работы с несколькими вариантами конструкций дорожной одежды, методику создания конструкций с помощью мастера в соответствии с альбомом типовых решений. Кроме этого, рассматривается технология оптимизации конструкции дорожной одежды по толщинам слоёв.

Глава «Работа с библиотекой материалов» посвящена встроенной библиотеке материалов и работе с ней. Описывается работа с материалами и группами материалов библиотеки, а также перечень параметров материалов различных типов и их классификация.

Глава «Формирование отчётной документации» знакомит с вопросами печати и экспорта отчётной документации, а также оформления слоёв конструкции дорожной одежды в чертеже.



# Глава 1

---

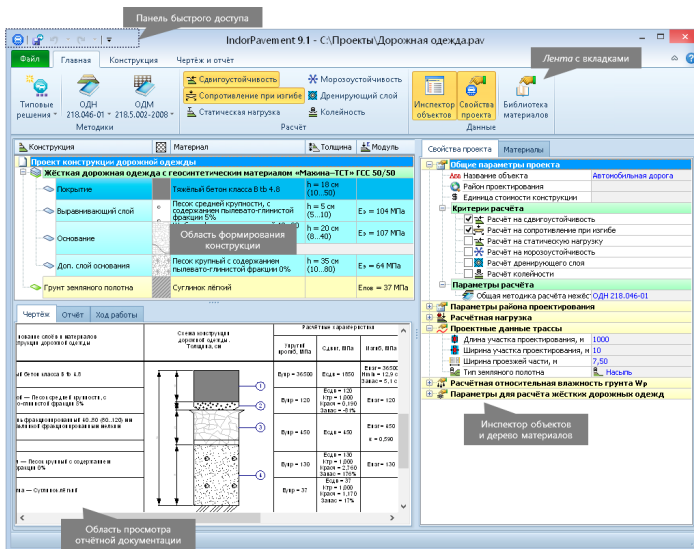
## Начало работы

Вы приступаете к изучению системы расчёта дорожных одежд IndorPavement. Для начала вам потребуется установить систему на свой компьютер и активировать её. В этой главе объясняются принципы работы с проектом системы IndorPavement и элементами интерфейса.

## 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.




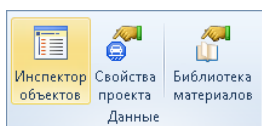
- » **Область формирования конструкции.** Занимает центральную часть окна и содержит сформированные конструкции со слоями и информацию по производимым расчётам.
- » **Область просмотра отчётной документации.** Занимает нижнюю часть окна и содержит три вкладки: **Чертёж**, **Отчёт** и **Ход работы**. На вкладке **Чертёж** отображается чертёж, который может содержать расчётную и конструктивную схемы конструкции дорожной одежды для каждого варианта, таблицу исходных данных и таблицу вариантов для технико-

экономического сравнения. При изменении конструкции дорожной одежды чертёж обновляется автоматически. На вкладке **Отчёт** в текстовом формате представлена пояснительная записка, содержащая информацию о конструкции дорожной одежды и проводимых расчётах. На вкладке **Ход работы** представлена краткая информация, позволяющая оценить корректность исходных данных для произведения расчётов.

- » **Инспектор объектов и Дерево материалов.** В правой части окна по умолчанию располагается инспектор объектов. Он предназначен для настройки свойств проекта, варианта, конструктивного слоя или грунта земляного полотна. На вкладке **Материалы** в инспекторе объектов отображается дерево материалов, предоставляющее доступ ко всем материалам из библиотеки материалов. При необходимости инспектор объектов можно закрывать и открывать снова.

## 1.2. Использование инспектора объектов

Параметры проекта, конструкции дорожной одежды, а также слоёв, из которых она состоит, настраиваются в инспекторе объектов, который располагается в правой части главного окна системы и открывается кнопкой **Главная > Данные >  Инспектор объектов** или клавишей **F6**.

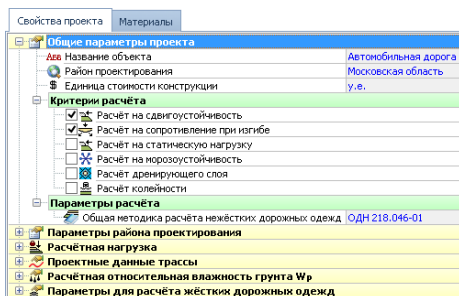



В инспекторе объектов доступны две вкладки. Рассмотрим их подробно.

### Вкладка «Свойства»

В определённый момент времени на этой вкладке отображаются параметры выбранного объекта. Например:

- » Если в области формирования конструкции дорожной одежды щёлкнуть мышью в поле **Проект конструкции дорожной одежды**, то на этой вкладке будут отображены свойства, относящиеся к проекту в целом (параметры района проектирования, расчётной нагрузки и т.п.).





Также для просмотра свойств проекта можно воспользоваться кнопкой **Главная** > **Данные** >  **Свойства проекта**.

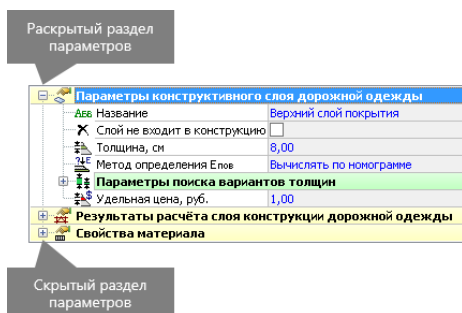
- » Если щёлкнуть мышью на конструктивном слое, то на вкладке будут отображены параметры этого слоя и материала, из которого он состоит.
- » Щёлкнув мышью на слое грунта земляного полотна, можно отобразить на этой вкладке его параметры и свойства материала грунта.
- » Если щёлкнуть мышью в поле **Вариант**, то на вкладке появятся свойства варианта конструкции дорожной одежды и информация о произведённых расчётах для данного варианта.

## Замечание

Название вкладки динамически изменяется. Таким образом, система подсказывает, какие свойства в инспекторе объектов отображаются в данный момент.

.....

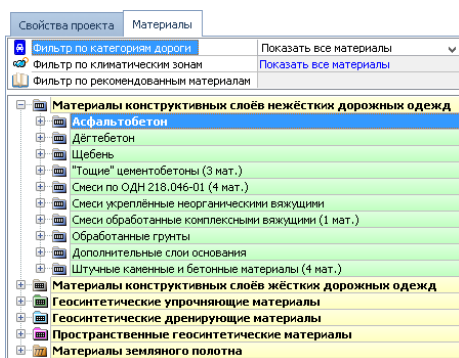
Параметры в инспекторе объектов определённым образом разбиты на группы и структурированы. Если на данный момент группа не используется для редактирования свойств, то её можно скрыть, нажав рядом с названием группы кнопку . Для обратной операции нажмите кнопку .





## Вкладка «Материалы»

Эта вкладка предназначена для быстрого добавления материалов в конструкцию дорожной одежды. Материалы разбиты на шесть концептуально различающихся групп: **Материалы конструктивных слоёв нежестких дорожных одежд**, **Материалы конструктивных слоёв жестких дорожных одежд**, **Геосинтетические упрочняющие материалы**, **Геосинтетические дренирующие материалы**, **Пространственные геосинтетические материалы** и **Материалы земляного полотна**. Каждая группа содержит подгруппы, объединяющие материалы по какому-то общему признаку. Для сокращения времени поиска нужного материала можно отфильтровать материалы по технической категории дороги, дорожно-климатической зоне, а также в соответствии с рекомендованными материалами в альбоме типовых решений.




## Замечание

Некоторые параметры в инспекторе объектов имеют подсказки — значения параметров в соответствии с нормативными документами (например, ОДН 218.046–01). Они отображаются рядом с числовым полем при получении им фокуса. Если в числовое поле введено значение, не соответствующее нормативному документу, то подсказка подсвечивается красным цветом.

.....

## 1.3. Ввод числовых значений

В инспекторе объектов присутствуют поля для ввода числовых значений. Ввести определённое значение в такое поле можно с клавиатуры, а изменить значение можно несколькими способами:

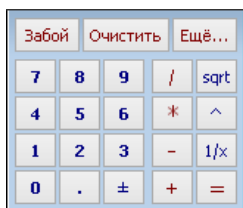
- » Клавишами **Стрелка вверх**, **Стрелка вниз**.
- » Кнопками , расположенными справа от поля ввода.
- » Колесом мыши. При прокрутке колеса мыши вперёд значение увеличивается, а при прокрутке назад — уменьшается.

### Замечание

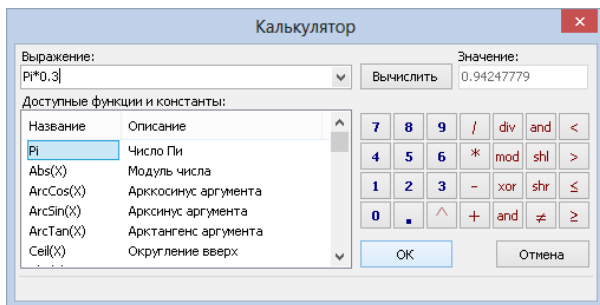
Если изменять значение в поле ввода и удерживать нажатой клавишу **Ctrl**, то шаг изменения значения увеличивается в десять раз. При удерживании клавиши **Shift** — уменьшается в десять раз.

.....

При вводе числовых значений можно также воспользоваться встроенным в систему калькулятором. Для этого установите фокус в числовое поле и нажмите клавишу **F4**.




Кнопка **Ещё...** открывает калькулятор с дополнительными функциями.




## 1.4. Работа с проектами

Документом в системе IndorPavement является проект конструкции дорожной одежды. В этом разделе рассматриваются команды для работы с проектами.

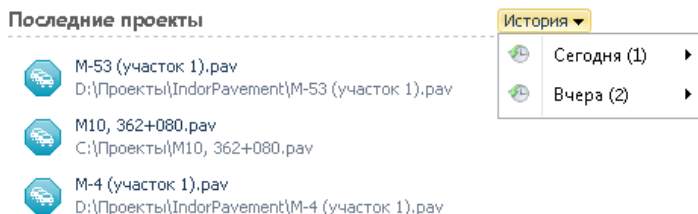
### Создание проекта

Для создания пустого проекта нажмите кнопку **Файл** >  **Создать новый проект**.



### Открытие проекта


Для открытия проект нажмите кнопку **Файл** >  **Открыть проект** или воспользуйтесь клавишами **Ctrl+O**. На экране появится диалоговое окно открытия файла. Найдите и откройте папку, содержащую проект дорожной одежды, выделите файл проекта, после чего нажмите кнопку **Открыть**. Файлы проектов IndorPavement имеют расширение PAV.

На вкладке **Файл** в разделе **Последние** отображается список проектов, открывавшихся в предыдущие сеансы работы (первым указывается тот файл, который использовался последним). Для открытия проекта из этого списка достаточно щёлкнуть на нём мышью. Также можно отдельно просмотреть проекты, открывавшиеся за последний месяц, неделю и т.д. Для этого выберите в подменю **История** соответствующий пункт.



## Сохранение проекта


Для сохранения проекта нажмите кнопку **Файл >  Сохранить проект** 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 ввести имя файла и нажать кнопку **Сохранить**.

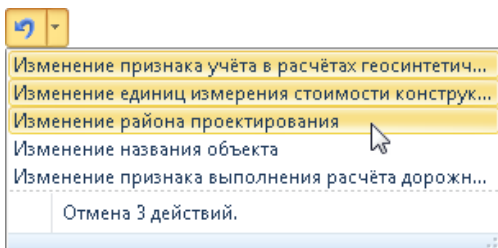
Чтобы сохранить текущий проект под другим именем, нажмите кнопку **Файл >  Сохранить проект как**. В диалоговом окне сохранения файла, как и при первом сохранении проекта, в поле **Имя файла** введите новое имя файла проекта и нажмите кнопку **Сохранить**. При попытке сохранить файл под существующим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

## 1.5. Отмена действий


В процессе проектирования конструкции дорожной одежды или при задании расчётных параметров можно использовать операцию отмены последнего выполненного действия или сразу нескольких последних действий. Кнопки для отмены действий расположены на панели быстрого доступа.




Кнопка  **Отменить действие** выполняет отмену последнего выполненного действия. При нажатии стрелки, расположенной рядом с этой кнопкой, появляется список, который представляет собой последовательность действий пользователя. Он позволяет отменить несколько последних выполненных действий. Для этого щёлкните в списке на том действии, с которого начинаются действия, подлежащие отмене.

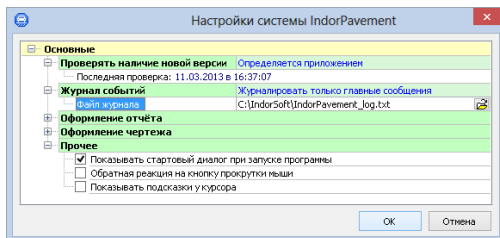


Также команду **Отменить действие** можно выполнить, используя клавиатурный эквивалент **Ctrl+Z**.

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**.

## 1.6. Настройка параметров системы

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



Настройки системы включают следующие параметры:

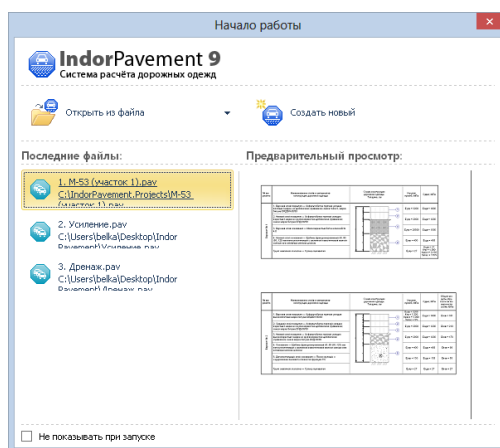
- » **Проверять наличие новой версии.** В этом разделе настраивается частота проверки новых версий IndorPavement, а также указывается дата последней проверки обновлений. Существует несколько вариантов частоты проверки версий: **При каждом запуске**, **Не чаще раза в день**, **Не чаще раза в неделю** 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 их загружает в фоновом режиме. Чтобы обновления вступили в силу, перезапустите систему IndorPavement.

- » **Журнал событий.** Журнал событий представляет собой текстовый файл, в который заносится информация о системных событиях и ошибках. Этот журнал является опциональным и может пригодиться при возникновении сбоев в системе или порчи файла проекта. Чтобы создать журнал, в поле **Файл журнала** укажите путь к текстовому файлу и выберите степень детализации журнала в поле **Журнал событий**. Чтобы

отказаться от ведения журнала, выберите пункт **Не вести журнал**.

- » В разделе **Оформление отчёта** настраиваются параметры оформления детального отчёта: величина полей листа, нумерация страниц, размер шрифта и др.
- » **Оформление чертежа**. В этом разделе настраиваются параметры внешнего вида чертежа и его структура.
- » В разделе **Прочее** объединены дополнительные настройки системы.
- » Опция **Показывать стартовый диалог при запуске программы** позволяет включать и отключать отображение стартового диалога.



- » **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.



## Выводы

Система IndorPavement обладает простым и понятным интерфейсом, позволяющим быстро решать поставленные задачи. Интерфейс системы представлен *лентой*, которая наглядно представляет инструменты системы. Помимо ленты в системе присутствуют инструментальные и диалоговые окна, с помощью которых можно редактировать свойства слоёв, геосинтетических прослоек, материалов и пр.

Интересной особенностью системы является наглядная область формирования конструкции, позволяющая в считанные секунды оценить конструктивные особенности дорожной одежды, узнать её расчётные характеристики и сравнить с другими потенциальными вариантами.

При работе с проектами важно в нужный момент откатить изменения и вернуться к предыдущему состоянию. Система хранит список произведённых действий и позволяет при необходимости отменить их или снова вернуть. При разработке больших проектов, содержащих многовариантные конструкции дорожной одежды, данная возможность крайне необходима и позволяет избежать ненужной работы.

## Контрольные вопросы

1. Назовите элементы интерфейса главного окна системы IndorPavement. Для чего они используются?
2. Для чего используется инспектор объектов?
3. Реализована ли в системе возможность отмены и возврата действий? Возможно ли отменить сразу несколько действий?
4. Где находятся настройки скачивания новых версий системы? Каким образом их можно настроить?
5. Какая информация отображается в области формирования конструкции?
6. Что такое «журнал событий»? В каких случаях он может быть полезен?



# Глава 2

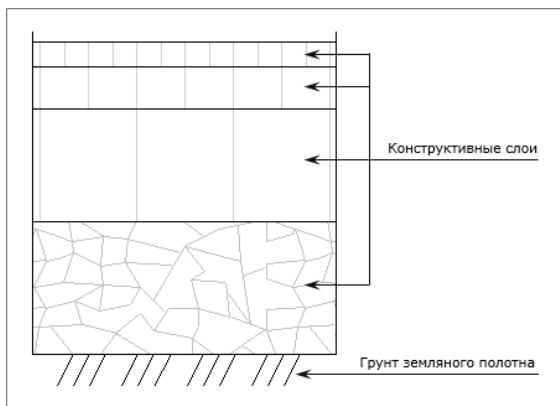
---

## 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 добавление конструктивных слоёв и геосинтетических материалов, выбор грунта земляного полотна, а также редактирование параметров слоёв.

## 2.1. Структура дорожной одежды

Конструкция дорожной одежды состоит из естественного грунта земляного полотна и конструктивных слоёв, содержащих материалы жёстких и нежёстких дорожных одежд. Конструктивные слои могут формировать покрытие, основание, а также дополнительные слои основания, используемые, например, в качестве насыпного грунта.



Система IndorPavement позволяет формировать и производить расчёт как нежёстких, так и жёстких дорожных одежд. Оба типа конструкций представлены в виде набора слоёв. В области формирования конструкции дорожной одежды конструктивные слои окрашены голубым цветом, а грунт земляного полотна, представленный также в качестве слоя, — жёлтым. Для наглядности некоторые слои выделены отличными цветами: слои жёстких дорожных одежд — тёмно-голубым, слои усиления — оранжевым.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогноз	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрепие	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 10 см (3..15)		E <sub>упр</sub> = 3200 МПа	r <sub>мин</sub> = 3 см Запас = 7 см
Верхний слой основания	Мелкозернистый бетон класса В 4,8	h = 12 см (10..50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	E <sub>изг</sub> = 30000 МПа Запас = 21%
Нижний слой основания	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 20 см (8..40)	E <sub>з</sub> = 124 МПа	E <sub>упр</sub> = 950 МПа	E <sub>изг</sub> = 950 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10..80)	E <sub>з</sub> = 60 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>изг</sub> = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылева...		E <sub>пол</sub> = 40 МПа	E <sub>упр</sub> = 40 МПа	E <sub>изг</sub> = 40 МПа

Для каждого слоя отображаются краткая информация о параметрах слоя (материал, толщина, модуль упругости) и расчётные значения по выбранным критериям. С помощью этой информации можно произвести визуальный анализ конструкции жёсткой и нежёсткой дорожной одежды.

Несмотря на аналогичность представления конструкций, 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 будем относить одежды, имеющие:

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

Остальные конструктивные решения будем считать нежёсткими.

## 2.2. Работа с конструктивными слоями

Конструктивные слои дорожной одежды могут формировать покрытие, основание и дополнительные слои основания. В зависимости от их места в конструкции они содержат соответствующие типы материалов, например покрытие, как правило, представлено монолитными материалами или асфальтобетонами. Помимо этого, конструктивный слой может нести определяющую роль в конструкции: слой монолитного цементобетона, слой усиления дорожной одежды и др.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>			
<b>Вариант № 1</b>			
Покрытие	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки		
Верхний слой основания	Мелкозернистый бетон класса В 4/8	h = 12 см (10...50)	
Нижний слой основания	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и Песок средней крупности, с содержанием	h = 20 см (8...40)	E <sub>з</sub> = 124 МПа
Доп. слой основания		h = 30 см (10...80)	E <sub>з</sub> = 60 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пы...		

## 2.2.1. Добавление конструктивного слоя

### Замечание

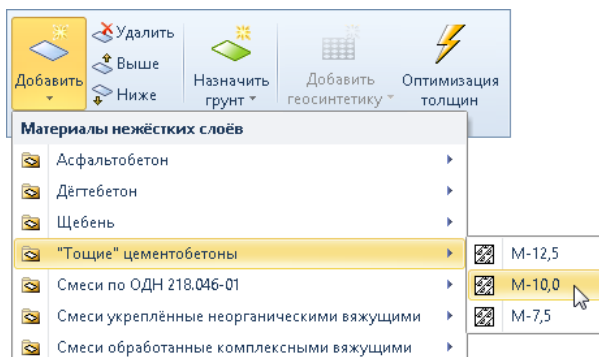
Конструктивные слои добавляются в конструкцию таким образом, чтобы не нарушалось свойство возрастания модулей упругости материалов от слоя грунта земляного полотна к слоям покрытия.

.....

Создание конструктивного слоя с заданным материалом возможно несколькими способами.

Первый способ добавления слоя

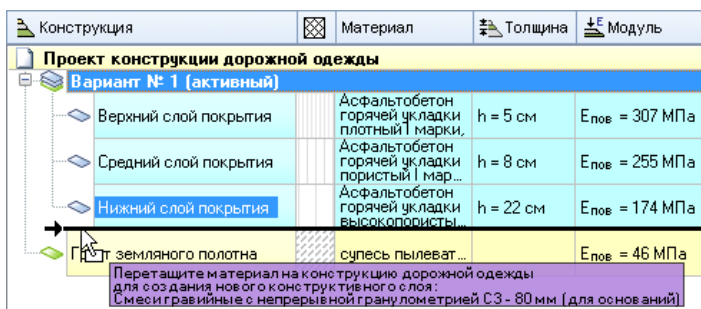
В области формирования конструкции дорожной одежды выделите вариант конструкции дорожной одежды или один из конструктивных слоёв, если таковые существуют. Затем нажмите кнопку **Конструкция > Слои > Добавить** и в появившемся подменю выберите нужный тип материала.





## 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**. Нажмите на нужном материале кнопку мыши и «перетащите» в область формирования конструкции дорожной одежды. Система укажет место в конструкции, куда может быть добавлен материал.



## Замечание

При добавлении слоёв с помощью дерева материалов рядом с указателем мыши отображается специальная подсказка, содержащая вспомогательную информацию о выполняемых действиях. Подсказка поможет сориентироваться при формировании дорожной одежды на начальном этапе освоения системы.

.....

## 2.2.2. 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, общие 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.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Покрытие
<input checked="" type="checkbox"/> Слой не входит в конструкцию дорожной одежды	<input type="checkbox"/>
Толщина, см	8,00
Слой усиления	<input type="checkbox"/>
Метод определения Елов	Вычислять по номограмме
Параметры поиска вариантов толщин	
<input checked="" type="checkbox"/> Вариант без этого слоя	<input type="checkbox"/>
Минимум, см	3,00
Максимум, см	15,00
Шаг перебора, см	1,00
Варианты толщин, см: 3, 4,..., 7, 8, 9,..., 14, 15	
Удельная цена, у.е.	1,00

- » Расчёт конструкции дорожной одежды может быть выполнен без учёта определённого слоя. Для этого не обязательно удалять слой из конструкции, а достаточно установить опцию **Слой не входит в конструкцию дорожной одежды**. В области формирования конструкции такой слой отображается серым цветом, а его расчётные параметры отсутствуют. В инспекторе объектов параметры материала слоя недоступны для редактирования.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>			
<b>Вариант № 1</b>			
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки, ...	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 457 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки...	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 399 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 300 МПа
Основание	Смеси гравийные с непрерывной гранулометрией СЗ	h = 26 см (8..40)	E <sub>пов</sub> = 99 МПа
Доп. слой основания	Песок крупный с содержанием пылеато-глинист...	h = 30 см (10..80)	
Грунт земляного полотна	супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа

- » Толщина конструктивного слоя задаётся в поле **Толщина** и по умолчанию для новых слоёв равна 10 см. Этот параметр влияет на расчёт конструкции дорожной одежды по любым критериям, а также на стоимостную составляющую слоя при проведении технико-экономического сравнения различных вариантов. Обратите внимание, что толщина слоя ограничена свойствами материала слоя (поле **Минимальная толщина слоя** и поле **Максимальная толщина слоя**).
- » 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.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Слой усиления	Асфальтобетон горячей укладки высокоплотный	h = 10 см (3..15)	E <sub>пов</sub> = 336 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 46%
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки, ...	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 200 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки...	h = 8 см		E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 15 см (15..22)		E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см		E <sub>упр</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа

- » Для слоёв основания доступна дополнительная опция **Укреплённое основание**. Если основание (например щебень) устроено из укреплённых материалов, то при расчёте на сдвигоустойчивость дополнительного слоя основания берётся повышенный коэффициент  $K_d$ , учитывающий особенность работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания (поле  **$K_d$  (укреплённое основание)**) в свойствах дополнительного слоя основания). Если основание не укреплено, то для расчёта сдвигоустойчивости дополнительного слоя основания берётся обычный коэффициент  $K_d$  (поле **Коэффициент деформации  $K_d$**  в свойствах дополнительного слоя основания).

### Замечание

При добавлении геосинтетической прослойки в слой основания оно считается укреплённым и данная опция включается автоматически.

.....

- » В поле **Метод определения  $E_{пов}$**  можно выбрать метод определения модуля упругости: **Вычислять по номограмме**, **Вычислять по формуле из МОДН 2–2001**, **Назначить по результатам испытаний УДН** или **Назначить фактический модуль упругости** (если в конструкции определены слои усиления).
- » В группе **Параметры поиска вариантов толщин** задаются параметры, ограничивающие область поиска вариантов конструкции дорожной одежды по толщинам конструктивных слоёв.
- » При установке опции **Вариант без этого слоя** система предоставит различные варианты конструкций дорожной одежды без учёта данного слоя.
  - » В поле **Минимум** задаётся минимально допустимая толщина слоя для поиска вариантов конструкции.

- » В поле **Максимум** задаётся максимально допустимая толщина слоя для поиска вариантов конструкции дорожной одежды.
- » В поле **Шаг перебора** устанавливается шаг перебора толщин слоя, с которым будут рассматриваться варианты конструкции дорожной одежды при оптимизации по толщинам слоёв. Если установить шаг перебора, равный 1, то при оптимизации конструкции по толщинам слоёв система рассчитает все возможные варианты, начиная с минимальной толщины слоя и заканчивая максимальной толщиной слоя.
- » Варианты толщин слоя, которые будут рассмотрены при оптимизации конструкции дорожной одежды по толщинам слоёв, отображаются в поле **Варианты толщин**. Значение толщины текущего слоя выделено отдельным стилем.

### Замечание

Оптимизация конструкции дорожной одежды по толщинам слоёв с использованием таких критериев, как стоимость, толщина, модуль упругости конструкции и др., рассматривается в разделе «Оптимизация конструкции дорожной одежды».

.....

- » В поле **Единица измерения материалоемкости** можно выбрать один из вариантов:  $m^3$  или т.
- » Цена материала слоя в единицах стоимости конструкции задаётся в поле **Удельная цена** с учётом выбранной единицы измерения материалоемкости. Этот параметр участвует при расчёте стоимости самого слоя и конструкции.
- » Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на морозостойчивость или дренаж, то можно назначить морозозащитный, теплоизолирующий или дренирующий слой. Для этого предназначены дополнительные опции в свойствах слоя:

## Морозозащитный слой, Теплоизолирующий слой и Дренажный слой.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Дополнительный слой основания
Слой не входит в конструкцию дорожной одежды	<input type="checkbox"/>
Толщина, см	30,00
Морозозащитный слой	<input type="checkbox"/>
Теплоизолирующий слой	<input type="checkbox"/>
Дренажный слой	<input checked="" type="checkbox"/>
Проверить на сдвиг	<input checked="" type="checkbox"/>
Укреплённое основание	<input type="checkbox"/>
Метод определения E <sub>пов</sub>	Вычислять по номограмме

- » Возможны ситуации, когда в конструкцию дорожной одежды включаются слои основания из слабосвязных материалов (например, щебня), которые нет необходимости проверять на сдвигоустойчивость при расчёте на сдвигоустойчивость всей конструкции и грунта земляного полотна. Чтобы исключить слабосвязный слой из расчёта, отключите опцию **Проверить на сдвиг**. Аналогичная опция доступна при расчёте конструкции дорожной одежды на статическую нагрузку.

## Результаты расчёта слоя

В группе **Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды** отображаются результаты расчёта слоя по выбранным критериям. Для различных слоёв может производиться расчёт по различным критериям (зависит от выбранных критериев и типа материала слоя).

- » В поле **Общая цена слоя** отображается стоимостная характеристика слоя, вычисляемая как произведение толщины слоя на его удельную стоимость. Результат отображается в единицах стоимости конструкции.
- » В группе **Упругий прогиб** отображается 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.

Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды	
	Общая цена слоя = 8,00 у.е.
	<b>Упругий прогиб</b>
	Поверхностный модуль упругости $E_{пов} = 461,8$ МПа
	Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 218,9$ МПа
	Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 2,110$
	Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 1,200$
	Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\% = 76\%$

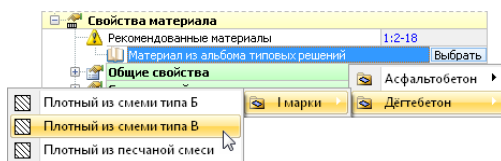
- » В зависимости от того, по каким критериям производится расчёт конструкции дорожной одежды, в группе **Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды** могут отображаться следующие группы: **Сдвигоустойчивость**, **Изгиб**, **Статическая нагрузка**, **Морозоустойчивость**, **Расчёт на дренаж** и **Результаты расчёта колеиности**.

Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды	
	Общая цена слоя = 10,00 у.е.
	<b>Упругий прогиб</b>
	Поверхностный модуль упругости $E_{пов} = 461,8$ МПа
	<b>Изгиб</b>
	Наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_r = 0,807$ МПа
	Прочность материала при изгибе $R_n = 1,492$ МПа
	Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,849$
	Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 1,000$
	Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\% = 85\%$

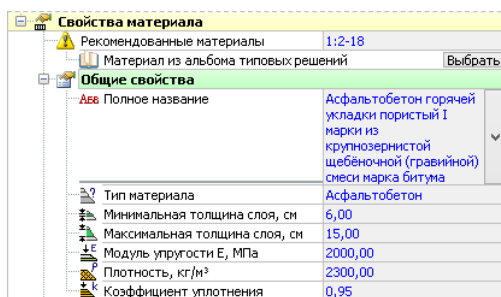
## Свойства материала

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


- » В поле **Рекомендованные материалы** можно ввести маску поиска материалов в соответствии с альбомом типовых решений. Например, можно ввести: 1:2–18. Это означает, что будут предложены материалы из первой группы альбома типовых решений под номерами со второго по восемнадцатый. Чтобы выбрать материал, нажмите кнопку **Выбрать** в появившемся поле **Материал из альбома типовых решений** и выберите нужный материал. Выбранный материал будет определён для выделенного слоя конструкции.



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



- » В поле **Полное название** отображается полное название материала, определённое в библиотеке материалов. Вы можете изменить название материала.

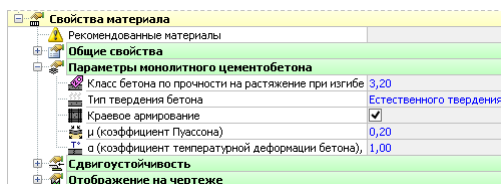
При необходимости можно назначить материалу название, заданное в библиотеке материалов в поле **Название в дереве**. Для этого нажмите кнопку  и выберите пункт **По умолчанию**.

- » В поле **Тип материала** отображается тип материала конструктивного слоя: **Общий материал**, **Монолитный материал**, **Асфальтобетон**, **Слабосвязный материал**, **Доп. слой основания**, **Монолитный цементобетон** или **Бетонные плиты для сборных покрытий**. Для материалов разных типов различается набор расчётных параметров по выбранным критериям.
- » Для каждого материала задана минимальная и максимальная возможная толщина слоя в полях **Минимальная толщина слоя** и **Максимальная толщина слоя** соответственно. Эти величины, как правило,





регламентируются нормативными документами (см. [2, гл. 7 «Дорожные одежды», раздел «Нежёсткие дорожные одежды»). При оптимизации конструкции дорожной одежды по толщинам слоёв в параметрах поиска вариантов толщины в поле **Минимум** не может быть задано значение меньше минимальной толщины слоя, определённой для этого материала. Аналогично для значения максимальной толщины слоя в поле **Максимум**.

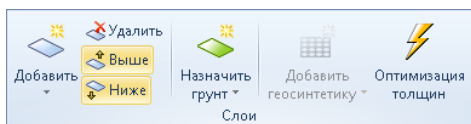
- » В поле **Модуль упругости E** задаётся модуль упругости материала. По умолчанию в этом поле задано значение в соответствии с нормативными документами (например, ОДН 218.046–01, Методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд и др.). Для слоёв, содержащих слабосвязный материал или материал дополнительного слоя основания, отображается вариант модуля упругости в соответствии со значением расчётной относительной влажности грунта земляного полотна, заданного в свойствах проекта.
- » Плотность материала задаётся в поле **Плотность**.
- » Коэффициент уплотнения материала можно задать в поле **Коэффициент уплотнения**.
- » Конструктивный слой жёсткой дорожной одежды имеет дополнительную группу параметров, определяющую физико-механические свойства материала. Параметры монолитного цементобетона объединены в группу **Параметры монолитного цементобетона**, бетонных плит — в группу **Параметры бетонной плиты**.





- 
- » Для каждого критерия расчёта в свойствах материала добавляется отдельная группа параметров.
    - » **Сдвигоустойчивость.** Данная группа отображается при расчёте дорожной одежды на сдвигоустойчивость при динамической нагрузке для всех типов материалов, кроме общего материала.
    - » **Изгиб.** Данная группа отображается при расчёте монолитных слоёв на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе для следующих типов материалов: **Монолитный материал, Асфальтобетон, Монолитный цементобетон и Бетонные плиты для сборных покрытий.**
    - » **Статическая нагрузка.** Данная группа отображается при расчёте дорожной одежды на сдвигоустойчивость при статической нагрузке для слоёв из асфальтобетона.
    - » **Морозоустойчивость.** Данная группа отображается для всех типов материалов при расчёте дорожной одежды на морозоустойчивость или при расчёте морозозащитного или теплоизолирующего слоя.
    - » **Расчёт на дренаж.** Данная группа отображается для дреназирующего слоя при расчёте его толщины.
  - » В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление конструктивного слоя в чертеже и области формирования конструкции дорожной одежды.

### 2.2.3. Перемещение конструктивного слоя

Для изменения положения конструктивного слоя в конструкции дорожной одежды предназначены специальные кнопки:  **Выше** и  **Ниже**, расположенные в группе **Конструкция > 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 нужный слой, нажмите на нём мышью и не отпуская кнопки мыши переместите слой на другую позицию (выше или ниже) после чего отпустите кнопку мыши.

.....

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

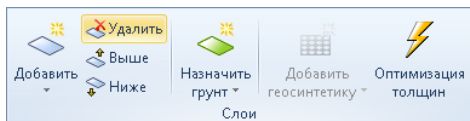
#### Замечание

Перемещение слоёв в конструкции нежёсткой дорожной одежды влияет на результаты расчёта. Для жёстких дорожных одежд перемещение слоя может привести к смене алгоритма расчёта.

.....

## 2.2.4. Удаление конструктивного слоя

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



### Совет

Если вы хотите временно не учитывать слой при расчётах, то не обязательно его удалять, достаточно установить опцию **Слой не входит в конструкцию дорожной одежды** для этого слоя в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя**.

Обратите внимание, что при исключении из конструкции дорожной одежды слоя цементобетона, формирующего покрытие или основание, или слоя покрытия, формируемого бетонными плитами, конструкция считается нежёсткой и к ней применяются только расчёты нежёстких дорожных одежд.

.....

## 2.3. Работа с грунтом земляного полотна


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

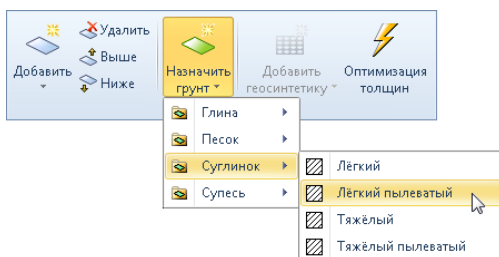
Конструкция	Материал	Толщина	Модуль
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>			
<b>Вариант № 1</b>			
Покр.тие	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки,	h = 10 см (3..15)	
Верхний слой основания	Мелкозернистый бетон класса B 16	h = 12 см (10..50)	
Нижний слой основания	Смеси щебёночно-песчаные		4 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности с содержанием	(10..30)	E <sub>пов</sub> = 60 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 40 МПа

## 2.3.1. Назначение грунта земляного полотна

Назначение грунта земляного полотна возможно несколькими способами.

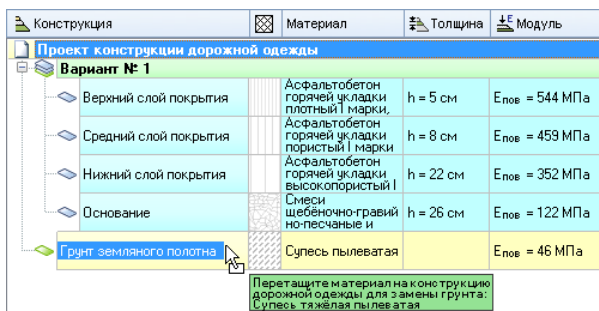
Первый способ назначения грунта

Нажмите кнопку **Конструкция > Слои >**  **Назначить грунт** и в появившемся подменю укажите нужный тип грунта.



Второй способ назначения грунта

Перейдите в инспекторе объектов на вкладку **Материалы**. Все грунты объединены в группу **Материалы земляного полотна**. Нажмите на нужном материале кнопку мыши и «перетащите» в область формирования конструкции дорожной одежды.



### **Замечание**

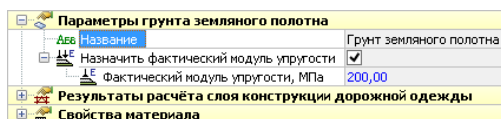
При замене грунта земляного полотна с помощью дерева материалов рядом с указателем мыши отображается специальная подсказка, содержащая вспомогательную информацию о выполняемых действиях. Подсказка поможет сориентироваться при замене материала грунта на начальном этапе освоения системы.

.....

## 2.3.2. Редактирование параметров грунта земляного полотна

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

- » В группе **Параметры грунта земляного полотна** в поле **Название** можно задать название слоя грунта земляного полотна. Например, при расчёте слоёв усиления в отсутствие конструктивных слоёв грунт земляного полотна представляет существующую конструкцию и ему можно задать название **Существующая дорожная одежда**. По умолчанию слой грунта называется **Грунт земляного полотна**.
- » При расчёте слоёв усиления в отсутствие конструктивных слоёв для грунта возможно назначить фактический модуль упругости. Для этого включите опцию **Назначить фактический модуль упругости** и в появившемся поле **Фактический модуль упругости** задайте нужное значение.

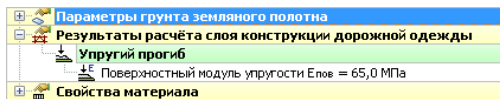


Обратите внимание, что система не допускает задание фактического модуля упругости более 800 МПа. Это обусловлено тем, что в реальных условиях модуль упругости конструкции дорожной одежды не достигает таких значений и зачастую лежит в пределах 200–400 МПа.

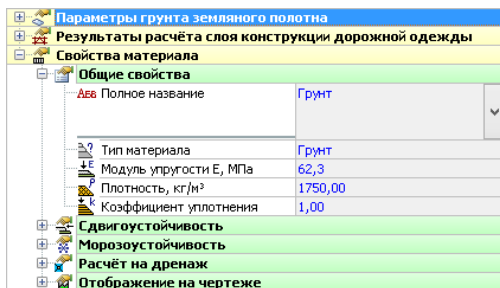
- » Для каждого конструктивного слоя нежёсткой дорожной одежды в системе IndorPavement производится расчёт на упругий прогиб в зависимости от всех нижележащих слоёв конструкции. Грунт земляного полотна не имеет нижележащих слоёв, поэтому для него поверхностный модуль упругости берётся как модуль упругости материала. Информация о



поверхностном модуле упругости отображается в группе **Результаты расчёта слоя конструкции дорожной одежды** в поле **Поверхностный модуль упругости  $E_{\text{пов}}$** .



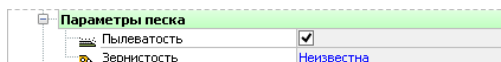
- » Параметры материала грунта объединены в группу **Свойства материала**. Изменение этих параметров влияет только на текущий грунт в конструкции дорожной одежды, а исходный грунт в библиотеке материалов остаётся без изменений. Группа **Общие свойства** содержит набор параметров, характерных для любых грунтов.



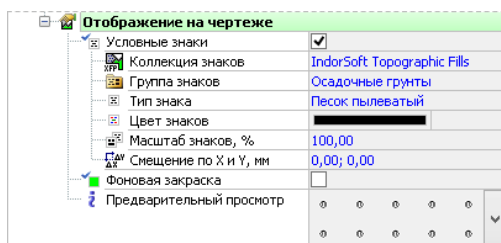
- » В поле **Полное название** отображается название материала грунта, определённое в библиотеке материалов.
- » В поле **Тип материала** указывается тип материала грунта: **Грунт**, **Песок**, **Супесь**, **Суглинок** или **Глина**.
- » Одним из основных параметров механических свойств грунта земляного полотна, используемых в расчётах дорожной одежды на прочность, служит модуль упругости грунта, который задаётся в поле **Модуль упругости  $E$** . Вариант модуля упругости материала из библиотеки определяется в соответствии со значением расчётной относительной влажности грунта земляного полотна, заданного в свойствах проекта.
- » Плотность грунта является важным физико-

механическим свойством, влияющим на расчёт сдвигустойчивости и задаётся в поле **Плотность**.

- » Коэффициент уплотнения материала можно задать в поле **Коэффициент уплотнения**.
- » В зависимости от выбранного типа грунта (песок, супесь, суглинки или глина) доступна дополнительная группа параметров.



- » Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на сдвигустойчивость под действием кратковременных или длительных нагрузок, то отображается группа расчётных параметров **Сдвигустойчивость**. Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на морозостойчивость, то добавляется группа расчётных параметров **Морозостойчивость**. Если рассчитывается дренарующий слой, то добавляется дополнительная группа параметров **Расчёт на дренаж**.
- » В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление слоя грунта в чертеже и области формирования конструкции дорожной одежды.



## 2.4. 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.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Приобр
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки,	h = 5 см	$E_{\text{пов}} = 544 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 3200 \text{ МПа}$ Запас = 97%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	$E_{\text{пов}} = 459 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 2000 \text{ МПа}$
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см		
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	$E_{\text{пов}} = 42 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 420 \text{ МПа}$
	Геотекстильный нетканый иглопробивной поли...			$\alpha = 0,326$
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{\text{пов}} = 46 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 46 \text{ МПа}$

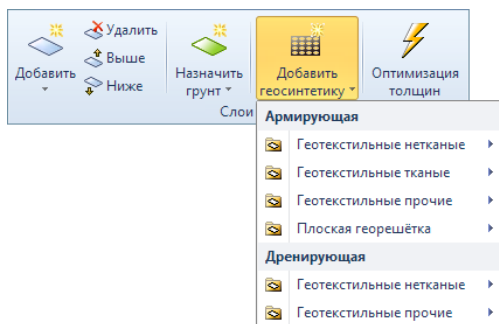
Прослойка геосинтетического материала

## 2.4.1. Добавление геосинтетического материала

Добавление геосинтетической прослойки возможно несколькими способами.

Первый способ добавления материала

В области формирования конструкции дорожной одежды выделите конструктивный слой, в который следует добавить геосинтетическую прослойку. Затем нажмите кнопку **Конструкция > 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 три группы: **Геосинтетические упрочняющие материалы**, **Геосинтетические дренирующие материалы** и **Пространственные геосинтетические материалы**. Нажмите на нужном материале кнопку мыши и «перетащите» в область формирования конструкции дорожной одежды в нужный конструктивный слой.

## Замечание

При добавлении геосинтетических материалов с помощью дерева материалов рядом с указателем мыши отображается специальная подсказка, содержащая вспомогательную информацию о выполняемых действиях. Подсказка поможет сориентироваться при добавлении материалов на начальном этапе освоения системы.

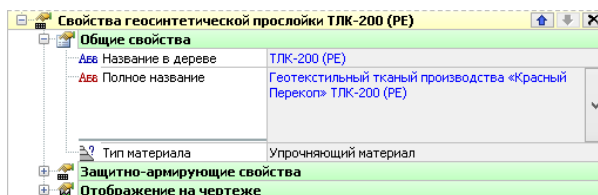
Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 544 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 82%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 459 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 352 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа


Перетащите материал в один из слоев дорожной одежды для создания геосинтетической прослойки:  
 Геотекстильный нетканый игольчатый полипропиленовый («Каменное окошко») (И. РР)

## 2.4.2. Редактирование параметров геосинтетического материала

Параметры геосинтетической прослойки обозначены в виде отдельной группы того конструктивного слоя, в который добавлен геосинтетический материал. Чтобы отобразить их, выделите конструктивный слой (в инспекторе объектов 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 последней ветви дерева библиотеки материалов.



- » В поле **Полное название** отображается название геосинтетического материала, определённое в библиотеке материалов в поле **Полное название**. Нажав кнопку  и выбрав пункт **По умолчанию**, можно автоматически сформировать название материала, заданное в библиотеке в поле **Название в дереве**.
- » В поле **Тип материала** указывается тип геосинтетики: **Упрочняющий материал** или **Дренажный материал**. Тип материала соответствует группе, к которой относится геосинтетический материал.



- » Для материалов из группы **Геосинтетические упрочняющие материалы** доступна группа параметров **Защитно-армирующие свойства**. В этой группе можно задать свойства, влияющие на прочностные характеристики геосинтетического материала.
  - » Условный модуль деформации задаётся в поле **Условный модуль деформации**.
  - » Величина прочности при растяжении (разрывная нагрузка) задаётся в поле **Прочность при растяжении**.
  - » Коэффициент повышения сопротивления задаётся в поле **Коэффициент повышения сопротивления  $K_a$** .
  - » Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов задаётся в поле **Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов  $K_{Np}$** .

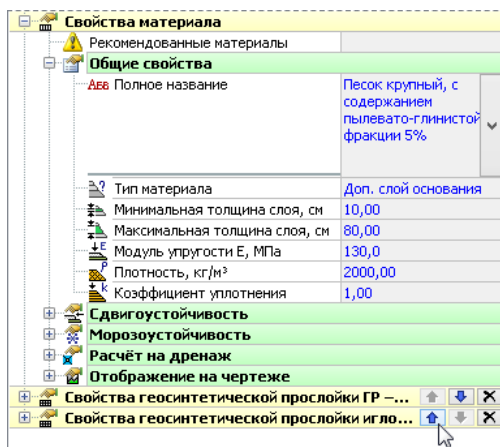
Защитно-армирующие свойства	
Сырьё	Полиэтилен
Условный модуль деформации, кН/м	100,00
Прочность при растяжении, кН/м	70,00
Коэффициент повышения сопротивления $K_a$	1,00
Коэффициент уменьшения влияния усталостных процессов $K_{Np}$	1,00

- » Для материалов из группы **Геосинтетические дренажные материалы** доступна группа параметров **Дренажные свойства**. В этой группе можно задать поверхностную плотность для материала.
- » В группе **Отображение на чертеже** объединены параметры, влияющие на оформление геосинтетического материала в чертеже и области формирования конструкции дорожной одежды.

## 2.4.3. 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 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.



## Выводы

Конструкция дорожной одежды состоит из слоёв. Для удобства формирования конструкции предлагается несколько вариантов добавления слоёв и грунтов земляного полотна. Набор слоёв в конструкцию может происходить очень быстро, благодаря разработанной системе хранения и именования материалов.

Все конструкции отображаются в области формирования конструкций. В этой области для каждого слоя показаны наименование материала, формирующего слой, и другая полезная информация: модуль упругости, название конструктивного слоя, пиктограмма, расчётные значения и др.

Для каждого материала, формирующего слой, заданы значения его физико-механических параметров (модуль упругости, сцепление, плотность и т.п.). Просмотреть их можно в инспекторе объектов. При необходимости в инспекторе объектов любой из параметров можно изменить, причём для ключевых параметров, например, модуля упругости, система установит «флажок», позволяющий в любой момент времени увидеть, что параметр редактировали и значение на данный момент не соответствует нормативным документам.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды дорожных одежд позволяет рассчитывать система IndorPavement?
2. По какому принципу раскрашиваются слои в области формирования конструкции?
3. Какие конструкции считаются жёсткими? Назовите три принципа.
4. На какие типы делятся слои в конструкции? Где можно задать название конструктивного слоя (тип)?
5. В соответствии с каким правилом происходит добавление слоёв в конструкцию? Позволяет ли система нарушать данное правило, изменяя положение слоёв?
6. Каким образом можно временно исключить слой из расчёта, не удаляя его при этом?



# Глава 3

---

## 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 может быть произведён расчёт дренарующего и морозозащитного слоёв или расчёт конструкции на морозоустойчивость в целом.

В этой главе рассматривается визуальный анализ результатов расчётов, получаемых в процессе проектирования конструкции дорожной одежды, ввод исходных данных проекта, а также подробно описывается проведение расчётов конструкции дорожной одежды по всем доступным критериям и влияние геосинтетических материалов на расчётные параметры.

Система IndorPavement может производить расчёт нежёстких конструкций дорожных одежд по нескольким методикам. Выбрать методику можно в группе **Главная > Методики**. Далее расчёты будут рассмотрены в соответствии с методикой ОДН 218.046–01 [5].

## 3.1. Визуальный анализ расчёта


В области формирования конструкции информация о дорожной одежде представлена в табличном виде. Строками являются слои дорожной одежды, а столбцы содержат краткую информацию о параметрах слоя (материал, толщина, модуль упругости) и результаты расчёта по выбранным критериям.


Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>						
<b>Вариант № 1</b>						
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	$E_{\text{слоя}} = 427 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 3200 \text{ МПа}$ Запас = 43%	$E_{\text{сдв}} = 1800 \text{ МПа}$	$E_{\text{изг}} = 4500 \text{ МПа}$
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки притытый I марки	h = 8 см	$E_{\text{слоя}} = 361 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 2000 \text{ МПа}$	$E_{\text{сдв}} = 1200 \text{ МПа}$	$E_{\text{изг}} = 2800 \text{ МПа}$
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопритытый I (15...22)	h = 15 см	$E_{\text{слоя}} = 268 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 2000 \text{ МПа}$	$E_{\text{сдв}} = 1200 \text{ МПа}$	$E_{\text{изг}} = 2100 \text{ МПа}$ Запас = 62%
Основание	Смесь щебеночно-гравийно-песчаная II	h = 26 см	$E_{\text{слоя}} = 122 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 420 \text{ МПа}$	$E_{\text{сдв}} = 420 \text{ МПа}$	$E_{\text{изг}} = 420 \text{ МПа}$
Грунт земляного полотна	Сильно пылеватая		$E_{\text{слоя}} = 46 \text{ МПа}$	$E_{\text{упр}} = 46 \text{ МПа}$	$E_{\text{сдв}} = 46 \text{ МПа}$ Запас = 21%	$E_{\text{изг}} = 46 \text{ МПа}$

### Замечание


В процессе проектирования при изменении исходных данных, конструкции дорожной одежды или параметров слоёв, составляющих её, все расчётные характеристики в проекте автоматически пересчитываются, что можно наблюдать в области формирования конструкции дорожной одежды и в инспекторе объектов. Таким образом, вы всегда имеете актуальные данные и можете в любой момент визуально оценить конструкцию.


Рассмотрим подробно каждый столбец.


 **Конструкция**. В этом столбце отображается название слоя конструкции, которое задаётся в свойствах слоя в поле **Название**.


 В этом столбце схематично показано отображение материала условными знаками, которое заранее определено для каждого материала в библиотеке. Изменить параметры оформления материала можно на вкладке **Свойства слоя** в группе параметров **Отображение на чертеже**.


**Материал.** В этом столбце отображается название материала, определённое для него в библиотеке материалов в поле **Полное название**.

 **Толщина.** Для каждого материала в системе определена толщина слоя при добавлении его в конструкцию, она равна 10 см. В столбце **Толщина** отображается текущая заданная толщина слоя, в скобках отображается диапазон поиска толщин при оптимизации данного слоя. Изменить толщину слоя можно на вкладке **Свойства слоя** в поле **Толщина**, изменить диапазон поиска толщин можно в полях **Минимум** и **Максимум** группы **Параметры поиска вариантов толщин**.


 **Модуль.** В этом столбце отображается расчётное значение поверхностного модуля упругости, которое рассчитывается для каждого слоя с учётом всех нижележащих слоёв конструкции и параметров проекта. Для слоя грунта поверхностный модуль упругости принимается равным модулю упругости самого материала.


 **Прогиб.** В столбце отображается значение модуля упругости материала при расчёте на упругий прогиб. Для верхнего слоя конструкции нежёсткой дорожной одежды отображается запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.


 **Сдвиг.** В этом столбце отображается значение модуля упругости материала (для монолитных материалов и асфальтобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сдвигоустойчивость, учитывая динамическую нагрузку). Для слабосвязных слоёв основания (если в свойствах слоя установлена опция **Проверить на сдвиг**) и грунтов отображается запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.

 **Изгиб.** В этом столбце отображается значение модуля упругости материала (для монолитных материалов и асфальтобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе). Для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв покрытия отображается

запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.

 **Стат. нагрузка.** В этом столбце отображается значение модуля упругости материала (для асфальтобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сдвигоустойчивость, учитывая статическую нагрузку). Для слабосвязных слоёв основания (если в свойствах слоя установлена опция **Проверить на сдвиг**) и грунтов отображается запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.




 **Мороз.** При расчёте конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость по общему алгоритму в столбце **Мороз** отображается ожидаемое пучение грунта земляного полотна  $l_{пуч}$  и запас морозоустойчивости грунта в сантиметрах. Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на морозоустойчивость с учётом морозозащитного слоя, то в этом столбце отображается минимально допустимая толщина морозозащитного слоя  $h_{min}$  и расчётная величина запаса морозозащитного слоя в сантиметрах.

 **Дренаж.** Для дреназирующего слоя конструкции в этом столбце отображается минимально допустимая толщина слоя  $h_{min}$ , а также расчётная величина запаса дреназирующего слоя в сантиметрах.

Помимо числовых значений расчётных параметров, в области формирования конструкции отображаются подсказки в виде значков. Значки, выделенные зелёным цветом, обозначают, что конструкция дорожной одежды удовлетворяет выбранным критериям расчёта. Красные значки информируют о том, что конструкция не удовлетворяет критериям расчёта и нужно изменить материалы, положение или толщины слоёв или изменить параметры проекта.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг	Измб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>						
<b>Вариант № 1</b>						
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячий (плотный) марки АСБТ	h = 5 см	Е <sub>слое</sub> = 427 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 43%	Е <sub>сдв</sub> = 1800 МПа	Е <sub>изб</sub> = 4500 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячий (плотный) марки АСБТ	h = 8 см	Е <sub>слое</sub> = 361 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3000 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 1200 МПа	Е <sub>изб</sub> = 2800 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячий (плотный) марки АСБТ	h = 15 см (15..22)	Е <sub>слое</sub> = 288 МПа	Подсказка о результате расчёта на упругий прогиб	МПа	Е <sub>изб</sub> = 2100 МПа Запас = 62%
Основание	Смесь щебено-гравийно-песчаная и	h = 26 см	Е <sub>слое</sub> = 122 МПа	Е <sub>упр</sub> = 420 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 420 МПа	Е <sub>изб</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Смесь пылеватая		Е <sub>слое</sub> = 46 МПа	Е <sub>упр</sub> = 46 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 46 МПа Запас = 21%	Е <sub>изб</sub> = 46 МПа

Рассмотрим подробно варианты отображения подсказок.

 **Прогиб**. Если запас прочности верхнего слоя конструкции нежесткой дорожной одежды в процентном соотношении больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

### Замечание




При расчёте конструкции дорожной одежды на прочность по любым критериям рассчитывается запас прочности в процентном соотношении. Представим его в виде обобщённой формулы:




$$\text{Запас} = \frac{K_{\text{расч}}^* - K_{\text{тп}}^*}{K_{\text{тп}}^*} \times 100\%$$




где  $K_{\text{расч}}^*$  — расчётный коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по заданному критерию расчёта;

$K_{\text{тп}}^*$  — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по заданному критерию расчёта.





.....



 **Сдвиг**. Если запас прочности в процентном соотношении слабосвязных слоёв основания или грунта земляного полотна при динамической нагрузке больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

 **Изгиб**. Если запас прочности в процентном соотношении нижнего слоя в пакете монолитных слоёв больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

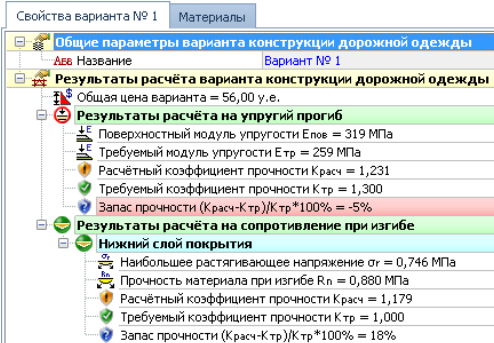
 **Стат. нагрузка**. Если запас прочности в процентном соотношении слабосвязных слоёв основания или грунта земляного полотна при статической нагрузке больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .



❄ **Мороз.** Если при расчёте конструкции на морозоустойчивость по общему алгоритму ожидаемое пучение грунта не превышает допустимое значение, то в поле отображается значок , в противном случае — значок . Если при расчёте конструкции на морозоустойчивость с учётом морозозащитного слоя текущая толщина морозозащитного слоя не меньше минимально допустимой толщины, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

🚰 **Дренаж.** Если расчётная толщина запаса дренирующего слоя больше нуля, то отображается значок , в противном случае — значок .


Сводка о результатах расчёта по всем заданным критериям отображается в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта**. Чтобы её отобразить, щёлкните мышью в строке **Вариант** в области формирования конструкции дорожной одежды. Если конструкция не удовлетворяет какому-либо критерию расчёта, то результаты (например, **Запас прочности**) выделяются красным цветом.

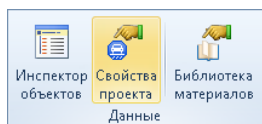


Свойства варианта № 1 | Материалы

- Общие параметры варианта конструкции дорожной одежды
  - Название: Вариант № 1
- Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды
  - Общая цена варианта = 56,00 у.е.
  - Результаты расчёта на упругий прогиб**
    - Поверхностный модуль упругости  $E_{пов}$  = 319 МПа
    - Требуемый модуль упругости  $E_{тр}$  = 259 МПа
    - Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  = 1,231
    - Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр}$  = 1,300
    - Запас прочности  $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} * 100\%$  = -5%
  - Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**
    - Нижний слой покрытия**
      - Наибольшее растягивающее напряжение  $\sigma_r$  = 0,746 МПа
      - Прочность материала при изгибе  $R_n$  = 0,880 МПа
      - Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  = 1,179
      - Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр}$  = 1,000
      - Запас прочности  $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} * 100\%$  = 18%

## 3.2. Ввод исходных данных

Одной из важных 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 > Данные >**  **Свойства проекта** или щёлкните мышью в поле **Проект конструкции дорожной одежды** в области формирования конструкции дорожной одежды.



### 3.2.1. Задание общих параметров

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**.

Свойства проекта		Материалы
<b>Общие параметры проекта</b>		
Название объекта		M-53 (участок 1)
Район проектирования		Кемеровская область
Единица стоимости конструкции		
<b>Критерии расчёта</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчёт на сдвигоустойчивость	
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчёт на сопротивление при изгибе	
<input type="checkbox"/>	Расчёт на статическую нагрузку	
<input type="checkbox"/>	Расчёт на морозоустойчивость	
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчёт дренажного слоя	
<input type="checkbox"/>	Расчёт колеиности	
<b>Параметры расчёта</b>		
	Общая методика расчёта нежёстких дорожных одежд	ОДМ 218.046-01
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчёт с учётом геосинтетики	
	Методика расчёта	ОДМ 218.5.003-2010

- » 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.
- » Для расчёта конструкции дорожной одежды на сдвигоустойчивость в слабосвязных слоях основания и грунтах 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 при статической нагрузке установите опцию **Расчёт на статическую нагрузку**.
- » Чтобы рассчитать конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость, установите опцию **Расчёт на морозоустойчивость**.
- » Для расчёта дренарующего слоя дорожной одежды установите опцию **Расчёт дренарующего слоя**.

### Замечание

1. Выбрать критерии расчёта можно также на вкладке **Главная** в группе **Расчёт**.
  2. Если методика не предполагает расчёт на прочность по критерию упругого прогиба (например, в свойствах проекта задана статическая нагрузка на ось более 120 кН), но необходимо приблизительно рассчитать прочность, то можно установить опцию **Расчёт на упругий прогиб** в свойствах проекта.  
.....
- » В поле **Общая методика расчёта нежёстких дорожных одежд** выберите нормативный документ, регламентирующий проведение расчётов для конструкций нежёстких дорожных одежд: ОДН 218.046– 01, МОДН 2– 2000, ВСН 46– 83 или СН РК 3.03–19/34–2006.

## 3.2.2. Задание параметров 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 Ia, Ib, Iv, II, III, IV или V.

Параметры района проектирования	
Техническая категория дороги	Ia категория
Тип дорожной одежды	Капитальный
Дорожно-климатическая зона	II - подзона 1
Восточный район	<input type="checkbox"/>
Схема увлажнения	Схема 1 (атмосферные осадки)
Расчётный срок службы T <sub>сл</sub> , лет	20
Ширина проезжей части, м	7,50
Требуемые коэффициенты прочности	По ОДН 218.046-01
Заданная надёжность K <sub>п</sub>	0,95
Требуемый K <sub>пр</sub> (упругий прогиб)	1,30
Требуемый K <sub>пр</sub> (усиление)	1,00
Требуемый K <sub>пр</sub> (сдвиг, изгиб)	1,00
Нормативное отклонение прочности t	1,71

- » В поле **Тип дорожной одежды** задаётся тип покрытия дорожной одежды: **Капитальный**, **Облегчённый** или **Переходный**. Для дорог I категории тип дорожной одежды всегда является капитальным и это поле недоступно. В соответствии с ОДН 218.046–01 от выбранного типа дорожной одежды напрямую зависит тип используемых материалов покрытия. Например, для дорог I категории рекомендуется использовать в качестве покрытия горячие асфальтобетонные смеси.

- » 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 Т<sub>рдг</sub>**). Чтобы отобразить или скрыть характеристики района на карте, нажмите соответствующую кнопку. При необходимости можно включить сразу несколько кнопок.

- » В поле **Схема увлажнения** можно указать преобладающий тип увлажнения (в соответствии с ОДН 218.046–01): **Схема 1 (атмосферные осадки)**, **Схема 2 (поверхностные воды)** или **Схема 3 (грунтовые воды)**.
- » Расчётный срок службы задаётся в годах в поле **Расчётный срок службы Т<sub>сл</sub>**.
- » Дорожную одежду проектируют с требуемым уровнем надёжности, под которым понимают вероятность безотказной

работы в течение межремонтного периода. Величину заданной надёжности  $K_n$  (обеспеченность по прочности) задают в поле **Заданная надёжность  $K_n$** . 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  $K_{пр}$  (упругий прогиб)**). Он зависит не только от требуемого уровня заданной надёжности, но и от категории дороги, типа её покрытия. Чтобы конструкция дорожной одежды удовлетворяла критерию прочности при расчёте на упругий прогиб, расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  должен быть больше требуемого коэффициента прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба  $K_{пр}$  или равен ему:

$$K_{расч} \geq K_{пр}$$

Для наглядности  $K_{расч}$  можно представить следующим соотношением:

$$K_{расч} = \frac{E_{общ}}{E_{min}} \geq K_{пр},$$

где  $E_{общ}$  — общий расчётный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{min}$  — минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа.

- » Требуемый коэффициент прочности при сдвиге и растяжении при изгибе (поле **Требуемый  $K_{пр}$  (сдвиг, изгиб)**). Чтобы конструкция удовлетворяла критерию прочности при расчёте на сдвигоустойчивость, расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  должен быть больше требуемого коэффициента прочности дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости  $K_{пр}$  или равен ему:

$$K_{расч} \geq K_{пр}$$

Для наглядности  $K_{расч}$  можно представить следующим соотношением:

$$K_{расч} = \frac{T_{пр}}{T_{ак}} \geq K_{пр},$$

где  $T_{пр}$  — предельная величина активного напряжения сдвига (в наиболее опасной точке конструкции), превышение которой вызывает нарушение прочности сдвига, МПа;

$T_{ак}$  — расчётное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенного внутренним трением) в наиболее опасной точке конструкции от действующей временной нагрузки, МПа.

Чтобы конструкция удовлетворяла критерию расчёта на изгиб, коэффициент  $K_{расч}$  должен быть больше или равен  $K_{пр}$ . Аналогично предыдущей формуле представим это соотношение в виде:

$$K_{расч} = \frac{R_N}{\sigma_r} \geq K_{пр},$$

где  $R_N$  — прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учётом усталостных явлений, МПа;

$\sigma_r$  — наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчётом, МПа.

- » Коэффициент нормативного отклонения значения прочностной характеристики при допустимом уровне надёжности, используемый при расчёте на изгиб (поле **Нормативное отклонение прочности t**).



### 3.2.3. Задание расчётных параметров 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	<input checked="" type="checkbox"/>
Давление колеса на дорогу	Группа расчётной нагрузки № 1
Давление в шине p, МПа	0,60
Диаметр отпечатка шины D (дин.), см	37,00
Диаметр отпечатка шины D (стат.), см	33,00
Статическая нагрузка на ось, кН	100,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность	50,00
Число приложений расчётной нагрузки ZNp	Явное задание
Значение ZNp	7179494

- » В поле **Давление колеса на дорогу** можно выбрать одну из четырёх групп расчётной нагрузки, при этом ниже следующие 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  $Q_{расч}$  (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**).
- » В качестве характеристики, отражающей интенсивность воздействия подвижной нагрузки на конструкцию, можно использовать суммарное расчётное число приложения приведённой расчётной нагрузки к расчётной точке на поверхности конструкции за срок службы. Для явного задания этой характеристики выберите в поле **Число приложений расчётной нагрузки  $\Sigma N_p$** , пункт **Явное задание** и введите значение в поле **Значение  $\Sigma N_p$** .

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  $\Sigma N_p$**  отобразится вычисленное значение приложения расчётной нагрузки.

☰	Число приложений расчётной нагрузки $\Sigma N_p$	Расчёт по модулю упругости
☰	Значение $\Sigma N_p$	7179494
☰	Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	326,15

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

- » Тип проектируемого участка дороги задаётся в поле **Тип участка дороги** и может быть следующим: **Полоса движения, Обочина, Перекрёсток, Краевая полоса, Остановочная полоса**. В соответствии с выбранным типом участка дороги варьируются параметры, рассматриваемые ниже.

- » Количество полос движения дороги в обоих направлениях задаётся в поле **Число полос движения (в обе стороны)**.
- » В поле **Номер расчётной полосы от обочины** указывается порядковый номер полосы, для которой производится расчёт.

Число приложений расчётной нагрузки ZNp	Расчёт по условиям движ...
Значение ZNp	6604707
Тип участка дороги	Полоса движения
Число полос движения (в обе стороны)	6
Номер расчётной полосы от обочины	1
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой	7 (140 дней) <span style="float: right;">[Карта...]</span>
Закон изменения интенсивности при расчёте слоёв усиления	Геометрическая прогрессия
Показатель изменения интенсивности по годам q	1,04
Способ задания приведённой интенсивности	На последний год службы
Приведённая интенсивность Np	Явное задание
Приведённая интенсивность, авт./сут	3200

- » Расчётное число дней в году, соответствующих определённому состоянию деформируемости конструкции, можно задать явно, выбрав в поле **Способ определения числа расчётных дней** пункт **Явное задание** и задав значение в поле **Число расчётных дней**, либо исходя из номера района по числу расчётных дней в году, выбрав пункт **По номеру района** и указав номер района в поле **Район по Трдг (количеству дней с деформируемой конструкцией)**. Чтобы уточнить номер района, воспользуйтесь кнопкой **Карта...**
- » Закон изменения интенсивности для конструкции дорожной одежды с учётом слоёв усиления задаётся в поле **Закон изменения интенсивности при расчёте слоёв усиления**. Возможны следующие варианты: **Геометрическая прогрессия**, **Линейный рост** или **Постоянная интенсивность**.
- » Показатель изменения интенсивности движения расчётного типа автомобиля по годам можно задать в поле **Показатель изменения интенсивности по годам q**.
- » 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**.

- » Приведённую интенсивность можно задать явно, выбрав в поле **Приведённая интенсивность №** пункт **Явное задание**, а также из расчёта по приведённым автомобилям или по перспективной интенсивности.
- » При выборе пункта **Расчёт по приведённым автомобилям** необходимо задать параметры интенсивности автомобилей по видам: **Легковые и грузовые автомобили до 2 т**, **Грузовые автомобили от 2 до 5 т**, **Грузовые автомобили от 5 до 8 т**, **Грузовые автомобили свыше 8 т**, **Автобусы**, **Тягачи с прицепами**. При этом коэффициенты приведения  $S_m$  (отображаемые справа от числового поля при его редактировании) назначаются в соответствии с нагрузкой на ось (см. [4, приложение 1 (обязательное) «Расчётные нагрузки»]). Если расчёт производится на первый год службы, то по заданным параметрам вычисляются приведённая интенсивность и суммарная интенсивность в первый год. Если расчёт производится на последний год службы, то вычисляется только приведённая интенсивность.

Приведённая интенсивность №	Расчёт по приведённым автомобилям
Приведённая интенсивность, авт./сут	694
Способ определения коэффициентов приведения к расчётной нагрузке	В соответствии с ОДН 218.046-01
Интенсивность по видам автомобилей, авт./сут	
Легковые и грузовые автомобили до 2 т	5000
$S_{из}$ 5 т с/м	0,0050
Грузовые автомобили от 2 до 5 т	3000
Грузовые автомобили от 5 до 8 т	300
Грузовые автомобили свыше 8 т	50
Автобусы	2000
Тягачи с прицепами	10

- » При выборе пункта **Расчёт по перспективной интенсивности** 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.

[-] Приведённая интенсивность №	Расчёт по перспективной интенсивности
[-] Приведённая интенсивность, авт./сут	212
[-] Перспективная интенсивность, авт./сут	3200,00
[-] Способ определения коэффициентов приведения к расчётной нагрузке	В соответствии с ОДН 218.046-01
[-] Доля автомобилей, %	
[-] Легковые и грузовые автомобили до 2 т	51,40
[-] >= 2 т < 5 т	0,0050
[-] Грузовые автомобили от 2 до 5 т	25,00
[-] Грузовые автомобили от 5 до 8 т	3,00
[-] Грузовые автомобили свыше 8 т	0,50
[-] Автобусы	20,00
[-] Тягачи с прицепами	0,10

### 3.2.4. Задание проектных данных трассы

Параметры, определяющие геометрические особенности трассы объединены на вкладке **Свойства проекта** в группе **Проектные данные трассы**.

Проектные данные трассы	
Длина участка проектирования, м	1000
Ширина участка проектирования, м	10
Ширина проезжей части, м	7,50
Тип земляного полотна	Нулевые места

- » Длина и ширина участка проектирования задаётся в полях **Длина участка проектирования** и **Ширина участка проектирования**. Обратите внимание, что данные параметры не участвуют непосредственно в расчётах, а влияют исключительно на стоимостную составляющую 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 дренарующего слоя.
- » 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 может играть важную роль при расчёте дорожной одежды на морозоустойчивость.

Если дорожная одежда рассчитывается на морозоустойчивость, то в группе **Проектные данные трассы** 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**).

Проектные данные трассы	
Длина участка проектирования, м	1000
Ширина участка проектирования, м	10
Ширина проезжей части, м	7,50
Тип земляного полотна	Выемка
Глубина выемки	0,50

При расчёте толщины дренирующего слоя в группе **Проектные данные трассы** отображаются дополнительные параметры. Они используются при автоматизированном расчёте длины пути фильтрации.

Проектные данные трассы	
Длина участка проектирования, м	1000
Ширина участка проектирования, м	10
Ширина проезжей части, м	7,50
Тип земляного полотна	Насыпь
Разделительная полоса	<input type="checkbox"/>
Однокатный профиль	<input type="checkbox"/>
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.
- » **Однокатный профиль.** При установке этой опции профиль считается однокатным, в противном случае — двускатным.
- » 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**.

### 3.2.5. Задание расчётных параметров увлажнения грунта

Расчётные характеристики грунта рабочего слоя земляного полотна при расчёте дорожной одежды на прочность задаются в группе **Расчётная относительная влажность грунта  $W_p$** .

- » Способ расчёта влажности дисперсного грунта можно выбрать в поле **Способ расчёта  $W_p$** . При выборе пункта **Задать в явном виде** становится доступным для редактирования поле **Значение  $W_p$** .

Если выбран пункт **Рассчитать по параметрам местности**, то становятся доступны параметры:

- » **Тип местности по рельефу**. В этом поле можно выбрать один из трёх типов местности по рельефу: равнинный район, предгорный район (до 1000 м в.у.м.) или горный район (более 1000 м в.у.м.).

Расчётная относительная влажность грунта $W_p$	
Способ расчёта $W_p$	Рассчитать по параметрам местности
Значение $W_p$	0,78
Тип местности по рельефу	Равнинный
Поправка на конструктив	0,00
Средняя многолетняя влажность $W_{таб}$	Рассчитать по параметрам местности
Значение $W_{таб}$	0,67
Тип земляного полотна	Нулевые места

- » **Поправка на конструктив**. В этом поле задаётся поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин. Если задано значение ноль, то поправка при расчёте влажности дисперсного грунта не учитывается.
- » 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  $W_{таб}$**  пункт **Задать в явном виде** и указав нужное значение в поле **Значение  $W_{таб}$** .



- » Для некоторых грунтов существует возможность автоматически рассчитать среднее многолетнее значение относительной влажности грунта по параметрам местности, выбрав в поле **Средняя многолетняя влажность  $W_{\text{таб}}$  пункт Рассчитать по параметрам местности** и задав тип земляного полотна в поле **Тип земляного полотна**. Если для текущего грунта авторасчёт по типу земляного полотна невозможен, то в поле **Средняя многолетняя влажность  $W_{\text{таб}}$**  будет отображаться информация об этом.

### 3.3. 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.

### 3.3.1. Произведение расчёта

Чтобы рассчитать нежёсткую конструкцию на упругий прогиб, выполните следующие действия:

1. Убедитесь, что выбрана нужная методика расчёта — ОДН 218.046–01 (группа **Методики** на вкладке **Главная**).
2. В свойствах проекта задайте параметры в группах **Параметры района проектирования**, **Расчётная нагрузка** и **Расчётная относительная влажность грунта  $W_p$** .

Параметры района проектирования	
Техническая категория дороги	Ia категория
Тип дорожной одежды	Капитальный
Дорожно-климатическая зона	II - подзона 6
Схема увлажнения	Схема 1 (атмосферные осадки)
Расчётный срок службы $T_{cl}$ , лет	20
Ширина проезжей части, м	7,50
Требуемые коэффициенты прочности	По ОДН 218.046-01
Заданная надёжность $K_f$	0,95
Требуемый $K_{pr}$ (упругий прогиб)	1,30
Требуемый $K_{pr}$ (усиление)	1,00
Требуемый $K_{pr}$ (сдвиг, изгиб)	1,00
Нормативное отклонение прочности $t$	1,71
Расчётная нагрузка	
Двухбаллонное колесо	<input checked="" type="checkbox"/>
Давление колеса на дорогу	Группа расчётной нагрузки № 1
Давление в шине $p$ , МПа	0,60
Диаметр отпечатка шины $D$ (дин.), см	37,00
Диаметр отпечатка шины $D$ (стат.), см	33,00
Статическая нагрузка на ось $Q$ , кН	100,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность, кН	50,00
Число приложений расчётной нагрузки $Z_{Np}$	Явное задание
Значение $Z_{Np}$	7179494
Расчётная относительная влажность грунта $W_p$	
Способ расчёта $W_p$	<input type="checkbox"/> Рассчитать по параметрам местности
Значение $W_p$	0,88
Тип местности по рельефу	<input checked="" type="checkbox"/> Равнинный
Поправка на конструктив	0,00
Средняя многолетняя влажность $W_{таб}$	<input type="checkbox"/> Рассчитать по параметрам местности
Значение $W_{таб}$	0,75
Тип земляного полотна	<input checked="" type="checkbox"/> Нулевые места

### Замечание

При задании статической нагрузки на ось от 120 кН и более расчёт на прочность по критерию упругого прогиба не производится.

3. Для каждого конструктивного слоя задайте его толщину в поле **Толщина**.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Авв Название	Средний слой покрытия
<input checked="" type="checkbox"/> Слой не входит в конструкцию дорожной одежды	<input type="checkbox"/>
Толщина, см	8,00
Слой усиления	<input type="checkbox"/>
Метод определения Елов	Вычислять по номограмме
Параметры поиска вариантов толщин	
<input checked="" type="checkbox"/> Вариант без этого слоя	<input type="checkbox"/>
Минимум, см	5,00
Максимум, см	15,00
Шаг перебора, см	4,00
Варианты толщин, см: 8, 12	
Удельная цена, у.е.	75,00

4. Для каждого материала в библиотеке определены модули упругости. Убедитесь, что для каждого слоя эти значения верны (поле **Модуль упругости E** в свойствах слоя).

Свойства материала	
Рекомендованные материалы	
Общие свойства	
Авв Полное название	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из песчаной смеси марка битума БНД-60/90
Тип материала	Асфальтобетон
Минимальная толщина слоя, см	5,00
Максимальная толщина слоя, см	100,00
Модуль упругости E, МПа	2000,00 (по ОДН = 2000)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2300,00
Коэффициент уплотнения	0,95

### 3.3.2. Результаты расчёта



Краткая информация о результатах расчёта конструкции на прочность по критерию упругого прогиба отображается в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Прогиб**. Для каждого слоя конструкции отображается модуль упругости при расчёте на упругий прогиб с учётом всех нижележащих слоёв. Модуль упругости слоя грунта земляного полотна принимается равным модулю упругости материала. Для верхнего слоя покрытия 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:

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

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
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 427 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 43%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 361 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 15 см (15..22)	E <sub>пов</sub> = 266 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 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		
Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды		
Общая цена варианта = 2 265,00 у.е.		
Результаты расчёта на упругий прогиб		
$E_{пов}$	Поверхностный модуль упругости $E_{пов}$	= 427 МПа
$E_{тр}$	Требуемый модуль упругости $E_{тр}$	= 229 МПа
$K_{расч}$	Расчётный коэффициент прочности $K_{расч}$	= 1,863
$K_{тр}$	Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}$	= 1,300
	Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\%$	= 43%

Рассмотрим подробно результаты расчёта конструкции на упругий прогиб по ОДН 218.046–01.

- » Поверхностный модуль упругости  $E_{пов}$  рассчитывается при помощи номограммы, учитывающей модуль упругости слоя и его толщину (см. [5, рис. 3.1]).
- » Требуемый модуль упругости  $E_{тр}$  рассчитывается по формуле:

$$E_{тр} = 98,65 \left[ Ig \left( \sum N_p \right) - c \right],$$

где  $\sum N_p$  — суммарное расчётное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, задаваемое в свойствах проекта в группе **Расчётная нагрузка**;

$c$  — эмпирический параметр, зависящий от нагрузки на ось, задаваемой в параметрах проекта в поле **Статическая нагрузка на ось Q**.


- » Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  при расчёте на упругий прогиб.
- » Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр}$  при расчёте на упругий прогиб.
- » Запас прочности слоя (как в области формирования конструкции дорожной одежды).


## 3.4. Расчёт на сдвигоустойчивость

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

### 3.4.1. Производство расчёта


Чтобы обеспечить конструкцию дорожной одежды устойчивой по критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке, произведите следующий расчёт:

1. Убедитесь, что выбрана нужная методика расчёта — ОДН 218.046–01 (группа **Методики** на вкладке **Главная**).
2. Установите критерий расчёта на сдвигоустойчивость, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Сдвигоустойчивость**.
3. В свойствах проекта задайте параметры в группах **Параметры района проектирования**, **Расчётная нагрузка** и **Расчётная относительная влажность грунта  $W_p$** .
4. Если в дорожную одежду включаются слои из слабосвязных материалов, которые не нужно проверять на сдвигоустойчивость, то в их свойствах отключите опцию **Проверить на сдвиг**.
5. Для каждого слоя в его свойствах задайте толщину в поле **Толщина**. По умолчанию при добавлении слоя в дорожную одежду его толщина определяется 10 см.
6. Для всех слоёв задана плотность материала, определённая в библиотеке материалов. Убедитесь, что значения соответствуют материалам (поле **Плотность** в свойствах слоя).
7. Проверьте модули упругости материалов (поле **Модуль упругости  $E$** ). Для всех монолитных материалов и асфальтобетонов проверьте значения модулей упругости в группе **Сдвигоустойчивость**.

Сдвигоустойчивость	
 Модуль упругости Ерасч, сдвиг, МПа	1200,00



## Замечание

Значение модуля упругости, зависящего от дорожно-климатической зоны, берётся из библиотеки материалов. Если изменить значение в поле **Модуль упругости**  $E_{\text{расч., сдвиг}}$ , то справа появится кнопка . При нажатии кнопки в поле снова подставится значение из библиотеки материалов.

8. Убедитесь, что для слабосвязных материалов, материалов дополнительных слоёв основания и грунтов в группе **Сдвигоустойчивость** заданы корректные значения угла внутреннего трения при статическом действии нагрузки и для расчёта активного напряжения сдвига (поля **Стат. угол внутреннего трения**  $\varphi_{\text{ст}}$  и **Угол внутреннего трения**  $\varphi$ ). Также определите сцепление частиц материала (поле **Сцепление**  $c_n$ ) и коэффициент работы конструкции на границе основания и грунта (поле **Коэффициент**  $K_d$  **работы конструкции на границе**).

Сдвигоустойчивость		
Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{\text{ст}}$ , °		32,0
Угол внутреннего трения $\varphi$ , °		26,00
Сцепление $c_n$ , МПа		0,002
Коэффициент деформации $K_d$		2,00
$K_d$ (укрепленное основание)		4,00

## 3.4.2. Результаты расчёта

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 и асфальтобетонов отображается значение модуля упругости при расчёте на сдвигоустойчивость (динамическая нагрузка), для общих, слабосвязных материалов и материалов дополнительных слоёв основания отображается значение модуля упругости при расчёте на упругий прогиб. В слое грунта земляного полотна отображается значение модуля упругости материала.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 322 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 8%	E <sub>сдв</sub> = 1800 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 263 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>сдв</sub> = 1200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокоэластичный	h = 15 см (15, 22)	E <sub>пов</sub> = 180 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>сдв</sub> = 1200 МПа
Основание	Песок крупный с содержанием пылеватоглинист.	h = 25 см (10, 80)	E <sub>пов</sub> = 76 МПа	E <sub>упр</sub> = 130 МПа	E <sub>сдв</sub> = 130 МПа Запас = 95%
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа	E <sub>сдв</sub> = 46 МПа Запас = 14%



Помимо значения модуля упругости для слоёв, содержащих слабосвязный материал или материал дополнительного слоя основания, а также грунтов отображается значение запаса прочности, рассчитываемое по формуле:

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

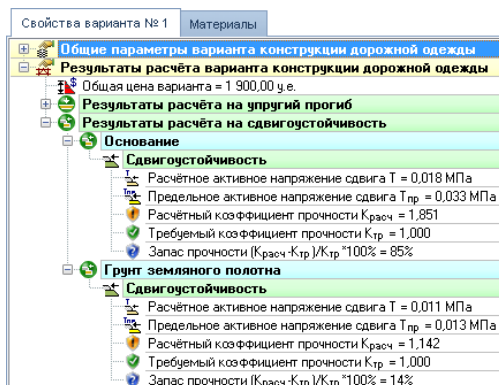
где  $K_{расч}$  — расчётный коэффициент прочности по сдвигоустойчивости;

$K_{тр}$  — 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 слоях, содержащих слабосвязный материал, 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 каждого слоя отдельно приведён более подробный отчёт о расчётных параметрах.



Рассмотрим подробно результаты расчёта на сдвигоустойчивость грунта земляного полотна по ОДН 218.046–01.

- » Расчётное активное напряжение сдвига грунта  $T$  рассчитывается по формуле:

$$T = \tau_n \times p,$$

где  $\tau_n$  — удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (см. [5, рис. 3.2, 3.3]);

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

- » Предельное активное напряжение сдвига  $T_{пр}$  рассчитывается по формуле (см. [4, гл. 3 «Расчёт дорожных одежд на прочность», раздел «Расчёт по условию сдвигоустойчивости

подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоёв»]):

$$T_{np} = K_{\partial} (c_n + 0,1 \gamma_{cp} \times z_{on} \times \operatorname{tg} \varphi_{cm}),$$

где  $K_{\partial}$  — коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания, задаваемый в параметрах песчаного слоя в полях **Коэффициент деформации  $K_{\partial}$  и  $K_{\partial}$  (укреплённое основание)**;

$c_n$  — сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), принимаемое с учётом повторности нагрузки, которое задаётся в параметрах слоя в поле **Сцепление  $c_n$** ;

$\gamma_{cp}$  — средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя, который рассчитывается по формуле (\*);

$z_{on}$  — глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции;

$\varphi_{cm}$  — расчётная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки, которая задаётся в параметрах слоя в поле **Стат. угол внутреннего трения  $\varphi_{ст}$** .

Расчёт средневзвешенного удельного веса конструктивных слоёв:

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum_i p_i \times h_i}{\sum_i h_i}, \quad (*)$$

где  $p_i$  — плотность материала  $i$ -го слоя, задаваемая в свойствах слоя в поле **Плотность**;

$h_i$  — толщина  $i$ -го слоя, задаваемая в свойствах слоя в поле **Толщина**.

- » Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  при расчёте на сдвигоустойчивость.
- » Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр}$  при расчёте на сдвигоустойчивость.
- » Запас прочности слоя (как в области формирования конструкции дорожной одежды).

### **Замечание**

Результаты расчёта, отображаемые в инспекторе объектов, также войдут в пояснительную записку и чертёж.

.....

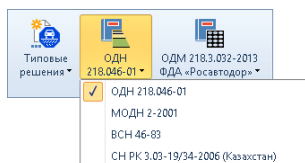
## 3.5. Расчёт на сопротивление при изгибе

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.

### 3.5.1. Производство расчёта

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

1. Убедитесь, что выбрана нужная методика расчёта — ОДН 218.046–01 (группа **Методики** на вкладке **Главная**).



2. Установите критерий расчёта на сопротивление при изгибе, нажав кнопку **Главная** > **Расчёт** > **Сопротивление при изгибе**.
3. В свойствах проекта задайте параметры в группах **Параметры района проектирования**, **Расчётная нагрузка** и **Расчётная относительная влажность грунта  $W_p$** .
4. В свойствах слоя задайте толщину каждого конструктивного слоя в поле **Толщина**.
5. Убедитесь, что для конструктивных слоёв из материалов следующих типов задан нужный модуль упругости в поле **Модуль упругости  $E$ : Общий материал, Слабосвязный материал и Доп. слой основания**. При необходимости измените его.
6. Убедитесь, что для всех монолитных материалов и асфальтобетонов в свойствах материала в группе **Изгиб** задан нужный модуль упругости в поле **Модуль упругости  $E_{расч., изгиб}$** .
7. Определите, какой слой является нижним (т.е. ближе всех располагается к основанию конструкции) в пакете монолитных слоёв — это может быть монолитный материал или асфальтобетон. Для этого слоя проверьте параметры снижения прочности из-за повторяющейся нагрузки и погодноклиматических факторов в группе **Изгиб**. При необходимости

данные параметры можно изменить.

Изгиб	
Модуль упругости Ерасч. изгиб, МПа	2100,00
Нормативное сопротивление весной R <sub>0</sub> , МПа	5,65
Снижение прочности из-за повторяющейся нагрузки	
Усталостный показатель степени m	4,00
Коэффициент различия α (альфа)	6,30
Снижение прочности из-за погоднo-климатических факторов	
Коэффициент снижения прочности k <sub>2</sub>	0,80
Фактический коэффициент вязкого сопротивления h <sub>ф</sub> , МПа*с	100



### 3.5.2. Результаты расчёта

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 общих, слабосвязных материалов и материалов дополнительных слоёв основания 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
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 393 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 34%	E <sub>изг</sub> = 4900 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 315 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>изг</sub> = 2800 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I марки	h = 12 см (12..22)	E <sub>пов</sub> = 230 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>изг</sub> = 2100 МПа Запас = 33%
Основание	Щебеночно-гравийно-песчаный и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа	E <sub>изг</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа	E <sub>изг</sub> = 46 МПа



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

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

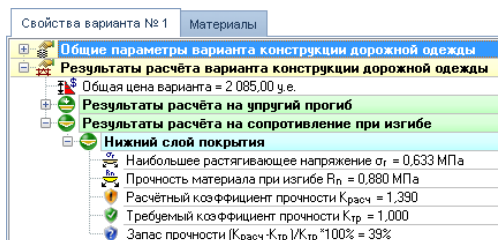
где  $K_{расч}$  — расчётный коэффициент прочности на сопротивление при изгибе;

$K_{тр}$  — 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**, в которой приведён более подробный отчёт о расчёте.



Рассмотрим подробно результаты расчёта по ОДН 218.046–01.

- » Наибольшее растягивающее напряжение  $\sigma_r$  при изгибе в монолитном слое определяется по формуле:

$$\sigma_r = \sigma_{y\partial} \times p \times K_{\theta}$$

где  $\sigma_{y\partial}$  — 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  $p$** ;

$k_{\theta}$  — коэффициент, учитывающий особенности напряжённого состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном. Принимают равным 0,85 (при расчёте на однобаллонное колесо  $k_{\theta} = 1$ ).

- » Прочность материала при изгибе  $R_n$  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  $R_0$  группы Изгиб**;

$k_1$  — коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки, рассчитываемый по формуле (\*\*);

$k_2$  — коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов, задаваемый для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в поле **Коэффициент снижения прочности  $k_2$  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  $t$** .

Расчёт коэффициента  $k_1$ :

$$k_1 = \frac{\alpha}{m\sqrt{\sum N_p}}, \quad (**)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчётного состояния грунта земляного покрытия, задаваемый для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в поле **Коэффициент различия  $\alpha$  (альфа)**;

$\sum N_p$  — расчётное суммарное число приложений расчётной нагрузки за срок службы монолитного покрытия, определяемое в свойствах проекта в группе **Число приложений расчётной нагрузки  $\sum N_p$** ;

---

$m$  — показатель степени, зависящий от свойств материала рассматриваемого монолитного слоя, задаваемый для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в поле **Усталостный показатель степени  $m$**  группы **Изгиб**.


- » Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч}$  при расчёте на сопротивление при изгибе.
- » Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр}$  при расчёте на сопротивление при изгибе.
- » Запас прочности слоя (как в области формирования конструкции дорожной одежды).

## 3.6. 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.


### 3.6.1. Производство расчёта

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

1. Убедитесь, что выбрана нужная методика расчёта — ОДН 218.046–01 (группа **Методики** на вкладке **Главная**).
2. Установите критерий расчёта на статическую нагрузку, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Статическая нагрузка**.
3. В свойствах проекта задайте параметры в группах **Параметры района проектирования**, **Расчётная нагрузка** и **Расчётная относительная влажность грунта  $W_p$** .
4. Убедитесь, что задан диаметр отпечатка шины колеса неподвижного автомобиля в поле **Диаметр отпечатка шины D (стат.)**.
5. Если в дорожную одежду включаются слои из слабосвязных материалов, которые не нужно проверять на сдвигоустойчивость, то в их свойствах отключите опцию **Проверить на сдвиг**.
6. Для каждого слоя в его свойствах задайте толщину в поле **Толщина**. По умолчанию при добавлении слоя в дорожную одежду его толщина определяется 10 см.
7. Для всех слоёв задана плотность материала, определённая в библиотеке материалов (поле **Плотность**). Убедитесь, что значения соответствуют материалам.
8. Проверьте модули упругости материалов (поле **Модуль упругости E**). Для всех монолитных материалов и асфальтобетонов проверьте значения модулей упругости в группе **Статическая нагрузка**.

Статическая нагрузка	
Модуль упругости Е расч. стат. нагрузка, МПа	480,00
Для зоны V	300,00
Сцепление $c_p$ , МПа	0,20
Коэффициент, учитывающий зацепление зёрен, K	1,10

### Замечание

Значение модуля упругости, зависящего от дорожно-климатической зоны, берётся из библиотеки материалов. Если изменить значение в поле **Модуль упругости  $E$**  расч., стат. нагрузка, то справа появится кнопка . При нажатии кнопки в поле снова подставится значение из библиотеки материалов.

.....

9. Для всех слабосвязных материалов, материалов дополнительных слоёв основания и грунтов определите параметры, как при расчёте на сдвигустойчивость.

## 3.6.2. Результаты расчёта

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 (статическая нагрузка), для общих, слабосвязных материалов и материалов дополнительных слоёв основания 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	Стат. нагрузка
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	h = 5 см	E <sub>плос</sub> = 340 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 14%	E <sub>отат</sub> = 50 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 10 см (8..11)	E <sub>плос</sub> = 275 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>отат</sub> = 50 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 15 см (15..22)	E <sub>плос</sub> = 169 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>отат</sub> = 50 МПа
Основание	Песок крупный с содержанием пылеватого-глинис...	h = 20 см (10..80)	E <sub>плос</sub> = 70 МПа	E <sub>упр</sub> = 130 МПа	E <sub>отат</sub> = 130 МПа Запас = 6%
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>плос</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа	E <sub>отат</sub> = 46 МПа Запас = 80%



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:

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

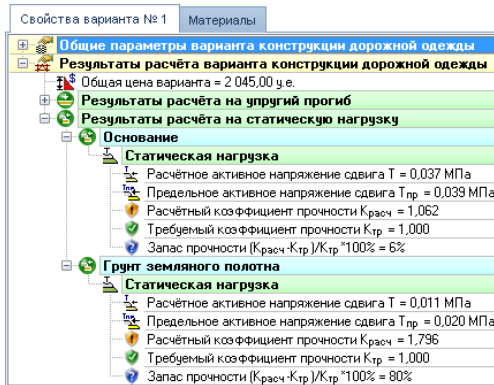
где  $K_{расч}$  — расчётный коэффициент прочности при расчёте на сдвигоустойчивость с учётом статической нагрузки;

$K_{тр}$  — 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.



Результаты расчёта аналогичны результатам, получаемым при расчёте конструкции по критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке.

---

## 3.7. Расчёт на морозоустойчивость

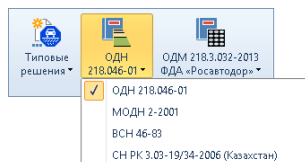
В районах сезонного промерзания грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидравлических условиях должна быть обеспечена не только прочность и устойчивость дорожной одежды, но и достаточная морозоустойчивость.

Расчёт на морозоустойчивость конструкции может производиться по двум различным алгоритмам. Первый алгоритм рассчитывает морозоустойчивость всей конструкции дорожной одежды в целом без учёта свойств морозозащитного слоя, используя данные о термосопротивлении каждого слоя и морозозащитные свойства грунта. Второй алгоритм позволяет рассчитать морозоустойчивость конструкции с использованием дополнительного слоя основания в качестве морозозащитного.

### 3.7.1. Расчёт морозостойкости дорожной одежды

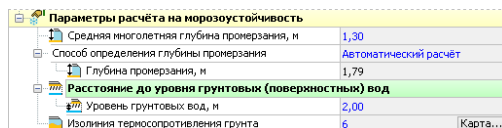
Рассмотрим поэтапно производство расчёта морозостойкости конструкции дорожной одежды.

1. Выберите методику расчёта в группе **Главная > Методики**.



Так же можно выбрать методику расчёта в инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** в поле **Общая методика расчёта нежёстких дорожных одежд**.

2. Установите критерий расчёта, нажав на ленте кнопку **Главная > Расчёт > ❄ Морозоустойчивость**.
3. На вкладке **Свойства проекта** появится дополнительная группа **Параметры расчёта на морозоустойчивость**.



- » Глубина промерзания может вычисляться автоматически с учётом средней многолетней глубины промерзания или задаваться вручную.

Чтобы рассчитать глубину промерзания автоматически, выберите в поле **Способ определения глубины промерзания** пункт **Автоматический расчёт** и задайте нужное значение в поле **Средняя многолетняя глубина промерзания**. Если глубина промерзания известна, то выберите в поле **Способ определения глубины промерзания** пункт **Задать вручную** и задайте в поле

**Глубина промерзания** нужное значение (в этом случае значение из поля **Средняя многолетняя глубина промерзания** учитываться не будет).

- » **Уровень грунтовых вод.** Задайте расстояние от низа насыпи или выемки до предполагаемого уровня грунтовых вод.

Глубина грунтовых вод от низа дорожной одежды вычисляется автоматически по имеющимся данным и отображается в свойствах варианта.

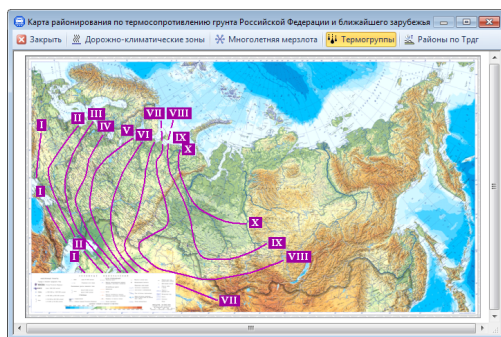
$$H = h_{УГВ} + h_{нас} - h_{ДО},$$

где  $h_{УГВ}$  — уровень грунтовых вод, задаваемый в свойствах проекта;

$h_{нас}$  — величина насыпи, задаваемая в свойствах проекта в поле **Высота насыпи**;

$h_{ДО}$  — толщина дорожной одежды.

- » **Изолиния термосопротивления грунта.** Задайте в этом поле номер изолинии, соответствующей термосопротивлению грунта в дорожно- климатической зоне. Просмотреть номера изолиний и их расположение можно на карте, нажав кнопку **Карта...**



4. В группе **Проектные данные трассы** укажите тип земляного

полотна. Если между земляным полотном и дорожной одеждой не предполагается насыпь или выемка, то выберите пункт **Нулевые места**. Для обозначения насыпи выберите пункт **Насыпь** и в появившемся поле **Высота насыпи** укажите значение высоты насыпи в метрах. Если нужно обозначить выемку, то выберите пункт **Выемка** и в появившемся поле **Глубина выемки** введите значение глубины выемки в метрах.

5. На вкладке **Свойства грунта** заданы параметры морозоустойчивости грунта земляного полотна. Убедитесь, что они заданы верно.

» **Теплопр-ть (мёрзл.)  $\lambda_{од}$** . В этом поле задаётся теплопроводность материала в мёрзлом состоянии.

Морозоустойчивость	
Теплопр-ть (мёрзл.) $\lambda_{од}$ , Вт/(м*К)	1,80
Пучинистость грунта	Группа 4 (сильнопучинистый)
Определение коэффициентов $K_{угв}$ и $K_{нагр}$	Назначить по типу грунта
Тип грунта	Сухая гылеватая и тяжёлая...
$K_{угв}$ (коэффициент учёта уровня грунтовых вод)	0,57
$K_{нагр}$ (коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв)	0,92
$K_{пл}$ (коэффициент, зависящий от уплотнения слоя)	1,20
$K_{гр}$ (коэффициент учёта гранулометрии основания)	1,10
Коэффициент $C_p$ для определения термического сопротивления	
Толщина дорожной одежды $H_{од} = 0,5$ м	
$H_{пр(од)} < 50$	0,75
$H_{пр(од)} = 50...100$	0,70
$H_{пр(од)} > 100$	0,65
Толщина дорожной одежды $H_{од} = 1,0$ м	
Толщина дорожной одежды $H_{од} = 1,5$ м	
Толщина дорожной одежды $H_{од} = 2,0$ м	

» **Пучинистость грунта**. Из списка можно выбрать одну из групп, определяющую характер пучинистости грунта: **Группа 1 (непучинистый)**, **Группа 2 (слабопучинистый)**, **Группа 3 (пучинистый)**, **Группа 4 (сильнопучинистый)** или **Группа 5 (чрезмернопучинистый)**.

»  **$K_{угв}$  (коэффициент учёта уровня грунтовых вод)**. В этом поле можно задать коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод.

»  **$K_{нагр}$  (коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв)**. В этом поле можно указать коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое

---

и зависящий от глубины промерзания.

- »  **$K_{пл}$  (коэффициент, зависящий от уплотнения слоя).**  
В этом поле задаётся коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя.
- »  **$K_{гр}$  (коэффициент учёта гранулометрии основания).**  
В этом поле задаётся коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки.

### **Замечание**

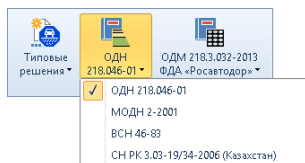
Система IndorPavement позволяет автоматически рассчитывать по номограмме коэффициент  $K_{ув}$ . Он отображается в свойствах варианта.

.....

## 3.7.2. Расчёт морозозащитного слоя

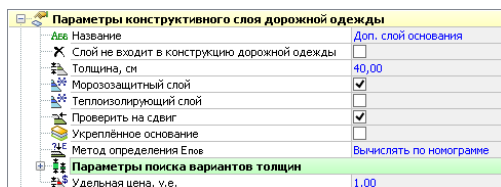
Рассмотрим расчёт конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость с обустройством морозозащитного слоя.

1. Выберите методику расчёта в группе **Главная > Методики**.



Так же можно выбрать методику расчёта в инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** в поле **Общая методика расчёта нежёстких дорожных одежд**.

2. Установите критерий расчёта на морозоустойчивость, задайте параметры расчёта на морозоустойчивость конструкции в целом и определите морозозащитные параметры грунта земляного полотна, как в предыдущем алгоритме.
3. Определите морозозащитный слой, установив для него в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя** опцию **Морозозащитный слой**.

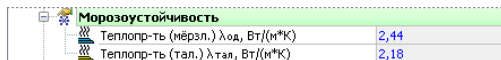


### Замечание

Важно помнить, что морозозащитный слой может иметь материал только с типом **Доп. слой основания**.

.....

4. Для морозозащитного слоя конструкции дорожной одежды уже определены параметры морозоустойчивости. Они вынесены в группу **Морозоустойчивость** на вкладке **Свойства слоя**. Убедитесь, что данные параметры заданы верно.



Морозоустойчивость	
Теплопр-ть (мёрзл.) $\lambda_{од}$ , Вт/(м*К)	2,44
Теплопр-ть (тал.) $\lambda_{тал}$ , Вт/(м*К)	2,18

- » **Теплопр-ть (мёрзл.)  $\lambda_{од}$** . В этом поле задаётся теплопроводность материала в мёрзлом состоянии.
  - » **Теплопр-ть (тал.)  $\lambda_{мз}$** . В этом поле задаётся теплопроводность материала в талом состоянии.
5. Проверьте значения теплопроводности для остальных конструктивных слоёв.

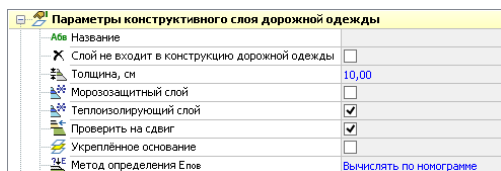


### 3.7.3. Расчёт теплоизолирующего слоя

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. Выберите методику расчёта в группе **Главная > Методики**.
2. Установите критерий расчёта, нажав на ленте кнопку **Главная > Расчёт > ❄ Морозоустойчивость**.
3. Задайте необходимые параметры в свойствах проекта (см. раздел «Расчёт морозостойкости дорожной одежды»).
4. Добавьте теплоизолирующий слой в конструкцию дорожной одежды, воспользовавшись вкладкой **Материалы** в инспекторе объектов (**Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд > Дополнительные слои основания > Пенопласт**).
5. В свойствах нового слоя в группе **Параметры конструктивного слоя дорожной одежды** установите опцию **Теплоизолирующий слой**.



### 3.7.4. Результаты расчёта

При расчёте по первому алгоритму результаты расчёта отображаются только в инспекторе объектов в свойствах варианта (группа **Результаты расчёта на морозоустойчивость**). Конструкция считается морозоустойчивой, если соблюдено условие:

$$I_{пуч} \leq I_{доп}$$

где  $I_{пуч}$  — расчётное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна, рассчитываемое по формуле;

$I_{доп}$  — допускаемое для данной конструкции пучение грунта, зависящее от типа дорожного покрытия.

Расчётное пучение грунта  $I_{пуч}$  рассчитывается следующим образом:

$$I_{пуч} = I_{пуч\ ср} \times K_{УГВ} \times K_{пл} \times K_{гр} \times K_{нагр} \times K_{вл}$$

где  $I_{пуч\ ср}$  — величина морозного пучения при усреднённых условиях, определяемая в зависимости от толщины дорожной одежды;

$K_{УГВ}$  — коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод;

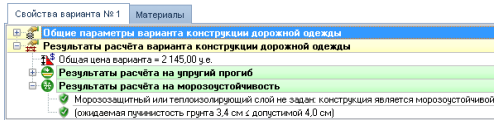
$K_{пл}$  — коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя;

$K_{гр}$  — коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки;

$K_{нагр}$  — коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания;

$K_{вл}$  — коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта.

Если условие выполняется, то в группе **Результаты расчёта на морозоустойчивость** отображается соотношение и информация о том, что морозозащитный слой не задан, но конструкция в целом удовлетворяет критерию морозоустойчивости. При невыполнении условия соотношение и информация выделяются красным цветом.



В области формирования конструкции для грунта земляного полотна отображается величина расчётного (ожидаемого) пучения грунта земляного полотна  $l_{пуч}$  и запас пучинистости.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пролгиб	Мороз
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	$h = 5$ см	$E_{пов} = 407$ МПа	$E_{упр} = 3200$ МПа	Запас = 36%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	$h = 10$ см (8..10)	$E_{пов} = 320$ МПа	$E_{упр} = 2000$ МПа	
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопробный I	$h = 12$ см (12..22)	$E_{пов} = 207$ МПа	$E_{упр} = 2000$ МПа	
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	$h = 20$ см (15..26)	$E_{пов} = 108$ МПа	$E_{упр} = 420$ МПа	
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая		$E_{пов} = 49$ МПа	$E_{упр} = 49$ МПа	$l_{пуч} = 3$ см Запас = 1 см

При расчёте по второму алгоритму результаты расчёта конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость отображаются в области формирования конструкции в столбце **Мороз** и на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на морозоустойчивость**.

В области формирования конструкции в столбце **Мороз** для морозозащитного слоя отображается минимально допустимая толщина  $h_{min}$ , рассчитываемая по формуле:

$$h_{min} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \times \lambda_{МЭ}$$

где  $R_{од(тр)}$  — требуемое в данных условиях термическое сопротивление дорожной одежды, рассчитываемое по формуле;

$R_{од(о)}$  — термическое сопротивление рассматриваемой конструкции дорожной одежды, рассчитываемое по формуле;

$\lambda_{мз}$  — коэффициент теплопроводности морозозащитного слоя, равный среднearифметическому значению коэффициентов теплопроводности материала слоя в талом и мёрзлом состояниях.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пробит	Мороз
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный III класса	h = 10 см (3,15)	Е <sub>упр</sub> = 426 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3200 МПа Затяг = 2%	
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокоплотный	h = 15 см (3,15)	Е <sub>упр</sub> = 260 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3200 МПа	
Основание	Битумноцементно-щебенистые с непрерывной	h = 20 см (8,40)	Е <sub>упр</sub> = 106 МПа	Е <sub>упр</sub> = 280 МПа	
Доп. слой основания	Супесь пылеватая	h = 50 см (10,50)	Е <sub>упр</sub> = 41 МПа	Е <sub>упр</sub> = 46 МПа	h <sub>зат</sub> = 47 см Затяг = 3 см
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Е <sub>упр</sub> = 46 МПа	Е <sub>упр</sub> = 46 МПа	

Термическое сопротивление рассматриваемой конструкции  $R_{од(o)}$  рассчитывается по формуле:

$$R_{од(o)} = \sum_{i=1}^{i=n_{од}} \frac{h_{од(i)}}{\lambda_{од(i)}},$$

где  $n_{од}$  — число конструктивных слоёв дорожной одежды без морозозащитного слоя;

$h_{од(i)}$  — толщина  $i$ -го слоя, задаваемая в свойствах слоя в поле **Толщина**;

$\lambda_{од(i)}$  — коэффициент теплопроводности отдельных слоёв в мёрзлом состоянии, задаваемый в свойствах слоя в поле **Теплопр-ть (мёрзл.)**  $\lambda_{од}$ .

Требуемое термическое сопротивление дорожной одежды  $R_{од(тр)}$  вычисляется по формуле:

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \times K_{од} \times K_{увл} \times \delta,$$

где  $R_{пр}$  — приведённое термическое сопротивление, определяемое с помощью номограммы;

$K_{од}$  — коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами, определяющийся с учётом изоляции, задаваемой в свойствах проекта в поле **Изолиния термосопротивления грунта**;

$K_{увл}$  — коэффициент, учитывающий схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна, определяющийся с учётом изолинии, задаваемой в свойствах проекта в поле **Изолиния термосопротивления грунта**;



$\delta$  — понижающий коэффициент, зависящий от дорожно-климатической зоны, задаваемой в свойствах проекта в поле **Дорожно-климатическая зона**.

Запас толщины морозозащитного слоя, отображаемый в столбце **Мороз**, рассчитывается следующим образом:

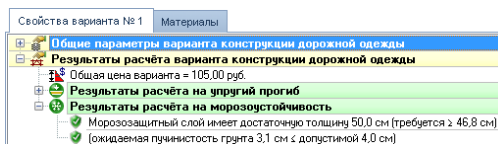
$$Запас = h_{тек} - h_{min},$$

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

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

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

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на морозоустойчивость по второму алгоритму (с морозозащитным слоем) отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на морозоустойчивость**, в которой приводится информация о толщине морозозащитного слоя и минимально допустимая толщина.



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

---

### **Замечание**

Результаты расчёта, отображаемые в инспекторе объектов, также войдут в текстовый отчёт и чертёж.


.....

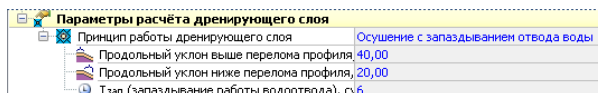
## 3.8. Расчёт дренирующего слоя

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.

### 3.8.1. Произведение расчёта

Рассмотрим поэтапно произведение расчёта дренирующего слоя.

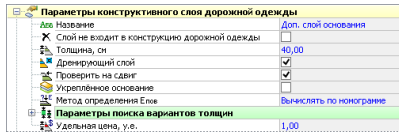
1. Убедитесь, что выбрана нужная методика расчёта — ОДН 218.046–01(группа **Методики** на вкладке **Главная**).
2. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Дренирующий слой**.
3. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** появится дополнительная группа параметров **Параметры расчёта дренирующего слоя**.
4. В зависимости от конкретных условий дренажная конструкция может быть рассчитана на один из четырёх вариантов работы: работа на осушение, на осушение с периодом запаздывания отвода воды, на поглощение или в виде конструкции с прикромочным дренажем. Выберите вариант работы дренирующего слоя в поле **Принцип работы дренирующего слоя** и задайте нужные параметры.



5. В группе параметров **Проектные данные трассы** задайте нужные параметры. Они влияют на вычисление длины пути фильтрации.
6. Перейдите к параметрам варианта и 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**.



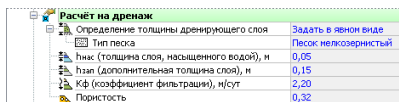
7. Определите дренарующий слой, установив для него в инспекторе объектов на вкладке **Свойства слоя** опцию **Дренарующий слой**.



## Замечание

Важно помнить, что дренарующий слой может иметь материал только с типом **Доп. слой основания**.

8. Полная толщина дренающего слоя складывается из толщины слоя, полностью насыщенного водой, задаваемой в свойствах дренающего слоя в поле  **$h_{нас}$  (толщина слоя, насыщенного водой)**, и дополнительной толщины слоя, зависящей от капиллярных свойств материала и задаваемой в поле  **$h_{зап}$  (дополнительная толщина слоя)**.



## Замечание

Система IndorPavement позволяет автоматически рассчитать параметры  $h_{нас}$  и  $h_{зап}$  по номограммам, представленным в ОДН 218.046–01, исходя из свойств проекта и материала. Для этого в поле **Определение толщины дренающего слоя** выберите пункт **Назначить по типу песка** и в появившемся поле **Тип песка** выберите подходящий вариант. При выборе пункта **Задать в явном виде** параметры можно задать вручную.

В зависимости от варианта работы дренажной конструкции дорожной одежды возможны различные варианты расчёта на дренаж. Рассмотрим их подробно в следующих разделах.

## 3.8.2. Дренирующий слой, работающий по принципу осушения

1. В поле **Принцип работы дренирующего слоя** выберите пункт **Осушение** (группа **Параметры расчёта дренирующего слоя** на вкладке **Свойства проекта**) и задайте параметры дренирующего слоя.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Осушение
Продольный уклон выше перелома профиля, ‰	40,00
Продольный уклон ниже перелома профиля, ‰	20,00
Односкатный профиль	<input type="checkbox"/>
Поперечный уклон низа дренирующего слоя, ‰	20,00
Длина пути фильтрации L, м	3,75
Kp (коэффициент снижения притока воды)	1,00
Время работы дренажа в расчётный период года	10 *

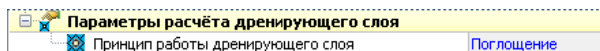
2. Задайте поперечный уклон низа дренирующего слоя в поле **Поперечный уклон низа дренирующего слоя**.
3. Коэффициент, регулирующий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплого режима, задайте в поле **K<sub>p</sub> (коэффициент снижения притока воды)**.
4. Время работы дренажа в расчётный период года задайте в одноимённом поле.
5. Длину пути фильтрации можно вычислить автоматически или задать вручную в свойствах варианта.
6. На вкладке **Свойства грунта** в группе **Расчёт на дренаж** задайте следующие расчётные параметры:
  - » В поле **q (приток воды в дренажный слой за сутки)** задайте усреднённое значение притока воды в дренирующий слой за сутки.

Расчёт на дренаж	
Q (приток воды в основание за расчётный период)	50,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м <sup>2</sup>	1,20
Kп (коэффициент "пик")	1,60
Kг (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
пп (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

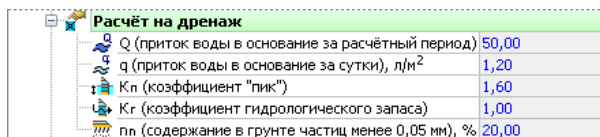
- » В поле  **$K_n$  (коэффициент «пик»)** задайте коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков.
- » В поле  **$K_r$  (коэффициент гидрологического запаса)** введите коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги.

### 3.8.3. Дренарующий слой, работающий по принципу поглощения

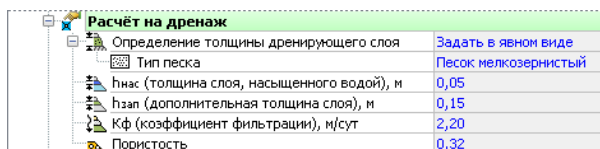
1. В поле **Принцип работы дренающего слоя** выберите пункт **Поглощение** (группа **Параметры расчёта дренающего слоя** на вкладке **Свойства проекта**).



2. 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 дренарующем слое за весь расчётный период.

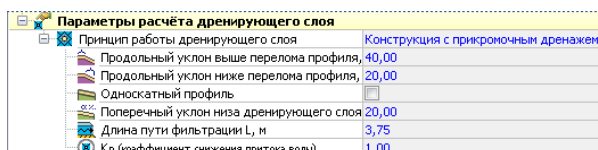


3. Для дренарующего слоя в группе **Расчёт на дренаж** задайте пористость материала в поле **Пористость**.



### 3.8.4. Конструкция с прикромочным дренажем

1. В поле **Принцип работы** дренирующего слоя выберите пункт **Конструкция с прикромочным дренажем** (группа **Параметры расчёта дренирующего слоя** на вкладке **Свойства проекта**) и задайте параметры расчёта.



Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Конструкция с прикромочным дренажем
Продольный уклон выше перелома профиля	40,00
Продольный уклон ниже перелома профиля	20,00
Односкатный профиль	<input type="checkbox"/>
Поперечный уклон низа дренирующего слоя	20,00
Длина пути фильтрации L, м	3,75
K <sub>p</sub> (коэффициент снижения притока воды)	1,00

2. Задайте поперечный уклон низа дренирующего слоя в поле **Поперечный уклон низа дренирующего слоя**.
3. Коэффициент, регулирующий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима, задайте в поле **K<sub>p</sub> (Коэффициент снижения притока воды)**.

### 3.8.5. Дренирующий слой, работающий по принципу осушения с периодом запаздывания отвода воды

1. В поле **Принцип работы дренирующего слоя** выберите пункт **Осушение с запаздыванием отвода воды** (группа **Параметры расчёта дренирующего слоя** на вкладке **Свойства проекта**) и задайте параметры дренирующего слоя.

Параметры расчёта дренирующего слоя	
Принцип работы дренирующего слоя	Осушение с запаздыванием отвода воды
Продольный уклон выше перелома профиля	40,00
Продольный уклон ниже перелома профиля	20,00
T <sub>зап</sub> (запаздывание работы водоотвода), с	6

2. В поле **Запаздывание работы водоотвода T<sub>зап</sub>** введите среднюю продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств.
3. 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)	50,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м <sup>2</sup>	1,20
K <sub>п</sub> (коэффициент "пик")	1,60
K <sub>г</sub> (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
p <sub>п</sub> (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

### 3.8.6. Результаты расчёта

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

В области формирования конструкции в столбце **Дренаж** для дренарующего слоя, работающего по принципу осушения, отображается минимально допустимая толщина слоя  $h_{min}$ , рассчитываемая следующим образом:

$$h_{min} = h_{нас} + h_{зан},$$

где  $h_{нас}$  — толщина слоя, полностью насыщенного водой, задаваемая в явном виде в свойствах дренарующего слоя в поле  **$h_{нас}$  (толщина слоя, насыщенного водой)** или рассчитываемая по типу песка;

$h_{зан}$  — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала (задаётся пользователем).

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пропит	Дренаж
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Основание	Смеси щебеночно-гравийного состава и	$h = 19$ см (10..26)	$E_{пов} = 154$ МПа	$E_{упр} = 400$ МПа Запас = 61%	
Доп.слой основания	Песок средней крупности, с стабилизантом	$h = 60$ см (10..100)	$E_{пов} = 91$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$h_{min} = 44$ см Запас = 16 см
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{пов} = 46$ МПа	$E_{упр} = 46$ МПа	

Минимально допустимая толщина дренарующего слоя  $h_{min}$ , работающего по принципу поглощения, рассчитывается по формуле:

$$h_{min} = \left( \frac{Q}{1000n} + 0,3h_{зан} \right) / \left( 1 - \varphi_{зум} \right),$$

где  $Q$  — расчётное количество воды, накапливающейся в дренарующем слое за весь расчётный период, задаваемое в свойствах грунта в поле  **$Q$  (приток воды в основание за расчётный период)**;

$n$  — пористость материала, задаваемая в свойствах дренарующего слоя в поле **Пористость**;

$h_{зан}$  — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала (задаётся пользователем);



$\varphi_{зим}$  — коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания.

Минимально допустимая толщина дренирующего слоя  $h_{min}$ , работающего по принципу осушения с запаздыванием отвода воды, рассчитывается по формуле:

$$h_{min} = \left( \frac{q \times T_{зан}}{n} + 0,3h_{зан} \right) / \left( 1 - \varphi_{зим} \right),$$

где  $q$  — расчётное значение воды, поступающей за сутки, задаваемое в свойствах грунта в поле **q (приток воды в дренажный слой за сутки)**;

$T_{зан}$  — средняя продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств, задаваемая в свойствах проекта в поле **Запаздывание работы водоотвода  $T_{зан}$** ;

$n$  — пористость материала, задаваемая в свойствах дренирующего слоя в поле **Пористость**;

$h_{зан}$  — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала (задаётся пользователем);

$\varphi_{зим}$  — коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания.



Минимально допустимая толщина дренажного слоя  $h_{min}$  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:

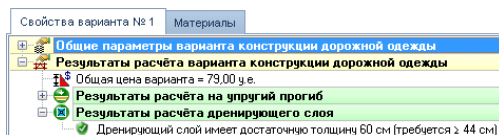
$$Запас = h_{тек} - h_{min},$$

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 и минимально допустимая толщина.



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

## Замечание

Результаты расчёта, отображаемые в инспекторе объектов, также войдут в пояснительную записку и чертёж.

.....

## 3.9. Прогнозирование образования колея

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, погодных-климатических факторов и пр.

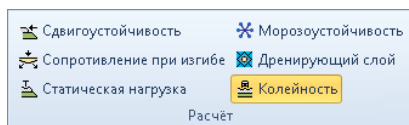
### 3.9.1. Производство расчёта

Методика расчёта и прогнозирования колеобразования 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.

Чтобы произвести расчёт колеобразования, выполните следующее:

1. Убедитесь, что выбрана общая методика расчёта, например ОДН 218.046–01 (группа **Главная > Методики**).
2. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт > Колейность**.



3. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** задайте нужные свойства проекта, такие как категория дороги, тип дорожной одежды и пр., как для расчёта на прочность по основным критериям: упругий прогиб, сдвигустойчивость грунта земляного полотна и слабосвязных слоёв, сопротивление усталостному разрушению монолитных слоёв от растяжения при изгибе.
4. Особое внимание обратите на задание интенсивности

движения. Для прогнозирования колееобразования необходимо задать интенсивность движения по приведённым автомобилям (пункт **Расчёт по приведённым автомобилям** в поле **Приведённая интенсивность  $N_p$** ) на первый год службы (пункт **На первый год службы** в поле **Способ задания приведённой интенсивности**).

2000	Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
☐	☑ Приведённая интенсивность $N_p$	Расчёт по приведённым автомобилям
☑	Приведённая интенсивность, авт./сут	509
☑	Суммарная интенсивность в первый год, авт.	535
☑	Способ определения коэффициентов приведения	В зависимости от осевой нагрузки
☑	Интенсивность по видам автомобилей, авт./сут	
☑	☑ Лёгкие грузовые автомобили до 2 т	500
	☑ $S_{m2}$ S1 сум.	0,0050
☑	☑ Грузовые автомобили от 2 до 5 т	251
	☑ $S_{m2}$ S2 сум.	0,2000
☑	☑ Грузовые автомобили от 5 до 8 т	328
	☑ $S_{m2}$ S3 сум.	0,7000
☑	☑ Грузовые автомобили свыше 8 т	59
	☑ $S_{m2}$ S4 сум.	1,2500
☑	☑ Автобусы	150
	☑ $S_{m2}$ S5 сум.	0,7000
☑	☑ Тягачи с прицепами	49
	☑ $S_{m2}$ S6 сум.	1,5000

## 3.9.2. Результаты расчёта

Результаты расчёта конструкции на колеобразование 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  $h_{oc.д.}$  за установленный срок службы. Общая глубина колеи  $h_{общ.}$  отображается в верхнем слое покрытия.

Конструкция	Материал	Модуль	Прогиб	Колейность
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I мар... из щебеночной	Е <sub>пов</sub> = 376 МПа	Е <sub>упр</sub> = 2400 МПа Запас = 48%	h <sub>общ.</sub> = 4,8 см
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I мар... из крупнозернистой	Е <sub>пов</sub> = 290 МПа	Е <sub>упр</sub> = 1400 МПа	h <sub>ост.д.</sub> = 1,0 см
Верхний слой основания	Пески гравелистые крупные средние, обработанные цементом,	Е <sub>пов</sub> = 208 МПа	Е <sub>упр</sub> = 550 МПа	h <sub>ост.д.</sub> = 0,5 см
Нижний слой основания	Смеси гравийные с непрерывной гранулометрией С5 - 40	Е <sub>пов</sub> = 132 МПа	Е <sub>упр</sub> = 220 МПа	h <sub>ост.д.</sub> = 1,4 см
Доп. слой основания	Песок средней крупнос... с содержанием пылевато-глинистой	Е <sub>пов</sub> = 91 МПа	Е <sub>упр</sub> = 120 МПа	h <sub>ост.д.</sub> = 0,5 см
Грунт земляного полотна	Супесь лёгкая крупная	Е <sub>пов</sub> = 65 МПа	Е <sub>упр</sub> = 65 МПа	h <sub>ост.д.</sub> = 2,0 см

В инспекторе объектов в свойствах варианта при расчёте конструкции на колеобразование отображается дополнительная группа **Результаты расчёта колейности**. В ней также отображаются значения остаточной деформации для грунта земляного полотна  $h_r$ , общая глубина колеи  $h_{общ.}$ , а так же расчётный износ покрытия  $D_u$ .

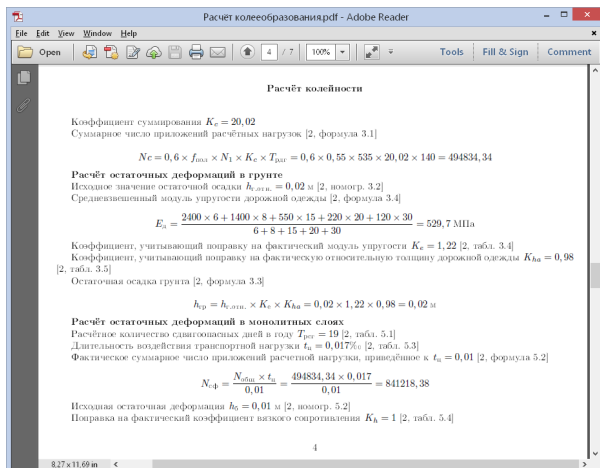
<b>Результаты расчёта колейности</b>	
↓	Остаточная деформация грунта $h_r = 2,0$ см
↓	Износ покрытия $D_u = 0,6$ см
↓	Общая глубина колеи $h_{общ.} = 4,8$ см

Для каждого конструктивного слоя в его свойстве в группе **Результаты расчёта колейности** отображается расчётное значение остаточной деформации в слое.

<b>Результаты расчёта колейности</b>	
↓	Остаточная деформация слоя № 3 $h = 0,5$ см

## Замечание

Результаты расчёта, отображаемые в инспекторе объектов, также войдут в пояснительную записку и чертёж. В расшифровку расчёта войдут подробные выкладки по расчёту, содержащие описание и формулы.



## 3.10. 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.



### 3.10.1. Произведение расчёта

В качестве примера расчёта рассмотрим конструкцию дорожной одежды с назначением слоя усиления в качестве выравнивающего.

1. Рассчитайте число приложений расчётной нагрузки по условиям движения. Для этого в свойствах проекта задайте следующие параметры:
  - » В поле **Число приложений расчётной нагрузки** выберите пункт **Расчёт по условиям движения**.
  - » Задайте такие параметры, как количество полос движения, номер расчётной полосы и её тип.
  - » Для расчёта интенсивности определите закон её изменения, задайте показатель изменения интенсивности по годам, укажите способ задания приведённой интенсивности и выберите методику расчёта. Обратите внимание, что эти параметры непосредственно влияют на расчёт слоёв усиления конструкции дорожной одежды.

Число приложений расчётной нагрузки Z <sub>Нр</sub>	Расчёт по условиям движения
Значение Z <sub>Нр</sub>	2559693
Тип участка дороги	Полоса движения
Число полос движения (в обе стороны)	2
Номер расчётной полосы от обочины	1
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района
Район по Трпг (количеству дней в году с деформируемой)	3 (125 дней) <a href="#">Карта...</a>
Закон изменения интенсивности при расчёте слоёв усиления	Геометрическая прогрессия
Показатель изменения интенсивности по годам q	1,04
Способ задания приведённой интенсивности	На последний год службы
Приведённая интенсивность N <sub>р</sub>	Расчёт по приведённым автомобилям

2. Добавьте в область формирования конструкции конструктивные слои, являющиеся слоями усиления, и задайте их толщины. Обратите внимание, что слои усиления не должны уступать по прочностным характеристикам существующему покрытию.
3. Для каждого слоя усиления включите в свойствах слоя опцию **Слой усиления**, начиная с верхнего слоя, — в области формирования конструкции слои усиления выделяются оранжевым цветом. Обратите внимание, что данная опция доступна не всегда, а только в случаях, когда слой является верхним

слоем конструкции или выше лежат только слои усиления.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Проиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I мар... из щебеночной	h = 6 см (3..15)	E <sub>лов</sub> = 364 МПа	Слой усиления
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I мар... из крупнозернистой	h = 8 см (6..15)	E <sub>лов</sub> = 281 МПа	
Верхний слой основания	Пески гравелистые, крупные, средние, обработанные цементом	h = 15 см (8..40)	E <sub>лов</sub> = 200 МПа	Существующая конструкция
Нижний слой основания	Снеи гравийные с непрерывной гранулометрией С5 - 40	h = 20 см (8..40)	E <sub>лов</sub> = 200 МПа	
Доп. слой основания	Песок средней крупнос... с содержанием пылевато-глинистой	h = 30 см (10..80)	E <sub>лов</sub> = 200 МПа	
Грунт земляного полотна	Супесь легкая крупная		E <sub>лов</sub> = 65 МПа	E <sub>упр</sub> = 65 МПа

4. Назначьте верхнему слою существующей конструкции фактический модуль упругости, полученный в результате обследования. Для этого в свойствах слоя выберите в поле **Метод определения E<sub>лов</sub>** пункт **Назначить фактический модуль упругости**, а затем в появившемся поле **Фактический модуль упругости** задайте его значение.

Параметры конструктивного слоя дорожной одежды	
Название	Покрытие
<input checked="" type="checkbox"/> Слой не входит в конструкцию дорожной одежды	<input type="checkbox"/>
Толщина, см	12,00
Слой усиления	<input type="checkbox"/>
Метод определения E <sub>лов</sub>	Назначить фактический модуль упругости
Фактический модуль упругости, МПа	200,00
Параметры поиска вариантов толщин	
Удельная цена, у.е.	1,00

## Замечание

Возможна ситуация, когда материалы слоёв существующей конструкции неизвестны. В этом случае фактический модуль упругости можно задать в свойствах грунта земляного полотна, который будет имитировать существующую конструкцию дорожной одежды.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Проиб
<b>Проект конструкции дорей одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Слой усиления	Асфальтобетон горячей укладки высокоплотный	h = 10 см (3..15)	E <sub>лов</sub> = 336 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 7%
Грунт земляного полотна	супесь пылеватая		E <sub>лов</sub> = 200 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа

### 3.10.2. Результаты расчёта

Расчёт конструкций дорожных одежд со слоями усиления производится в соответствии с ОДН 218.1.052–2002 «Оценка прочности нежёстких дорожных одежд». Расчёт модулей упругости слоёв производится по ОДН 218.046–01, величину интенсивности движения  $N_t$  определяют по формулам:

- » для случая роста интенсивности движения во времени в соответствии с законом геометрической прогрессии:

$$N_t = \gamma \times \omega \times N_1 \times \frac{q^{t_i} - 1}{q - 1},$$

где  $\gamma$  — параметр, учитывающий суммарное число приложений расчётной нагрузки и принимаемый для усовершенствованных капитальных, облегчённых и переходных одежд соответственно:

$\omega$  — коэффициент, учитывающий продолжительность расчётного периода и агрессивность воздействия расчётных автомобилей в разных погодных-климатических условиях;

$N_1$  — среднесуточная интенсивность движения на полосу в расчётный период 1-го года эксплуатации, приведённая к расчётным автомобилям, авт./сут.;

$q$  — показатель роста интенсивности движения;

$t_i$  — расчётный период эксплуатации дорожной одежды, годы.

- » для случаев изменения интенсивности движения во времени по линейной закономерности либо при постоянной интенсивности движения:

$$N_t = \gamma \times \omega^* \times N_1 \times (1, 1^Y - 1),$$

где  $\gamma$  — параметр, учитывающий суммарное число приложений расчётной нагрузки и принимаемый для

усовершенствованных капитальных, облегчённых и переходных одежд соответственно:

$\omega^*$  — коэффициент, учитывающий продолжительность расчётного периода и агрессивность воздействия расчётных автомобилей в разных погодно-климатических условиях;

$N_1$  — среднесуточная интенсивность движения на полосу в расчётный период 1-го года эксплуатации, приведённая к расчётным автомобилям, авт./сут.;

$Y$  — временной параметр, рассчитываемый по формуле.

Результаты вычисления модулей упругости слоёв усиления отображаются в области формирования конструкции в столбце **Модуль**.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Слой усиления	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 6 см (3..15)	E <sub>пов</sub> = 362 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 33%
Слой усиления	Асфальтобетон пористый I марки	h = 7 см (3..15)	E <sub>пов</sub> = 276 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Покрытие	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 10 см (3..15)	E <sub>пов</sub> = 200 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Головые песчанощебёночные смеси II клас.	h = 15 см (8..40)		E <sub>упр</sub> = 600 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10..30)		E <sub>упр</sub> = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 43 МПа	E <sub>упр</sub> = 43 МПа

## Выводы

В системе IndorPavement возможен расчёт нежёстких конструкций дорожной одежды на прочность по различным критериям. Дополнительно для дорожной одежды можно рассчитать толщину морозозащитного, теплоизолирующего, дренажного слоёв. При необходимости можно проанализировать запроектированную конструкцию на образование таких распространённых дефектов, как колеи.

Для существующих дорожных одежд система позволяет произвести расчёт усиления. Количество слоёв усиления не ограничено и зависит от решаемой задачи: выравнивание покрытия дорожной одежды или непосредственно усиление существующей конструкции. Проектирование конструкций с усилением возможно с реальными слоями дорожной одежды или на пустом проекте с имитацией существующей дорожной одежды.

Таким образом система IndorPavement обладает широким спектром возможностей для расчёта дорожных одежд нежёсткого типа. По результатам расчётов могут быть сформированы отчётные документы.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды расчётов для нежестких дорожных одежд позволяет произвести система IndorPavement, чтобы проверить прочность конструкции?
2. Каким образом можно вычислить расчётную относительную влажность грунта? Для всех ли видов грунта это возможно?
3. Какой параметр информирует об уровне заданной надёжности проектируемой конструкции? От чего он зависит? На вычисление каких параметров он непосредственно влияет?
4. Назовите все варианты, которые система IndorPavement предоставляет для задания числа приложений расчётной нагрузки к точке на поверхности конструкции за расчётный срок службы.
5. Какие параметры система IndorPavement задаёт автоматически при выборе группы расчётной нагрузки?
6. Каким образом вычисляется длина пути фильтрации  $L$  при расчёте толщины дренирующего слоя? Какие параметры необходимо задать в системе IndorPavement для автоматического вычисления  $L$ ? Где они задаются?
7. Каким образом рассчитать усиление конструкции дорожной одежды, если в ходе испытаний был получен фактический модуль упругости существующей конструкции, но материалы слоёв и их модули упругости неизвестны?



# Глава 4

---

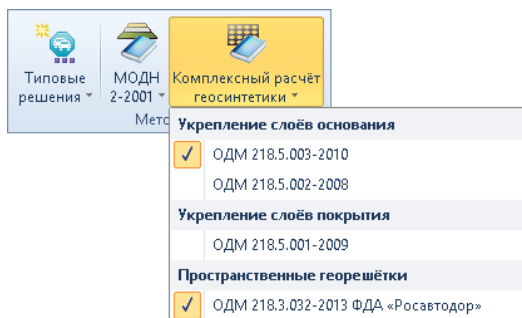
## Расчёт с учётом геосинтетических материалов

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 обобщённые методики.



## 4.1. Геосинтетические защитно-армирующие материалы

Расчёт по прочностным критериям подвержен корректировкам при использовании защитно-армирующих геосинтетических материалов. Чтобы произвести корректировку результатов расчётов с учётом заложенных в конструкцию геосинтетических материалов, выберите нужную методику расчёта в группе **Главная > Методики**. При необходимости возможно проведения комплексного расчёта при выборе нескольких методик сразу, например, ОДМ 218.5.003–2010 [11] для учёта геотекстиля и ОДМ 218.3.032–2013 [7] для учёта пространственной георешётки. Чтобы выбрать методику, щёлкните в списке на её названии — выбранная методика обозначается «галочкой».



### 4.1.1. Корректировка расчёта на упругий прогиб

Конструкция дорожной одежды считается прочной по критерию упругого прогиба, если выполняется требование:

$$K < \frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{min}}},$$

где  $K$  — коэффициент прочности, соответствующий некоторому уровню надёжности;

$E_{\text{общ}}$  — реальный модуль упругости на поверхности конструкции дорожной одежды (некоторый показатель прочности);

$E_{\text{min}}$  — требуемый модуль упругости, назначаемый исходя из транспортной нагрузки и климатических особенностей региона проектирования.

При использовании защитно-армирующих геосинтетических материалов возможна корректировка критерия  $K$ . В случае, если защитная прослойка (например, из георешётки) располагается определённым образом, армируя основание, то неравенство уточняется в следующем виде:

$$\alpha \times K < \frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{min}}},$$

где  $\alpha$  — коэффициент усиления, изменяющийся в диапазоне от 0,7 до 1,0 и определяющийся исходя из положения геосинтетического материала (на грунте или на дополнительном слое основания), физико-механических свойств грунта земляного полотна и материалов слоёв, а также параметров расчётной нагрузки.

Информация о расчётном значении коэффициента усиления отображается в области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Прогиб**.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки,	h = 5 см	Е <sub>пов</sub> = 399 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 48%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	Е <sub>пов</sub> = 315 МПа	Е <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокпористый I	h = 12 см (12...22)	Е <sub>пов</sub> = 230 МПа	Е <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	Е <sub>пов</sub> = 122 МПа	Е <sub>упр</sub> = 420 МПа
	Геотекстильный нетканый иглопробивной поли...			$\alpha = 0,903$
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Е <sub>пов</sub> = 46 МПа	Е <sub>упр</sub> = 46 МПа

## Замечание

Значение запаса прочности при расчёте конструкции дорожной одежды по критерию упругого прогиба автоматически пересчитывается с учётом коэффициента усиления  $\alpha$  и отображается для верхнего слоя конструкции в столбце **Прогиб**. При добавлении геосинтетического материала достигаемое значение модуля упругости на поверхности может быть значительно меньше, чем это требовалось бы без использования защитно-армирующего геосинтетического материала. А это значит, что можно сэкономить на толщине каких-либо материалов конструктивных слоёв, либо заменить дорогие материалы с высокими прочностными характеристиками более дешёвыми, либо увеличить срок службы дорожной одежды.

.....

## 4.1.2. Корректировка расчёта на сдвигоустойчивость в грунте

Если защитно-армирующий геосинтетический материал укладывается непосредственно на грунт (в слой основания или дополнительный слой основания), то изменяется коэффициент  $K_\alpha$ , учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания. Этот коэффициент используется при расчёте предельного активного напряжения сдвига  $T_{пр}$ :

Информация о значении коэффициента  $K_\alpha$  с учётом геосинтетического материала отображается в области формирования конструкции в столбце **Сдвиг**.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Проиб	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	Е <sub>пов</sub> = 399 МПа	Е <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 48%	Е <sub>сдв</sub> = 1800 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	Е <sub>пов</sub> = 315 МПа	Е <sub>упр</sub> = 2000 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 1200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 12 см (12..22)	Е <sub>пов</sub> = 230 МПа	Е <sub>упр</sub> = 2000 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 1200 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	Е <sub>пов</sub> = 122 МПа	Е <sub>упр</sub> = 420 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 420 МПа
	Геотекстильный нетканый иглопробивной поли...			$\alpha = 0,903$	$\alpha = 0,710$
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Е <sub>пов</sub> = 46 МПа	Е <sub>упр</sub> = 46 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 46 МПа Запас = 48%

### Замечание

Значение запаса прочности при расчёте конструкции дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке автоматически пересчитывается с учётом коэффициента  $K_\alpha$  и отображается для грунта в столбце **Сдвиг**. Причём значение может сместиться как в сторону повышения, так и в сторону понижения прочности.

.....

### 4.1.3. Корректировка расчёта на сопротивление при изгибе

При расчёте конструкции дорожной одежды по критерию сопротивления усталостному разрушению на растяжение при изгибе с учётом защитно-армирующих геосинтетических материалов корректируется вычисление внутреннего вспомогательного параметра:

$$E_{общ}' = \frac{E_{общ}}{\alpha},$$

где  $E_{общ}'$  — средневзвешенный модуль упругости;

$\alpha$  — коэффициент усиления.

Информация о значении коэффициента  $\alpha$  с учётом геосинтетического материала отображается в области формирования конструкции в столбце **Изгиб**.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотной I марки	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 399 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 48%	E <sub>изг</sub> = 4500 МПа
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористой I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 315 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>изг</sub> = 2800 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористой I	h = 12 см (12_22)	E <sub>пов</sub> = 230 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа	E <sub>изг</sub> = 2100 МПа Запас = 44%
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и геотекстильный нетканый иглопробивной поли...	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа α = 0,903	E <sub>изг</sub> = 420 МПа α = 0,894
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа	E <sub>изг</sub> = 46 МПа

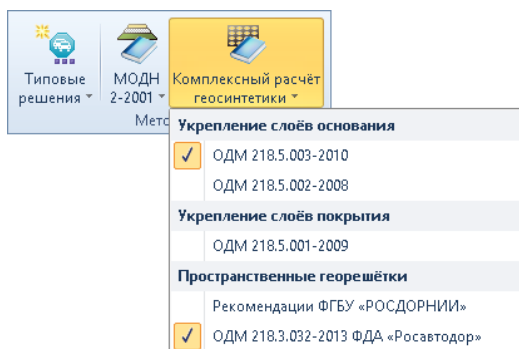
### Замечание

Значение запаса прочности при расчёте конструкции дорожной одежды по критерию сопротивления при изгибе отображается для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв в столбце **Изгиб**. Причём значение может сместиться как в сторону повышения, так и в сторону понижения прочности.

## 4.2. Геосинтетические защитно-дренирующие материалы

Для улучшения дренажной конструкции система IndorPavement позволяет использовать геосинтетические дренирующие материалы. При назначении защитно-дренирующего геосинтетического материала на границе грунта земляного полотна и конструктивного дренирующего слоя, исходя из варианта его работа на осушение, результат расчёта может уточняться согласно рекомендациям по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

Чтобы произвести корректировку результатов расчётов с учётом заложенных в конструкцию геосинтетических материалов, выберите нужную методику расчёта в группе **Главная > Методики**. При необходимости возможно проведение комплексного расчёта при выборе нескольких методик сразу, например, ОДМ 218.5.003–2010 [11] для учёта геотекстиля и ОДМ 218.3.032–2013 [7] для учёта пространственной георешётки. Чтобы выбрать методику, щёлкните в списке на её названии — выбранная методика обозначается «галочкой».



### Замечание

Для расчёта конструкции с учётом геосинтетических дренирующих материалов необходимо назначить дренирующему слою такой параметр, как **Тип песка**.

.....

Толщину дренирующего слоя  $h_{min}$ , работающего по принципу осушения, вычисляют по формуле:

$$h_{min} = h_{нас} + h_{зан},$$

где  $h_{нас}$  — толщина слоя, полностью насыщенного водой;

$h_{зан}$  — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала.

В случае устройства под дренирующим слоем защитно-дренирующей геосинтетической прослойки значения  $h_{нас}$  и  $h_{зан}$  могут определяться автоматически, исходя из климатических характеристик района, транспортной нагрузки, характеристик дренирующего и защитного материалов.

## Выводы

С помощью современных геосинтетических материалов возможно качественное улучшение прочностных, дренирующих и прочих характеристик дорожной одежды. Спрогнозировать влияние геосинтетического материала на конструктивное решение можно с помощью нескольких методик, реализованные в системе IndorPavement и соответствующих актуальным нормативным рекомендациям по применению геосинтетических материалов. При необходимости возможно проведение комплексного расчёта по нескольким нормативным документам для геосинтетических материалов разных видов.



## Контрольные вопросы

1. Каким образом можно учесть добавленную геосинтетическую прослойку в расчёте на прочность? Каким образом можно временно отключить учёт геосинтетической прослойки, не удаляя её при этом из конструкции?
2. Возможен ли расчёт конструкции, содержащей геотекстиль в качестве геосинтетической прослойки-разделителя и пространственную георешётку в основании? Если нет, то почему, если да, то каким образом это можно сделать?
3. Опишите своими словами общий алгоритм назначения и расчётного обоснования конструктивных решений дорожных одежд с прослойками геосинтетических материалов.
4. Каким образом учитывается коэффициент усиления  $\alpha$  при расчёте геосинтетических материалов?
5. Как повлияет добавление пространственной георешётки в слой щебёночно-гравийной смеси С6, если конструкция имеет капитальный тип?
6. Есть ли необходимость рассчитывать на прочность по критерию сдвигоустойчивости конструктивный слой, состоящий из пространственной георешётки, заполненной песком? Почему?

# Глава 5

---

## 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 (район проектирования, расчётная нагрузка). 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 расчётов и основные виды расчётов конструкций дорожных одежд. Расчёты конструкций дорожной одежды жёсткого типа на сдвигоустойчивость при статической нагрузке, морозоустойчивость и дренирующий слой аналогичны расчётам, применимым к конструкциям нежёсткого типа.

## 5.1. Визуальный анализ расчёта


В области формирования конструкции информация о дорожной одежде представлена в табличном виде. Строками являются слои дорожной одежды, а столбцы содержат краткую информацию о параметрах слоя (материал, толщина, модуль упругости) и результатах расчёта по выбранным критериям.


Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрывтие	Плита железобетонная армированная, из	h = 10 см (10..50)		Е <sub>упр</sub> = 32000 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 1600 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 20 см (8..40)	Е <sub>з</sub> = 140 МПа	Е <sub>упр</sub> = 700 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 700 МПа Запас = 0,33 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10..80)	Е <sub>з</sub> = 69 МПа	Е <sub>упр</sub> = 120 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 120 МПа Запас = 3%
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		Е <sub>пое</sub> = 45 МПа	Е <sub>упр</sub> = 45 МПа	Е <sub>сдв</sub> = 45 МПа Запас = 11%

### Замечание

В процессе проектирования при изменении исходных данных, конструкции дорожной одежды или параметров слоёв, составляющих её, все расчётные характеристики в проекте автоматически пересчитываются, что можно наблюдать в области формирования конструкции дорожной одежды и в инспекторе объектов. Таким образом, вы всегда имеете актуальные данные и можете в любой момент визуально оценить конструкцию.

Рассмотрим подробно каждый столбец.

 **Конструкция**. В этом столбце отображается название слоя конструкции, которое задаётся в свойствах слоя в поле **Название**.

. В этом столбце схематично показано отображение материала условными знаками, которое заранее определено для каждого материала в библиотеке. Изменить параметры оформления материала можно на вкладке **Свойства слоя** в группе параметров **Отображение на чертеже**.

**Материал.** В этом столбце отображается название материала, определенное для него в библиотеке материалов в поле **Полное название**.

**Толщина.** Для каждого материала в системе заранее определена толщина слоя. Толщину слоя текущей конструкции дорожной одежды можно изменить на вкладке **Свойства слоя** в поле **Толщина**.

**Модуль.** В этом столбце для всех слоёв, лежащих ниже слоя жёсткой дорожной одежды, отображается эквивалентный модуль упругости. Для слоя грунта земляного полотна поверхностный модуль упругости принимается равным модулю упругости самого материала.

**Прогиб.** В столбце отображается значение модуля упругости материала.

**Сдвиг.** В этом столбце отображается значение модуля упругости материала (для монолитных материалов, асфальтобетонов и цементобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сдвигоустойчивость, учитывая динамическую нагрузку). Для слабосвязных слоёв основания (если в свойствах слоя установлена опция **Проверить на сдвиг**) и грунтов отображается запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Мелкозернистый бетон класса В16 F4,5	h = 12 см (10,50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	E <sub>одн</sub> = 1600 МПа
Основание	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и	h = 20 см (8,40)	E <sub>з</sub> = 121 МПа	E <sub>упр</sub> = 700 МПа	E <sub>одн</sub> = 700 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10,80)	E <sub>з</sub> = 65 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>одн</sub> = 120 МПа Запас = 26%
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>нов</sub> = 45 МПа	E <sub>упр</sub> = 45 МПа	E <sub>одн</sub> = 45 МПа Запас = 27%

При расчёте на сдвигоустойчивость конструкции, содержащей бетонные плиты сборных покрытий, также отображается запас прочности основания.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Плита железобетонная жёсткая/плавающая, из	h = 10 см (10,50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	E <sub>одн</sub> = 1600 МПа
Основание	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и	h = 20 см (8,40)	E <sub>з</sub> = 140 МПа	E <sub>упр</sub> = 700 МПа	E <sub>одн</sub> = 700 МПа Запас = 0,33 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10,80)	E <sub>з</sub> = 69 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>одн</sub> = 120 МПа Запас = 3%
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>нов</sub> = 45 МПа	E <sub>упр</sub> = 45 МПа	E <sub>одн</sub> = 45 МПа Запас = 11%

**Изгиб.** В столбце **Изгиб** отображается значение модуля упругости материала (для монолитных материалов, асфальтобетонов и цементобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе).

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Плита железобетонная дорожная	$h = 10$ см (10..50)		$E_{упр} = 32000$ МПа	$E_{изг} = 32000$ М
Основание	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и	$h = 20$ см (8..40)	$E_2 = 140$ МПа	$E_{упр} = 700$ МПа	$E_{изг} = 700$ МПа
Доп. слой основания	Песок, средней крупности, с содержанием	$h = 30$ см (10..80)	$E_2 = 69$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$E_{изг} = 120$ МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{лов} = 45$ МПа	$E_{упр} = 45$ МПа	$E_{изг} = 45$ МПа

Для цементобетонного покрытия отображается минимально допустимая толщина слоя  $h_{min}$  и запас толщины слоя.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Мелкозернистый бетон класса В 4/8	$h = 12$ см (10..50)		$E_{упр} = 30000$ МПа	$h_{min} = 10$ см Запас = 2 см
Основание	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и	$h = 20$ см (8..40)	$E_2 = 121$ МПа	$E_{упр} = 700$ МПа	$E_{изг} = 700$ МПа
Доп. слой основания	Песок, средней крупности, с содержанием	$h = 30$ см (10..80)	$E_2 = 65$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$E_{изг} = 120$ МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{лов} = 45$ МПа	$E_{упр} = 45$ МПа	$E_{изг} = 45$ МПа

Если конструкция дорожной одежды содержит асфальтобетонное покрытие на цементобетонном основании, то для слоя покрытия отображается модуль упругости при расчёте на изгиб и запас прочности слоя в процентном соотношении, а для слоя основания — модуль упругости материала и запас прочности слоя в процентном соотношении.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Асфальтобетон горячий уплотнённый	$h = 10$ см (5..15)		$E_{упр} = 3200$ МПа	$h_{min} = 3$ см Запас = 7 см
Верхний слой основания	Мелкозернистый бетон класса В 4/8	$h = 12$ см (10..50)		$E_{упр} = 30000$ МПа	$E_{изг} = 30000$ МПа Запас = 21%
Нижний слой основания	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и	$h = 20$ см (8..40)	$E_2 = 124$ МПа	$E_{упр} = 950$ МПа	$E_{изг} = 950$ МПа
Доп. слой основания	Песок, средней крупности, с содержанием	$h = 30$ см (10..80)	$E_2 = 60$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$E_{изг} = 120$ МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{лов} = 40$ МПа	$E_{упр} = 40$ МПа	$E_{изг} = 40$ МПа

**Стат. нагрузка.** В этом столбце отображается значение модуля упругости материала (для асфальтобетонов отображается модуль упругости материала при расчёте на сдвигоустойчивость, учитывая статическую нагрузку). Для слабосвязных слоёв основания (если в свойствах слоя установлена опция **Проверить на сдвиг**) и грунтов

отображается запас прочности, иллюстрирующий результат этого расчёта в процентном соотношении.

❄ **Мороз.** При расчёте конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость по общему алгоритму в столбце **Мороз** отображается ожидаемое пучение грунта земляного полотна  $l_{пуч}$  и запас морозоустойчивости грунта в сантиметрах.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пробит	Мороз
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Асфальтобетон горячий (улади плотный) I модиф.	$h = 10$ см (3..15)			$E_{упр} = 3200$ МПа
Основание	Мелкозернистый бетон класса В 10 4/8	$h = 12$ см (10..50)			$E_{упр} = 30000$ МПа
Доп. слой основания	Песок: средней крепости, с содержанием	$h = 20$ см (10..80)	$E_d = 53$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{пол} = 40$ МПа	$E_{упр} = 40$ МПа	$h_{пуч} = 5$ см Запас = 1 см

Если конструкция дорожной одежды рассчитывается на морозоустойчивость с учётом морозозащитного слоя, то в этом столбце отображается минимально допустимая толщина морозозащитного слоя  $h_{min}$  и расчётная величина запаса морозозащитного слоя в сантиметрах.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пробит	Мороз
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Асфальтобетон горячий (улади плотный) I модиф.	$h = 10$ см (3..15)			$E_{упр} = 3200$ МПа
Основание	Мелкозернистый бетон класса В 10 4/8	$h = 12$ см (10..50)			$E_{упр} = 30000$ МПа
Доп. слой основания	Песок: средней крепости, с содержанием	$h = 20$ см (10..80)	$E_d = 53$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$h_{min} = 2$ см Запас = 18 см
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{пол} = 40$ МПа	$E_{упр} = 40$ МПа	

❄ **Дренаж.** Для дреназирующего слоя конструкции в этом столбце отображается минимально допустимая толщина слоя  $h_{min}$ , а также расчётная величина запаса дреназирующего слоя в сантиметрах.





Помимо числовых значений расчётных параметров, в области формирования конструкции отображаются подсказки в виде значков. Значки, выделенные зелёным цветом, обозначают, что конструкция дорожной одежды удовлетворяет выбранным критериям расчёта. Красные значки информируют о том, что конструкция не удовлетворяет критериям расчёта и нужно изменить материалы, положение или толщины слоёв или параметры проекта.

Для некоторых конструкций возможны ситуации, когда для одного критерия отображается сразу несколько подсказок в разных конструктивных слоях.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Пролгиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрывте	Асфальтобетон горячей укладки плетью I марки.	h = 10 см (3.15)		E <sub>упр</sub> = 3200 МПа	h <sub>кр</sub> = 3 см Запас = 7 см
Основание	Мелкозернистый бетон класса В 16	h = 10 см (10.50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	E <sub>исг</sub> = 30000 МПа Запас = 33
Доп. слой основания	Песок средней крупности с содержанием	h = 20 см (10.80)	E <sub>з</sub> = 53 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>исг</sub> = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>ос</sub> = 40 МПа	E <sub>упр</sub> = 40 МПа	E <sub>исг</sub> = 40 МПа

Рассмотрим варианты отображения подсказок.

### Сдвиг.

1. Если запас прочности в процентном соотношении слабосвязных слоёв конструкции дорожной одежды или грунта земляного полотна при динамической нагрузке больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .
2. При обустройстве покрытия сборными бетонными плитами при расчёте на сдвигоустойчивость производится расчёт основания. Если запас прочности основания в мегапаскалях больше нуля, то в слое основания отображается значок , в противном случае — значок .

### Замечание

При расчёте конструкции дорожной одежды на прочность рассчитывается запас прочности. В процентном соотношении запас прочности можно представить обобщённой формулой:

$$\text{Запас} = \frac{K_{расч}^* - K_{тр}^*}{K_{тр}^*} \times 100\%,$$

где  $K_{расч}^*$  — расчётный коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по заданному критерию расчёта;

$K_{тр}^*$  — требуемый коэффициент прочности конструкции дорожной одежды по заданному критерию расчёта.

Для некоторых расчётов (дренаж, морозоустойчивость, изгиб) запас может быть рассчитан в сантиметрах по формуле:

$$\text{Запас} = h_{тек} - h_{мин}$$

где  $h_{тек}$  — текущая толщина слоя;

$h_{мин}$  — минимально допустимая толщина слоя.

Расчёт на сдвигоустойчивость основания покрытия, формируемого сборными бетонными плитами, включает расчёт запаса прочности основания на сдвигоустойчивость, выражаемого в мегапаскалях:







$$\text{Запас} = Q_{доп} - Q_{расч}$$

где  $Q_{доп}$  — максимально допустимое давление на основание;




$Q_{расч}$  — расчётное давление на основание.






.....




### Изгиб.

1. При устройстве конструкции с цементобетонным покрытием подсказка отображается в слое покрытия. Если текущая толщина слоя покрытия не превышает минимально допустимую толщину, то отображается значок , в противном случае — значок .
2. При устройстве конструкции с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании подсказка отображается в нижнем слое покрытия и в слое цементобетонного основания. В первом случае если текущая толщина покрытия не превышает минимально допустимую толщину, то отображается значок , в противном случае — значок . Во втором случае если запас прочности основания в процентном соотношении больше нуля, то отображается значок , в противном случае — значок .

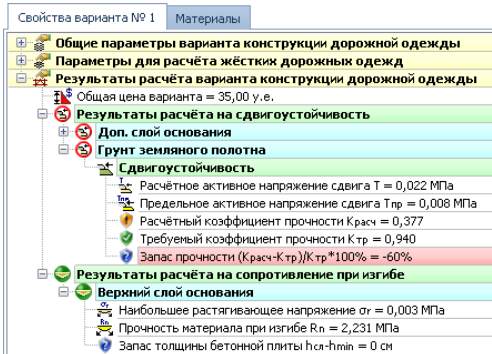


 **Стат. нагрузка.** Если запас прочности в процентном соотношении слабосвязных слоёв основания или грунта земляного полотна при статической нагрузке больше нуля, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

 **Мороз.** Если при расчёте конструкции на морозоустойчивость по общему алгоритму ожидаемое пучение грунта не превышает допускаемое значение, то в поле отображается значок , в противном случае — значок . Если при расчёте конструкции на морозоустойчивость с учётом морозозащитного слоя текущая толщина морозозащитного слоя не превысила минимально допустимую толщину, то в поле отображается значок , в противном случае — значок .

 **Дренаж.** Если расчётная толщина запаса дренирующего слоя больше нуля, то отображается значок , в противном случае — значок .

Сводка о результатах расчёта по всем заданным критериям отображается в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта**. Чтобы её отобразить, щёлкните мышью в строке **Вариант** в области формирования конструкции дорожной одежды. Если конструкция не удовлетворяет какому-либо критерию расчёта, то результаты (например, **Запас прочности**) выделяются красным цветом.



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 = 35,00 у.е.
  - Результаты расчёта на сдвигоустойчивость
    - Доп. слой основания
    - Грунт земляного полотна
    - Сдвигоустойчивость
      - Расчётное активное напряжение сдвига  $T = 0,022$  МПа
      - Предельное активное напряжение сдвига  $T_{пр} = 0,008$  МПа
      - Расчётный коэффициент прочности  $K_{расч} = 0,377$
      - Требуемый коэффициент прочности  $K_{тр} = 0,940$
      - Запас прочности  $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\% = -60\%$
  - Результаты расчёта на сопротивление при изгибе
    - Верхний слой основания
      - Наибольшее растягивающее напряжение  $\sigma_r = 0,003$  МПа
      - Прочность материала при изгибе  $R_n = 2,231$  МПа
      - Запас толщины бетонной плиты  $h_{сл-н min} = 0$  см

## 5.2. Расчёт сопротивления при изгибе цементобетонного покрытия

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.

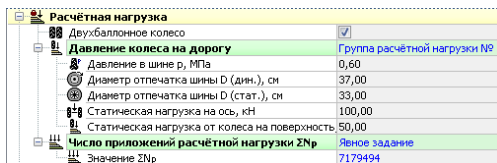
Вторую расчётную схему применяют для определения расстояния между поперечными швами, а также толщины плит в особых условиях для дорог низших категорий при заданной длине на участках с ожидаемыми неравномерными осадками или неравномерным пучением грунта земляного полотна.










## 5.2.1. Произведение расчёта

### 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**.
2. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** определите параметры:
  - » Равномерно распределённая нагрузка штампа колеса в поле **Давление в шине p** для расчёта напряжения растяжения при изгибе.
  - » В поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность** задайте расчётную нагрузку  $Q$ .
  - » Число приложений расчётной нагрузки  $\sum N_p$  для определения требуемой толщины покрытия.



Расчётная нагрузка	
 Двухбаллонное колесо	<input checked="" type="checkbox"/>
 Давление колеса на дорогу	Группа расчётной нагрузки № 1
 Давление в шине p, МПа	0,60
 Диаметр отпечатка шины D (диан.), см	37,00
 Диаметр отпечатка шины D (стат.), см	33,00
 Статическая нагрузка на ось, кН	100,00
 Статическая нагрузка от колеса на поверхность	50,00
 Число приложений расчётной нагрузки $\sum N_p$	Явное задание
 Значение $\sum N_p$	7179494

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** установите первую схему расчёта.
  - » В поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах** определите, имеет ли конструкция штыревые соединения. В зависимости от этой опции задаётся коэффициент  $K_{шт}$  при расчёте напряжения растяжения при

изгибе. При наличии штырей (опция включена)  $K_{шт} = 1,0$ ; при их отсутствии (опция отключена)  $K_{шт} = 1,05$ .

Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд	
Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий	1
Наличие штыревых соединений в поперечных швах	<input checked="" type="checkbox"/>
Коэффициент Пуассона основания	0,30

- » В поле **Коэффициент Пуассона основания** задайте коэффициент Пуассона основания  $\mu_0$  для расчёта упругой характеристики плиты.

#### 4. Задайте параметры слоя цементобетонного покрытия.

- » В поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе** определите класс бетона по прочности  $B_b$ .

Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	4,80
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	<input checked="" type="checkbox"/>
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,20
$\alpha$ (коэффициент температурной деформации бетона)	1,00

- » Выберите в поле **Тип твердения бетона** один из способов твердения. При выборе пункта **Естественного твердения** коэффициент набора прочности бетона  $K_{нп} = 1,2$ ; пункта **Пропаренный** —  $K_{нп} = 1,0$ .

- » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле  **$\mu$  (коэффициент Пуассона)**.

- » В поле **Краевое армирование** можно задать тип армирования: краевое армирование цементобетона или неармированный цементобетон. Неармированное покрытие (опция отключена) задаёт коэффициент  $K_m = 1,5$  при краевом армировании покрытия (опция включена) коэффициент  $K_m = 1,0$ .

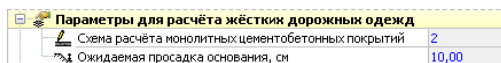
- » В поле **Модуль упругости  $E$**  отображается модуль упругости материала, определённый в библиотеке материалов. При необходимости измените его.

#### 5. Для всех остальных слоёв конструкции определите модуль упругости материала и толщину слоя.

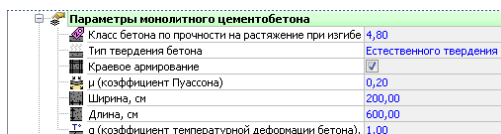
## Расчёт по второй схеме

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  $K_c$ , влияющий на расчёт толщины плиты. При просадке более 15 см  $K_c = 1,2$ ; в остальных случаях  $K_c = 1,0$ .



2. Задайте параметры слоя цементобетонного покрытия.
  - » В поле **Ширина** задайте ширину бетонной плиты.



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

## 5.2.2. Результаты расчёта по первой схеме



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  $h_{min}$  и значение запаса толщины слоя, рассчитываемое следующим образом:

$$Запас = h_{min} - h_{тек},$$

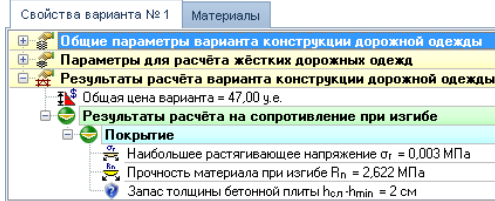
где  $h_{min}$  — минимально допустимая расчётная толщина слоя цементобетонного покрытия;

$h_{тек}$  — 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	Пролёб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрывтие	Мелкозернистый бетон класса В 16/4,9	h = 12 см (10,50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	h <sub>мин</sub> = 10 см Запас = 2 см
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 15 см (8,40)	E <sub>з</sub> = 95 МПа	E <sub>упр</sub> = 700 МПа	E <sub>изг</sub> = 700 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 20 см (10,80)	E <sub>з</sub> = 58 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>изг</sub> = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 45 МПа	E <sub>упр</sub> = 45 МПа	E <sub>изг</sub> = 45 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.



Рассмотрим подробно результаты расчёта по первой расчётной схеме:

- » Напряжение растяжения при изгибе возникающее в бетонном покрытии от действия нагрузки, с учётом перепада температуры по толщине плиты вычисляется по формуле:

$$\sigma_r = \frac{Q \times K_M \times 60K_{Усл} \times K_{ШТ}}{h^2 \times K_t} \times \left( 0,0592 - 0,2137 \log \frac{R}{I_y} \right),$$

где  $Q$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд», П. 2.3.,  $Q = Q_{ан}$ );

$K_M$  — коэффициент, учитывающий влияние места расположения нагрузки и определяемый в зависимости от наличия краевого армирования в бетоне (поле **Краевое армирование** в свойствах цементобетонного слоя);

$K_{Усл}$  — коэффициент, учитывающий условия работы, равный 0,66;

$K_{ШТ}$  — коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит с основанием при наличии в поперечных швах штырей. Коэффициент определяется в соответствии со значением, заданным в свойствах

варианта в поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах**;

$h$  — предварительно назначенная толщина плиты, задаваемая в свойствах цементобетонного слоя в поле **Толщина**;

$K_t$  — коэффициент, учитывающий влияние температурного колебания плит, определяемый в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [5, табл. 3.4]);

$R$  — радиус отпечатка колеса;

$I_y$  — упругая характеристика плиты.

Радиус отпечатка колеса находится по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{Q}{0,1\pi p}},$$

где  $Q$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. [5, П. 2.3.,  $Q = Q_{dn}$ ]);

$p$  — давление в шинах.

Упругая характеристика плиты выражается формулой:

$$I_y = h \times \sqrt[3]{\frac{E(1-\mu_0^2)}{6E_0^3(1-\mu^2)}},$$

где  $h$  — вычисляемая толщина слоя;

$E$  — модуль упругости цементобетона, задаваемый в свойствах цементобетонного слоя в поле **Модуль упругости E**;

$\mu_0$  — коэффициент Пуассона основания, задаваемый в свойствах варианта в поле **Коэффициент Пуассона основания**;

$E_0^3$  — эквивалентный модуль упругости основания;



$\mu$  — коэффициент Пуассона цементобетона, задаваемый в свойствах цементобетонного слоя в поле  $\mu$  (**коэффициент Пуассона**).

Эквивалентный модуль упругости основания определяется путём последовательного приведения к двухслойной модели по следующей формуле:

$$E_0^3 = \frac{E_i}{0,71 \sqrt[3]{\frac{E_{\text{общ}}^{i+1}}{E_i} \arctan\left(\frac{1,35h_3}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{\text{общ}}^{i+1}} \times \frac{2}{\pi} \times \arctan\left(\frac{D}{h_3}\right)}}$$

где  $i$  — номер рассматриваемого слоя дорожной одежды, считая сверху вниз;

$$h_3 = 2h_i \times \sqrt[3]{\frac{E_i}{6E_{\text{общ}}^{i+1}}},$$

$E_i$  — модуль упругости  $i$ -го слоя;

$h_i$  — толщина  $i$ -го слоя;

$E_{\text{общ}}$  — эквивалентный модуль упругости слоя, подстилающего  $i$ -й слой;

$D$  — диаметр отпечатка колеса или площадки силового контактирования верхнего слоя с нижеследующим, принимаемый равным 50 см.

Определение требуемой толщины плиты цементобетонного покрытия происходит следующим образом. Для нескольких значений толщин покрытия строят график зависимости коэффициента усталости бетона от толщины  $K_y = f(h)$  и сравнивают его с величиной  $K_y = f(\sum N_p)$ . Если величины совпадают или очень близки, то считается, что минимально допустимая толщина слоя найдена.

Коэффициент усталости бетона, зависящий от расчётной нагрузки, вычисляется следующим образом:

---

$$K_y = f(\Sigma N_p) = 1,08(\Sigma N_p)^{-0,063},$$

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

Коэффициент усталости бетона, зависящий от толщины, вычисляется по формуле:

$$K_y = f(h) = \frac{\sigma_r \times K_{ПР}}{B_{cb} \times K_{НП} \times K_F},$$

где  $\sigma_r$  — напряжение растяжения при изгибе, возникающее в бетонном покрытии от действия нагрузки, с учётом перепада температуры по толщине плиты;

$K_{ПР}$  — коэффициент прочности при расчёте на изгиб, вычисляемый в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [5, табл. 3.1]) и отображаемый в свойствах проекта в поле **Требуемый  $K_{пр}$**  (сдвиг, изгиб);

$B_{cb}$  — класс бетона на растяжение при изгибе, задаваемый в свойствах цементобетонного слоя в поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе**;

$K_{НП}$  — коэффициент набора прочности бетона, определяемый в зависимости от типа твердения бетона, указанного в свойствах цементобетонного слоя в поле **Тип твердения бетона**;

$K_F$  — коэффициент, учитывающий воздействие попеременного замораживания-оттаивания и равный 0,95.

С помощью графика определяют толщину покрытия  $h_{min}$ , соответствующую требуемому  $K_y = f(\sum N_p)$ .

- » Запас толщины слоя аналогичен запасу, отображаемому в области формирования конструкции, и рассчитывается по той же формуле.

### 5.2.3. Результаты расчёта по второй схеме

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**.

Проект конструкции дорожной одежды						
Вариант № 1						
Покрытие	Мелкозернистый бетон класса В 18/4/8	$h = 12 \text{ см}$ (10..50)		$E_{упр} = 30000 \text{ МПа}$	$f_{min} = 10 \text{ см}$ Запас = 2 см	
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	$h = 15 \text{ см}$ (8..40)	$E_3 = 95 \text{ МПа}$	$E_{упр} = 700 \text{ МПа}$	$E_{изг} = 700 \text{ МПа}$	
Доп. слой основания	Песок средней крупности с содержанием	$h = 20 \text{ см}$ (10..80)	$E_3 = 58 \text{ МПа}$	$E_{упр} = 120 \text{ МПа}$	$E_{изг} = 120 \text{ МПа}$	
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{пов} = 45 \text{ МПа}$	$E_{упр} = 45 \text{ МПа}$	$E_{изг} = 45 \text{ МПа}$	

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 = 47,00 у.е.	
Результаты расчёта на сопротивление при изгибе	
Покрытие	
Запас толщины бетонной плиты $h_{пл} - f_{min} = 2 \text{ см}$	

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

$$h_{min} = \sqrt{\frac{60K_c \times Q_p}{B \times R_n} \times \left(\frac{A}{4} - R\right)},$$

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**;

$Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд», П. 2.3.,  $Q_p = Q_{дн}$ );

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

$R_n$  — расчётное сопротивление бетона;

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


$R$  — радиус отпечатка колеса, вычисляемый по формуле, приведённой в предыдущем подразделе.

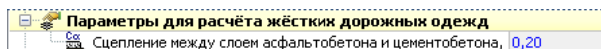
## 5.3. Расчёт сопротивления при изгибе цементобетонного основания и монолитных слоёв покрытия

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.

### 5.3.1. Произведение расчёта

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

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Соппротивление при изгибе**.
2. На вкладке **Свойства проекта** задайте следующие параметры:
  - » В поле **Амплитуда колебания температуры на поверхности покрытия** задайте значение перепада температуры в течение суток на поверхности асфальтобетонного покрытия, определённое в методических рекомендациях по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [3, табл. П. 4.11]). Данный параметр используется для расчёта перепада температур по толщине цементобетонного слоя.
  - » Равномерно распределённая нагрузка штампа колеса в поле **Давление в шине  $p$** .
  - » В поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность** задайте расчётную нагрузку  $Q$ .
  - » Число приложений расчётной нагрузки  $\sum N_p$ .
3. Выделите вариант дорожной одежды в области формирования конструкции и в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** задайте сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона  $C_a$  в поле **Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона**. При отсутствии гарантированного сцепления принимается  $C_a = 0$ .



4. Для всех монолитных слоёв и асфальтобетонов покрытия определите модуль упругости материала и толщину слоя.
5. В параметрах слоя цементобетонного основания задайте параметры:

- » В поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе** определите класс бетона по прочности  $B_{ib}$ .

Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	4,80
Тип твердения бетона	Пропаренный
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,20
$\alpha$ (коэффициент температурной деформации бетона)	1,00

- » Выберите в поле **Тип твердения бетона** один из способов твердения. При выборе пункта **Естественного твердения** коэффициент набора прочности бетона  $K_{нп} = 1,2$ ; пункта **Пропаренный** —  $K_{нп} = 1,0$ .
- » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле  **$\mu$  (коэффициент Пуассона)**.
- » В поле  **$\alpha$  (коэффициент температурной деформации бетона)** задайте коэффициент линейной деформации, влияющий на расчёт напряжения  $\sigma_t$  от перепада температур по толщине слоя.
- » В поле **Модуль упругости  $E$**  отображается модуль упругости материала, определённый в библиотеке материалов. При необходимости измените его.
- » Задайте толщину слоя в поле **Толщина**.

Для расчёта асфальтобетонного покрытия задайте следующие параметры:

6. На вкладке **Свойства проекта** определите приведённую интенсивность  $N_p$ . Этот параметр влияет на расчёт коэффициента усталости  $K_{ya}$ , учитывающего многократное приложение нагрузки в течение суток. Если приведённая интенсивность не задана, то производится расчёт конструкции дорожной



одежды, используя значение по умолчанию, равное 2000 авт./сут.

<b>Число приложений расчётной нагрузки <math>\Sigma N_p</math></b>		Расчёт по условиям движ...
Значение $\Sigma N_p$	6604707	
Тип участка дороги	Полоса движения	
Число полос движения (в обе стороны)	6	
Номер расчётной полосы от обочины	1	
Способ определения числа расчётных дней	По номеру района	
Район по Трдг (количеству дней в году с деформируемой	7 (140 дней)	(Карта...)
Закон изменения интенсивности при расчёте слоёв усиления	Геометрическая прогрессия	
Показатель изменения интенсивности по годам $q$	1,04	
Способ задания приведённой интенсивности	На последний год службы	
Приведённая интенсивность $N_p$	Явное задание	
Приведённая интенсивность, авт./сут	3200	

7. Задайте такие параметры асфальтобетона, как:

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

<b>Изгиб</b>		
Модуль упругости $E_{расч, изгиб}$ , МПа	6000,00	
Нормативное сопротивление весной $R_0$ , МПа	9,80	
$\mu_a$ (коэффициент Пуассона)	0,30	
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) $R_d$ МПа	2,00	
Фактический коэффициент вязкого сопротивления $h_f$ , МПа*с	100	



- » В поле  **$\mu_a$  (коэффициент Пуассона)** задайте коэффициент Пуассона асфальтобетона.

## 5.3.2. Результаты расчёта толщины монолитного покрытия

Результаты расчёта толщины монолитного слоя при расчёте конструкции дорожной одежды жёсткого типа 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 покрытие состоит из нескольких слоёв асфальтобетона, формирующих монолитное покрытие, то минимально допустимая толщина монолитного покрытия 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	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	$h = 10$ см (3..15)		$E_{упр} = 3200$ МПа	$R_{мин} = 3$ см Запас = 7 см
Верхний слой основания	Мажорановский бетон класса В 16 4,8	$h = 12$ см (10..50)		$E_{упр} = 30000$ МПа	$E_{изг} = 30000$ МПа Запас = 21%
Нижний слой основания	Смесь щебёночно-гравийно-песчаная и Песок средней крупности, с содержанием	$h = 20$ см (8..40)	$E_3 = 124$ МПа	$E_{упр} = 950$ МПа	$E_{изг} = 950$ МПа
Доп. слой основания		$h = 30$ см (10..80)	$E_3 = 60$ МПа	$E_{упр} = 120$ МПа	$E_{изг} = 120$ МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		$E_{пол} = 40$ МПа	$E_{упр} = 40$ МПа	$E_{изг} = 40$ МПа

Если текущая толщина слоя асфальтобетона (или сумма толщин нескольких слоёв) не превышает минимально допустимую толщину слоя (или сумму минимально допустимых толщин слоёв), то в слое покрытия отображается значок , в противном случае отображается значок .

Толщина монолитного покрытия вычисляется итеративно. В качестве начальной величины берётся сумма минимальных толщин материалов асфальтобетонных слоёв, заданных в свойствах материала. Толщину слоя проверяют из условия работы на прочность при действии расчётной нагрузки по формуле, отражающей растяжение

асфальтобетона в поперечном направлении в призме шириной поперху  $2R$ , понизу  $(2R + 2h_a)$  и высотой  $h_a$ :

$$R_d \times K_{ya} \geq \frac{\mu_a \times (Q_p - (R + h_a)^2 \times \pi \times C_a)}{h_a \times (2R + h_a)},$$

где  $R_d$  — сопротивление асфальтобетона на растяжение при изгибе, задаваемое в свойствах слоя асфальтобетона в поле **Нормативное сопротивление (жёсткое основание)  $R_d$** ;

$K_{ya}$  — коэффициент усталости, учитывающий многократное приложение нагрузки в течение суток и рассчитываемый в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [3, рис. П. 4.1]);

$\mu_a$  — коэффициент Пуассона асфальтобетона, задаваемый в свойствах слоя асфальтобетона в поле  **$\mu_a$  (коэффициент Пуассона)**;

$Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. [3, П. 2.3.,  $Q_p = Q_{dm}$ ]);

$R$  — радиус отпечатка колеса, вычисляемый по формуле, приведённой в предыдущем подразделе;

$h_a$  — толщина асфальтобетонного слоя;

$C_a$  — сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона, задаваемое в свойствах варианта в поле **Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона**.

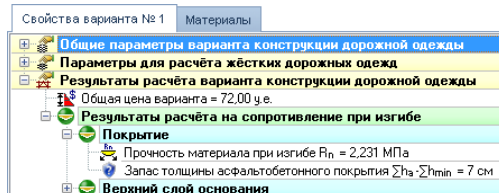
Запас толщины покрытия рассчитывается следующим образом:

$$\text{Запас} = \sum_i h_{a_i} - \sum_i h_{\min_i},$$

где  $h_{a_i}$  — текущая толщина  $i$ -го слоя асфальтобетона;

$h_{\min_i}$  — минимально допустимая толщина  $i$ -го слоя асфальтобетона.

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.



### 5.3.3. Результаты расчёта прочности цементобетонного основания

Результаты расчёта прочности цементобетонного основания при расчёте конструкции дорожной одежды жёсткого типа на сопротивление 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 столбце **Изгиб** для слоя цементобетона отображается модуль упругости при расчёте на изгиб и запас прочности слоя в процентном соотношении, иллюстрирующий результат расчёта. Для всех слоёв, лежащих ниже слоя цементобетона, также отображается модуль упругости при расчёте на изгиб.



Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб	Изгиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 10 см (3..15)		E <sub>упр</sub> = 3200 МПа	h <sub>изг</sub> = 3 см Запас = 7 см
Верхний слой основания	Мелкозернистый бетон класса В 16 4.3	h = 12 см (10..50)		E <sub>упр</sub> = 30000 МПа	E <sub>изг</sub> = 30000 МПа Запас = 21%
Нижний слой основания	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 20 см (8..40)	E <sub>з</sub> = 124 МПа	E <sub>упр</sub> = 950 МПа	E <sub>изг</sub> = 950 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10..80)	E <sub>з</sub> = 60 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>изг</sub> = 120 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 40 МПа	E <sub>упр</sub> = 40 МПа	E <sub>изг</sub> = 40 МПа

Запас прочности слоя цементобетона рассчитывается по формуле:

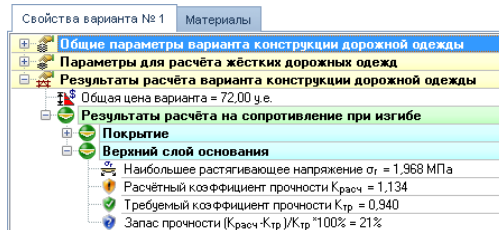
$$\text{Запас} = \frac{K_{расч} - K_{тp}}{K_{тp}} \times 100\%,$$

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

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

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. слой цементобетона удовлетворяет критерию сопротивления при изгибе, то в этом слое отображается значок , в противном случае отображается значок .

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



Рассмотрим подробно результаты расчёта.

- » Наибольшее растягивающее напряжение для слоя основания из цементобетона определяется по формуле:

$$\sigma_r = \sigma_p + \sigma_t$$

где  $\sigma_p$  — напряжение растяжения при изгибе от действия нагрузки;

$\sigma_t$  — напряжение от перепада температур по толщине цементобетонного слоя.

Напряжение растяжения при изгибе от действия нагрузки в данной ситуации вычисляется следующим образом:

$$\sigma_p = \frac{Q_p \times K_M \times 60K_{Усл} \times K_{ШТ}}{H_3^2 \times K_t} \times \left( 0,0592 - 0,2137 \log \frac{R}{l_y} \right),$$

где  $Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. [3, П. 2.3.,  $Q_p = Q_{дн}$ ]);

$K_M$  — коэффициент, учитывающий влияние места расположения нагрузки и определяемый в зависимости от наличия краевого армирования в бетоне (поле **Краевое армирование** в свойствах цементобетонного слоя);

$K_{сл}$  — коэффициент, учитывающий условия работы, равный 0,66;

$K_{шт}$  — коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит с основанием при наличии в поперечных швах штырей. Коэффициент определяется в соответствии со значением, заданным в свойствах варианта в поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах**;

$H_э$  — эквивалентная толщина слоя;

$K_t$  — коэффициент, учитывающий влияние температурного колебания плит и определяемый в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [3, табл. 3.4]);

$R$  — радиус отпечатка колеса;

$l_y$  — упругая характеристика плиты с учётом  $H_э$ .

Эквивалентная толщина слоя находится по формуле:

$$H_э = h + h_a \times \sqrt[3]{\frac{E_a}{E}},$$

где  $h$  — толщина слоя цементобетона;

$h_a$  — толщина слоя асфальтобетона;

$E_a$  — расчётный модуль упругости асфальтобетона;

$E$  — модуль упругости цементобетона.

Напряжение от перепада температур по толщине слоя цементобетона определяется по формуле:

$$\sigma_t = \frac{\alpha \times E \times \Delta T_b}{2},$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейной температурной деформации бетона, задаваемый в параметрах слоя цементобетона в поле  **$\alpha$  (коэффициент температурной деформации бетона)**;

$E$  — модуль упругости цементобетона;

$\Delta T_b$  — перепад температуры по толщине цементобетонного слоя, вычисляемый по следующей формуле:

где  $A_n$  — перепад температуры в течение суток на поверхности асфальтобетонного покрытия;

$h_a$  — толщина слоя асфальтобетона;

$\omega$  — угловая частота суточных колебаний температуры, равная 0,26 рад/ч;

$a_{та}$  — коэффициент температуропроводимости асфальтобетона, равный 0,002 м<sup>2</sup>/ч;

$h$  — толщина слоя цементобетона;

$a_{тб}$  — коэффициент температуропроводимости цементобетона, равный 0,004 м<sup>2</sup>/ч.

» Прочность материала при изгибе  $R_n$  вычисляется по следующей формуле:

$$R_n = B_{tb} \times K_{нп} \times K_y \times K_F,$$

где  $B_{tb}$  — класс бетона на растяжение при изгибе, задаваемый в свойствах цементобетонного слоя в поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе**;

$K_{нп}$  — коэффициент набора прочности бетона, определяемый в зависимости от указанного типа твердения бетона в свойствах цементобетонного слоя в поле **Тип твердения бетона**;

$K_y$  — коэффициент усталости бетона при повторном нагружении;

$K_F$  — коэффициент, учитывающий воздействие попеременного замораживания-оттаивания и равный 0,95.



- » Расчётный коэффициент прочности при расчёте на сопротивление при изгибе, вычисляемый по формуле:

$$K_{расч} = \frac{R_n}{\sigma_p + \sigma_t},$$

где  $R_n$  — прочность материала при изгибе;

$\sigma_p$  — напряжение растяжения при изгибе от действия нагрузки;

$\sigma_t$  — напряжение от перепада температур по толщине цементобетонного слоя.


- » Требуемый коэффициент прочности  $K_{тp}$  при расчёте на сопротивление при изгибе, определяемый в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд (см. [3, табл. 3.1]).
- » Запас прочности слоя (как в области формирования конструкции дорожной одежды).

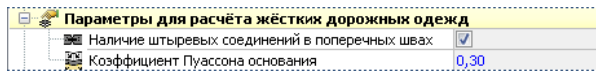
## 5.4. Определение расчётных характеристик сборных покрытий из плит

При расчёте сборных покрытий учитываются условия прочности бетона на изгиб краевых участков плит и в центре плиты, определяемые набором расчётных характеристик.

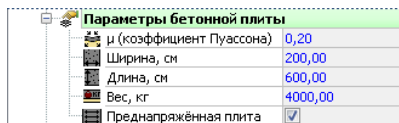
## 5.4.1. Производство расчёта

Чтобы вычислить расчётные характеристики, выполните следующие действия:

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Сопrotивление при изгибе**.
2. На вкладке **Свойства проекта** задайте параметры:
  - » Для определения полудлины и полуширины отпечатка колеса, отнесённых к нейтральной линии плиты, задайте расстояние между колёсами в поле **Расстояние между спаренными колёсами**.
  - » В поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность** задайте расчётную нагрузку  $Q$ .
3. На вкладке **Свойства варианта** задайте коэффициент Пуассона основания  $\mu_0$  для расчёта упругой характеристики плиты в поле **Коэффициент Пуассона основания**.



4. В параметрах бетонной плиты покрытия определите такие параметры, как:
  - » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле  **$\mu$  (коэффициент Пуассона)**.



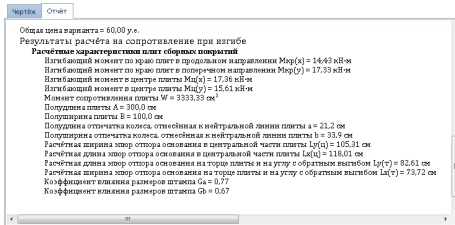
- » В поле **Ширина** задайте ширину бетонной плиты.
- » В поле **Длина** задайте длину бетонной плиты.
- » Установка опции **Преднапряжённая плита** влияет на определение изгибающего момента от монтажных

нагрузок.

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

## 5.4.2. Результаты расчёта

Значения расчётных параметров отображаются в сформированной пояснительной записке на вкладке **Отчёт** главного окна системы. Параметры объединены заголовком **Результаты расчёта на сопротивление при изгибе**. Обратите внимание, что в области формирования конструкции, свойствах варианта и чертеже расчётные параметры, иллюстрирующие результат расчёта, не отображаются.



Рассмотрим подробно расчётные параметры.

» Изгибающий момент по краю плит в продольном направлении

$M_x^{KP}$  рассчитывается по формуле:

$$M_x^{KP} = \frac{0,318Q_p \times L_x^{\text{ц}} \times G_a}{L_y^T + b},$$

где  $Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд», П. 2.3.,  $Q_p = Q_{\partial n}$ );

$L_x^{\text{ц}}$  — расчётная длина эпюр отпора основания в центральной части плиты;

$G_a$  — коэффициент влияния размеров штампа;

$L_y^T$  — расчётная ширина эпюр отпора основания на торце плиты и на углу с обратным выгибом;

$b$  — полуширина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты.

- » Изгибающий момент по краю плит в поперечном направлении  $M_y^{KP}$  рассчитывается следующим образом:

$$M_y^{KP} = \frac{0,318Q_p \times L_y^{\text{Ц}} \times G_b}{L_x^T + a},$$

где  $Q_p$  — расчётная нагрузка;

$L_y^{\text{Ц}}$  — расчётная ширина эпюр отпора основания в центральной части плиты;

$G_b$  — коэффициент влияния размеров штампа;

$L_x^T$  — расчётная длина эпюр отпора основания на торце плиты и на углу с обратным выгибом;

$a$  — полудлина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты.

### Замечание

При расчёте ненапряжённых плит длиной более двух метров изгибающий момент находится по формуле:

$$M_y^{KP} = \frac{0,295Q_p \times L_x^T}{L_y^{\text{Ц}} + b} \times \left( 1 - 2,78 \frac{1}{L_x^T} \right),$$

где  $Q_p$  — расчётная нагрузка;

$L_x^T$  — расчётная длина эпюр отпора основания на торце плиты и на углу с обратным выгибом;

$L_y^{\text{Ц}}$  — расчётная ширина эпюр отпора основания в центральной части плиты;

$b$  — полуширина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты.

.....

- » Изгибающий момент в центре плиты в продольном направлении  $M_x^{\text{II}}$  определяется по формуле:

$$M_y^{\text{KP}} = \frac{0,295Q_p \times L_x^{\text{I}}}{L_y^{\text{II}} + b} \times \left(1 - 2,78 \frac{1}{L_x^{\text{I}}}\right),$$

где  $Q_p$  — расчётная нагрузка;

$L_y^{\text{II}}$  — расчётная ширина эяур отпора основания в центральной части плиты;

$L_x^{\text{I}}$  — расчётная длина эяур отпора основания в центральной части плиты;

$G_a, G_b$  — коэффициенты влияния размеров штампа.

- » Изгибающий момент в центре плиты в поперечном направлении  $M_y^{\text{II}}$  определяется по формуле:

$$M_y^{\text{II}} = 0,159Q_p \times \frac{L_y^{\text{II}}}{L_x^{\text{II}}} \times G_b,$$

где  $Q_p$  — расчётная нагрузка;

$L_y^{\text{II}}$  — расчётная ширина эяур отпора основания в центральной части плиты;

$L_x^{\text{II}}$  — расчётная длина эяур отпора основания в центральной части плиты;

$G_b$  — коэффициент влияния размеров штампа.

- » Момент сопротивления плиты рассчитывается следующим образом:

$$W = \frac{2B \times h^2}{6},$$

где  $B$  — полуширина плиты;

$h$  — толщина плиты.

- » Полудлина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты, вычисляется по формуле:

$$a = 0,87R + 0,5h,$$

где  $R$  — радиус отпечатка колеса;

$h$  — толщина плиты.

- » Полуширина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты, вычисляется по формуле:

$$b = 1,5R + 0,5h + 0,5b',$$

где  $R$  — радиус отпечатка колеса;

$h$  — толщина плиты;

$b'$  — расстояние между отпечатками колёс, задаваемое в параметрах проекта в поле **Расстояние между спаренными колёсами**.

- » Расчётная длина и ширина эпюр отпора основания в центральной части плиты  $L_x^{\text{II}}$  и  $L_y^{\text{II}}$  рассчитываются по формулам:

$$L_x^{\text{II}} = 2,5l_y^x + a,$$

$$L_y^{\text{II}} = 2,5l_y^y + b,$$

где  $l_y^x$  и  $l_y^y$  — упругая характеристика плиты;

$a$  — полудлина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты;

$b$  — полуширина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты.



- » Расчётная длина и ширина эпюр отпора основания на торце плиты и на углу с обратным выгибом  $L_x^T$  и  $L_y^T$  находятся по следующим формулам:

$$L_x^T = 0,7L_x^{\Pi},$$

$$L_y^T = 0,7L_y^{\Pi},$$

где  $L_x^{\Pi}$  — расчётная длина эпюр отпора основания в центральной части плиты;

$L_y^{\Pi}$  — расчётная ширина эпюр отпора основания в центральной части плиты.

- » Коэффициенты влияния размеров штампа  $G_a$  и  $G_b$  находятся по следующим формулам:

$$G_a = 1 - 1,136 \frac{a}{L_x^{\Pi}},$$

$$G_b = 1,136 \frac{b}{L_y^{\Pi}},$$

где  $a$  — полудлина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты;

$L_x^{\Pi}$  — расчётная длина эпюр отпора основания в центральной части плиты;

$b$  — полуширина отпечатка колеса, отнесённая к нейтральной линии плиты;


$L_y^{\Pi}$  — расчётная ширина эпюр отпора основания в центральной части плиты.

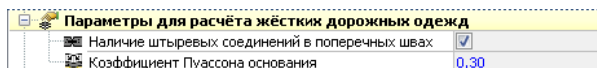
## 5.5. Расчёт сдвигоустойчивости основания

При обустройстве покрытия дорожной одежды из сборных плит необходимо учитывать сдвигоустойчивость основания. Критерием устойчивости основания можно считать его устойчивость по сдвигу и отсутствие недопустимых деформаций под торцами плит к концу расчётного срока службы.

### 5.5.1. Производство расчёта

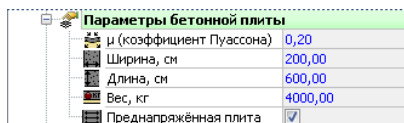
Чтобы обеспечить конструкцию дорожной одежды, содержащую плиты сборных покрытий, устойчивой по критерию сдвигоустойчивости основания при динамической нагрузке, произведите следующий расчёт:

1. Установите критерий расчёта, нажав кнопку **Главная > Расчёт >  Сдвигоустойчивость**.
2. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства проекта** задайте параметры:
  - » В поле **Статическая нагрузка от колеса на поверхность** задайте расчётную нагрузку  $Q$ .
  - » Для расчёта расстояния между колёсами задайте нужное значение в поле **Расстояние между спаренными колёсами**.
3. Выделите вариант дорожной одежды в области формирования конструкции и в инспекторе объектов на вкладке **Свойства варианта** задайте следующие параметры:
  - » В поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах** определите, имеет ли конструкция штыревые соединения. В зависимости от этой опции задаётся коэффициент  $m_{cm}$  при расчёте сдвигоустойчивости основания. При наличии штырей (опция включена)  $m_{cm} = 0,7$ , при их отсутствии (опция отключена)  $m_{cm} = 1,0$ .
  - » В поле **Коэффициент Пуассона основания** задайте коэффициент Пуассона основания  $\mu_0$  для расчёта упругой характеристики плиты.



4. В параметрах бетонной плиты покрытия определите такие параметры, как:

- » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задайте в поле  **$\mu$  (коэффициент Пуассона)**.



Параметры бетонной плиты	
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина, см	200,00
Длина, см	600,00
Вес, кг	4000,00
Преднапряжённая плита	<input checked="" type="checkbox"/>

- » В поле **Ширина** задайте ширину бетонной плиты.
  - » В поле **Длина** задайте длину бетонной плиты.
  - » Вес плиты укажите в поле **Вес**.
  - » Установка опции **Преднапряжённая плита** влияет на определение изгибающего момента от монтажных нагрузок.
  - » В поле **Модуль упругости E** отображается модуль упругости материала, определённый в библиотеке материалов. При необходимости измените его.
  - » Задайте толщину слоя в поле **Толщина**.
5. Для всех остальных слоёв конструкции определите модуль упругости материала и толщину слоя.
6. В инспекторе объектов на вкладке **Свойства грунта** определите следующие параметры:
- » В поле **Плотность** задайте удельный вес грунта земляного полотна.
  - » В поле **Сцепление  $c_n$**  задайте удельное сцепление грунта.

## 5.5.2. Результаты расчёта

Результаты расчёта конструкции по критерию сдвигоустойчивости основания, подстилающего плиты сборных покрытий, отображаются в области формирования конструкции в столбце **Сдвиг** и на вкладке **Свойства варианта** в группе **Результаты расчёта на сдвигоустойчивость**.

В области формирования конструкции дорожной одежды в столбце **Сдвиг** для слабосвязных слоёв и грунта земляного полотна отображается значение модуля упругости и запас прочности в процентном соотношении, иллюстрирующий расчёт на сдвигоустойчивость. В слое основания, подстилающего покрытие из сборных бетонных плит, отображается модуль упругости при расчёте на сдвигоустойчивость (динамическая нагрузка) и запас прочности слоя в мегапаскалях, иллюстрирующий результат расчёта основания на сдвигоустойчивость в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	ПроиБ	Сдвиг
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>					
<b>Вариант № 1</b>					
Покрытие	Плита железобетонная напряжённая, из	h = 10 см (10..50)		E <sub>упр</sub> = 32000 МПа	E <sub>сдв</sub> = 1600 МПа
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 20 см (8..40)	E <sub>з</sub> = 140 МПа	E <sub>упр</sub> = 700 МПа	E <sub>сдв</sub> = 700 МПа Запас = 0,33 МПа
Доп. слой основания	Песок средней крупности, с содержанием	h = 30 см (10..80)	E <sub>з</sub> = 69 МПа	E <sub>упр</sub> = 120 МПа	E <sub>сдв</sub> = 120 МПа Запас = 3%
Грунт земляного полотна	Силесь пылеватая		E <sub>плв</sub> = 45 МПа	E <sub>упр</sub> = 45 МПа	E <sub>сдв</sub> = 45 МПа Запас = 11%

Запас прочности слоя основания рассчитывается по формуле:

$$\text{Запас} = Q_{\text{доп}} - Q_{\text{расч}}$$

где  $Q_{\text{доп}}$  — максимально допустимое давление на основание;

$Q_{\text{расч}}$  — расчётное давление на основание.

Расчётное давление для плит длиной более 15h определяется формулой:

$$Q_{расч} = \frac{27,4Q_p \times m_{ст}}{L_x^T \times L_y^T},$$

где  $Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд», П. 2.3.,  $Q_p = Q_{дн}$ );

$L_x^T$  и  $L_y^T$  — расчётная длина и ширина эпюр отпора основания;  
 $m_{ст}$  — коэффициент, учитывающий влияние стыковых соединений и рассчитывающийся в соответствии с заданной опцией варианта в поле **Наличие штыревых соединений в поперечных швах**. Если опция установлена, то коэффициент  $m_{ст} = 0,7$ , в противном случае  $m_{ст} = 1,0$ .

Для плит длиной от 8h до 15h расчётное давление можно вычислить по формуле:

$$Q_{расч} = 10 \times \left( \frac{Q_p + Q'}{4A \times B} + \frac{3Q \times (A - a)}{4A^2 \times B} + \frac{3Q \times (B - b)}{4A \times B^2} \right),$$

где  $Q_p$  — номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие (см. «Методические рекомендации по проектированию жёстких дорожных одежд», П. 2.3.,  $Q_p = Q_{дн}$ );

$Q'$  — вес плиты, задаваемый в параметрах бетонной плиты в поле **Вес**;

$A$  и  $B$  — полудлина и полуширина плиты;

$a$  и  $b$  — полудлина и полуширина отпечатка колеса, отнесённые к нейтральной линии плиты.

Допустимое давление на основание рассчитываемое по формуле:

$$Q_{дон} = \frac{m}{100K_n} \times \left( n_j A_1 \times L_y^T \gamma_{ГР} + n_q A_2 \times (h + h_o + h_{ес}) \times \gamma_{ГР} + n_c A_3 c_n \right),$$

где  $m$  — коэффициент, учитывающий условия работы;

$K_n$  — коэффициент надёжности, равный 1,1;

$n_j, n_q, n_c$  — коэффициенты, учитывающие размеры площадки нагружения;

$A_1, A_2, A_3$  — безразмерные коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения, задаваемого в параметрах грунта земляного полотна в поле **Угол внутреннего трения  $\varphi$** ;

$L_y^T$  — расчётная ширина эпюр отпора основания;

$\gamma_{гр}$  — удельный вес грунта, задаваемый в параметрах грунта земляного полотна в поле **Плотность**;

$h, h_o$  — определяются в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд;

$h_{вс}$  — толщина выравнивающего слоя;



$c_n$  — удельное сцепление грунта основания, задаваемое в параметрах грунта земляного полотна в поле **Сцепление  $c_n$** .

Коэффициенты, учитывающие размеры площадки нагружения, можно вычислить следующим образом:

$$n_j = 1 - \frac{0,25L_y^T}{L_x^T},$$

$$n_q = 1 + \frac{1,5L_y^T}{L_x^T},$$

$$n_c = 1 + \frac{0,3L_y^T}{L_x^T},$$

Если значение запаса прочности больше нуля, т.е. параметры конструкции удовлетворяют критерию расчёта, то в соответствующих слоях отображается значок , в противном случае — значок .

В инспекторе объектов в свойствах варианта отображается дополнительная группа **Результаты расчёта на сдвигоустойчивость**. В ней для каждого слоя, участвующего в расчёте, приведён более подробный отчёт о расчётных параметрах.

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 = 60,00 у.е.
  - Результаты расчёта на сдвигоустойчивость
    - Расчёт основания
      - Сдвигоустойчивость
        - Запас прочности  $Q_{\text{доп}}/Q_{\text{расч}} = 0,33$  МПа
      - Доп. слой основания
        - Сдвигоустойчивость
          - Расчётное активное напряжение сдвига  $T = 0,022$  МПа
          - Предельное активное напряжение сдвига  $T_{\text{пр}} = 0,022$  МПа
          - Расчётный коэффициент прочности  $K_{\text{расч}} = 1,027$
          - Требуемый коэффициент прочности  $K_{\text{тр}} = 1,000$
          - Запас прочности  $(K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}) / K_{\text{тр}} * 100\% = 3\%$
        - Грунт земляного полотна
          - Сдвигоустойчивость
            - Расчётное активное напряжение сдвига  $T = 0,011$  МПа
            - Предельное активное напряжение сдвига  $T_{\text{пр}} = 0,012$  МПа
            - Расчётный коэффициент прочности  $K_{\text{расч}} = 1,108$
            - Требуемый коэффициент прочности  $K_{\text{тр}} = 1,000$
            - Запас прочности  $(K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}) / K_{\text{тр}} * 100\% = 11\%$



## 5.6. Расчёт на морозоустойчивость

Расчёт конструкций дорожной одежды жёсткого типа на морозоустойчивость выполняется в соответствии с ОДН 218.046–01 по двум алгоритмам: общий алгоритм и 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  $25h$   $l_{дон} = 3$  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  $l_{дон}$  зависит от наличия штыревых соединений.
  - » При отсутствии в поперечных швах стыков  $l_{дон} = 4$  см.
  - » При наличии в поперечных швах стыков  $l_{дон} = 6$  см.

## Выводы

Система IndorPavement позволяет рассчитать жёсткие конструкции, содержащие монолитный цементобетон или плиты сборные железобетонные, по различным критериям, позволяя тем самым предсказать поведение дорожной одежды в реальных условиях и проанализировать возможность безотказной работы в установленный срок.

Для быстрой оценки проектного решения в области формирования конструкции имеются специальные визуальные элементы. Слой, содержащий «жёсткий материал», для наглядности выделен особым цветом. Помимо визуальной оценки, IndorPavement позволяет сформировать полную отчётную документацию.

## Контрольные вопросы

1. Какие конструкции считаются жёсткими?
2. Каким образом в области формирования конструкции выделяются слои, содержащие материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд (цементобетон, плиты сборные железобетонные)?
3. Согласно какому документу производится расчёт конструкции на морозоустойчивость? Если конструкция дорожной одежды имеет жёсткое покрытие, то какова допустимая величина пучения грунта?
4. Каким образом можно задать схему расчёта монолитного цементобетонного покрытия в системе IndorPavement?
5. Возможен ли расчёт жёсткой дорожной одежды на прочность по критерию упругого прогиба, если конструкция содержит в качестве основания монолитный цементобетон, а в качестве покрытия — набор асфальтобетонных слоёв?
6. Каким образом можно поместить асфальтобетонный слой выше цементобетонного покрытия, нарушив тем самым условия возрастания модулей упругости слоёв от грунта земляного полотна к слоям покрытия?

# Глава 6

---

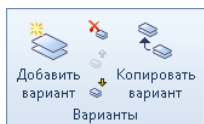
## Технико-экономический анализ результатов

Проектирование конструкции дорожной одежды достаточно трудоёмкий процесс, ведь необходимо подобрать и недорогие материалы, чтобы снизить общую стоимость конструкции, и обеспечить её долговечность и прочность. Как правило, проектировщики сталкиваются с одной и той же проблемой: если конструкция дорожной одежды удовлетворяет всем критериям прочности, то стоимость использованных материалов достаточно высока, и наоборот — при использовании дешёвых материалов конструкция непрочна, а значит и недолговечна. Чтобы облегчить задачу поиска той самой «золотой середины», система IndorPavement предлагает следующие возможности: оптимизацию конструкции по толщинам слоёв для выявления наиболее перспективного варианта (например, самого дешёвого или самого прочного) и разработку сразу нескольких конструкций в рамках одного проекта, что позволяет наглядно сравнивать различные конструктивные решения.

## 6.1. Работа с несколькими вариантами конструкций

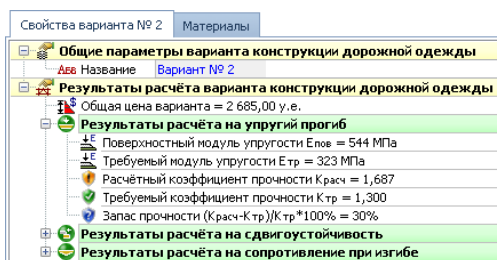
Для технико-экономической оценки конструкции дорожной одежды зачастую создают альтернативные варианты. В системе IndorPavement оцениваемая конструкция дорожной одежды и все её альтернативные варианты могут располагаться в одном проекте. Каждый вариант может иметь любое количество конструктивных слоёв.

Команды для работы с вариантами конструкции доступны в группе **Конструкция > Варианты**.



## 6.1.1. Активный вариант



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 которым 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.

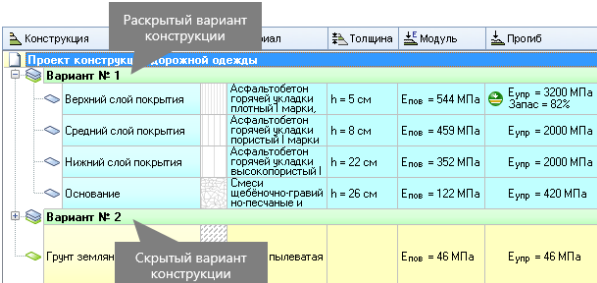


Чтобы сделать вариант активным, щёлкните мышью на его названии в области формирования конструкции дорожной одежды.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 544 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 82%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 459 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 352 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
<b>Вариант № 2 (активный)</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	h = 9 см	E <sub>пов</sub> = 725 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 143%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 12 см	E <sub>пов</sub> = 530 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 352 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа

## 6.1.2. Слои варианта

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



Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
<b>Вариант № 1</b>				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 544 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 82%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 459 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I марки	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 352 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
<b>Вариант № 2</b>				
Грунт земляного полотна	пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа

### Замечание

Грунт земляного полотна представляет собой отдельный слой, не принадлежащий конкретному варианту, а относящийся ко всему проекту дорожной одежды.

.....

### 6.1.3. Параметры варианта

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.

Группа **Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд** объединяет параметры, влияющие на расчётные характеристики конструкции жёсткой дорожной одежды. Вы можете задать различные параметры для разных вариантов конструкций с целью технико-экономического анализа. Если конструкция не содержит материалов жёстких дорожных одежд, то данная группа недоступна.

- » Если конструкция дорожной одежды содержит монолитный цементобетон в качестве покрытия, то в поле **Схема расчёта монолитных цементобетонных покрытий** можно задать первую или вторую 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	<input checked="" type="checkbox"/>
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 доступны следующие параметры:

- » При эксплуатации грунты могут сжиматься под действием прикладываемых нагрузок, в результате чего конструкция опускается на определённую величину, что может повлечь различные деформации. Ожидаемую просадку основания можно задать 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 доступен параметр:

- » Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона для определения допустимой толщины асфальтобетонного покрытия задаётся в поле **Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона**.

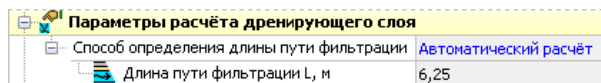
Параметры для расчёта жёстких дорожных одежд		
📏	Сцепление между слоем асфальтобетона и цементобетона, $0,20$	0,20
📄	Наличие штыревых соединений в поперечных швах	<input checked="" type="checkbox"/>
📏	Коэффициент Пуассона основания	0,30

- » Если конструкция дорожной одежды содержит в качестве покрытия сборные плиты, то доступны параметры, как и в случае цементобетонного покрытия, за исключением схемы расчёта.

При расчёте конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость в свойствах варианта появляется дополнительная группа **Параметры расчёта на морозоустойчивость**. Данная группа содержит вычисляемые значения коэффициенты  $K_{ув}$  и уровня грунтовых вод от низа дорожной одежды.


Параметры расчёта на морозоустойчивость		
📏	Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды), м	2,00
📏	$K_{ув}$ (коэффициент учёта уровня грунтовых вод)	0,52

Если для дорожной одежды производится расчёт толщины дренарующего слоя, то в свойствах варианта доступна дополнительная группа параметров **Параметры расчёта дренарующего 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 вручную, задав нужное значение с клавиатуры.




В группе **Результаты расчёта варианта конструкции дорожной одежды** отображаются расчётные параметры установленных критериев расчёта и расчётная цена варианта. Если конструкция не удовлетворяет критерию расчёта, то запас, иллюстрирующий результат расчёта, подсвечивается красным.

### 6.1.4. Создание варианта и операции с ним

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

#### Копирование варианта


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

#### Переименование варианта


При создании варианту назначается название типа **Вариант №**. Чтобы его изменить, введите нужный текст на вкладке **Свойства варианта** в поле **Название**. Также можно изменить название в области формирования конструкции, дважды последовательно щёлкнув мышью на активном варианте.

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
<b>Проект конструкции дорожной одежды</b>				
Вариант № 1				
Верхний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки плотный I марки.	h = 5 см	E <sub>пов</sub> = 544 МПа	E <sub>упр</sub> = 3200 МПа Запас = 82%
Средний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки	h = 8 см	E <sub>пов</sub> = 459 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горячей укладки высокопористый I	h = 22 см	E <sub>пов</sub> = 352 МПа	E <sub>упр</sub> = 2000 МПа
Основание	Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и	h = 26 см	E <sub>пов</sub> = 122 МПа	E <sub>упр</sub> = 420 МПа
Грунт земляного полотна	Супесь пылеватая		E <sub>пов</sub> = 46 МПа	E <sub>упр</sub> = 46 МПа

#### Перемещение варианта

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


.....

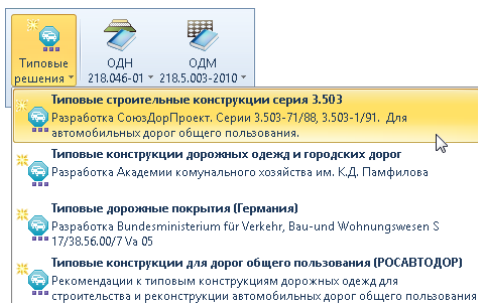
### Удаление варианта

Для удаления варианта дорожной одежды выделите его в области формирования конструкции и нажмите кнопку **Конструкция > Варианты >  Удалить**.

## 6.2. Мастер создания конструкций

При разработке конструкции дорожной одежды проектировщик решает множество задач: подбор имеющихся в наличии или недо-рогостоящих 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 уже застрахован от 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 нескольких альбомах типовых решений. Чтобы начать проектирование конструкции, выберите нужный альбом: **Главная > Методики >  Типовые решения.**

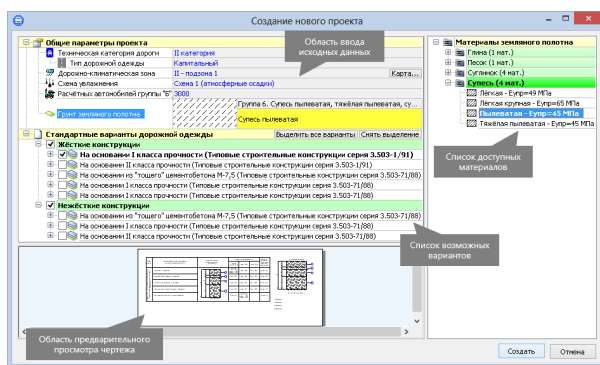


Рассмотрим работу с мастером создания конструкции на примере двух альбомов серии 3.503.

## 6.2.1. Обзор окна мастера создания конструкций

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 альбоме типовых решений.



- » **Список возможных вариантов.** Располагается ниже области ввода исходных данных (секция **Стандартные варианты дорожной одежды**) и представляет собой список найденных конструктивных решений. Если исходные данные не заданы, то список пуст.
- » **Список доступных материалов.** Появляется при задании материала слоя или грунта и располагается в правой части окна. Содержит список доступных материалов с учётом введённых исходных данных.
- » **Область предварительного просмотра чертежа.** Занимает нижнюю часть окна и содержит чертёж выделенного варианта.

## 6.2.2. Ввод исходных данных

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

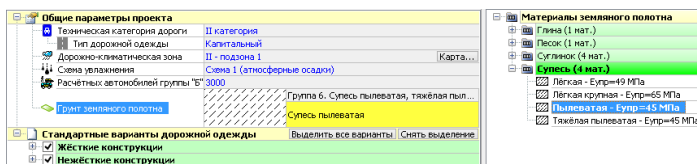
- » Задайте техническую категорию дороги в поле **Техническая категория дороги**. В соответствии со стандартной классификацией она может быть Ia, Ib, Iv, II, III, IV или V.

- » 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. От выбранного типа дорожной одежды напрямую зависит тип используемых материалов покрытия. Например, для дорог I категории рекомендуется использовать в качестве покрытия горячие асфальтобетонные смеси.
- » 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 T<sub>рдг</sub>**). Чтобы отобразить или скрыть характеристики района на карте, нажмите соответствующую кнопку. При необходимости можно включить сразу несколько кнопок.





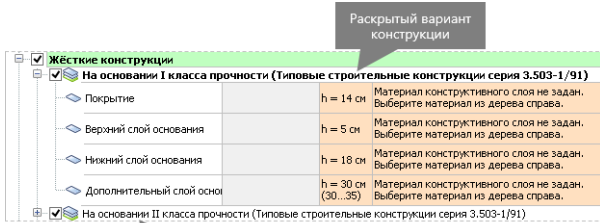
- » Задайте преобладающий тип увлажнения (**Схема 1 (атмосферные осадки)**, **Схема 2 (поверхностные воды)** или **Схема 3 (грунтовые воды)**) в поле **Схема увлажнения**.
- » Выберите в поле **Расчётных автомобилей группы «А»** из списка приближённое значение количества автомобилей, проходящих в сутки по одной полосе.
- » В поле **Грунт земляного полотна** задайте нужный грунт. При получении полем фокуса 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 в чертеже.





### 6.2.3. Формирование конструкции и добавление её в проект

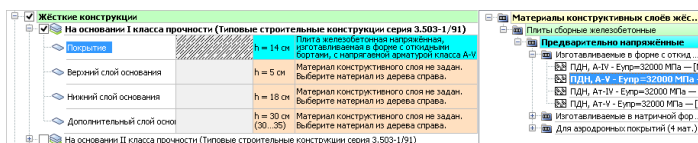
После задания исходных данных в секции **Стандартные варианты дорожной одежды** появляются шаблоны конструкций дорожной одежды из альбома типовых решений. Альбом включает в себя конструкции жёсткого и нежёсткого типов (см. [18 раздел «Каталог дорожных одежд нежёсткого типа»]). Каждый шаблон конструкции 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  .



Жёсткие конструкции		
✓ На основании I класса прочности (Типовые строительные конструкции серия 3.503-1/91)		
Покрытие	h = 14 см	Материал конструктивного слоя не задан. Выберите материал из дерева справа.
Верхний слой основания	h = 5 см	Материал конструктивного слоя не задан. Выберите материал из дерева справа.
Нижний слой основания	h = 18 см	Материал конструктивного слоя не задан. Выберите материал из дерева справа.
Дополнительный слой основ	h = 30 см (30...35)	Материал конструктивного слоя не задан. Выберите материал из дерева справа.
✓ На основании II класса прочности (Типовые строительные конструкции серия 3.503-1/91)		

Каждый шаблон конструкции дорожной одежды представлен в табличном виде. Строками обозначены слои конструкции, столбцы содержат информацию о типе слоя, который характеризует расположение слоя в конструкции, отображении в чертеже, толщине и материале слоя.

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



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 нужные варианты конструкции дорожной одежды в проект, установите флаг  рядом с их названиями и нажмите кнопку **Создать**.

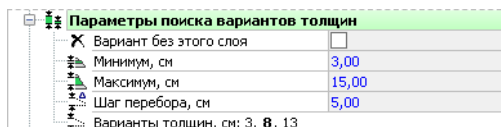
Для выделения всех вариантов или снятия выделения можно воспользоваться кнопками **Выделить все варианты** и **Снять выделение**, расположенные в поле **Стандартные варианты дорожной одежды**.

## 6.3. Оптимизация конструкции дорожной одежды

В системе IndorPavement реализована возможность автоматического подбора оптимальных толщин слоёв конструкции дорожной одежды. Для этого необходимо задать параметры поиска (диапазон толщин и шаг перебора), и система отобразит всевозможные варианты толщин слоёв конструкции, которые можно отсортировать по одному из доступных критериев (цена, модуль упругости и др.) и выбрать из них наилучшие для дальнейшей работы.

## 6.3.1. Настройка параметров поиска вариантов

Перед тем как оптимизировать конструкцию по толщинам слоёв, 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 поиска вариантов толщин**.



Чтобы определить диапазон толщин слоя, участвующих в оптимизации, введите нужные 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.

Шаг перебора задаётся в поле **Шаг перебора**. В соответствии с этим значением определяются рассматриваемые толщины слоя, 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 в поиске.

### **Замечание**

Если в дорожной одежде присутствуют геосинтетические материалы, то их также можно учесть при оптимизации. Для каждой геосинтетической прослойки в параметрах слоя предусмотрено отдельное поле для задания стоимости геосинтетического материала. При необходимости значения в полях **Минимальная толщина слоя** и **Максимальная толщина слоя** можно изменить.

.....

## 6.3.2. Просмотр и выбор вариантов

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

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

**Допустимые варианты толщин конструкции дорожной одежды**

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<input checked="" type="checkbox"/> 1 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 15; 25; 15 см	84,00 у.е.	633 МПа	+141%	+4%
<input type="checkbox"/> 2 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 15; 25; 15 см	84,00 у.е.	649 МПа	+147%	+7%
<input type="checkbox"/> 3 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 15; 25; 15 см	84,00 у.е.	595 МПа	+127%	+3%
<input type="checkbox"/> 4 (Вариант № 1)	88 см	13; 10; 30; 15; 15 см	84,00 у.е.	578 МПа	+120%	+3%
<input type="checkbox"/> 5 (Вариант № 1)	83 см	13; 10; 20; 25; 15 см	84,00 у.е.	569 МПа	+117%	+0%
<input type="checkbox"/> 6 (Вариант № 1)	88 см	13; 10; 15; 25; 25 см	89,00 у.е.	563 МПа	+114%	+9%
<input type="checkbox"/> 7 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 10; 35; 15 см	89,00 у.е.	642 МПа	+144%	+14%
<input type="checkbox"/> 8 (Вариант № 1)	88 см	13; 10; 15; 35; 15 см	89,00 у.е.	580 МПа	+121%	+10%
<input checked="" type="checkbox"/> 9 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 10; 25; 25 см	89,00 у.е.	621 МПа	+137%	+13%
<input type="checkbox"/> 10 (Вариант № 1)	88 см	13; 10; 15; 35; 15 см	89,00 у.е.	529 МПа	+102%	+8%
<input type="checkbox"/> 11 (Вариант № 1)	88 см	8; 10; 20; 35; 15 см	89,00 у.е.	485 МПа	+84%	+3%
<input type="checkbox"/> 12 (Вариант № 1)	88 см	8; 10; 20; 25; 25 см	89,00 у.е.	472 МПа	+80%	+0%
<input type="checkbox"/> 13 (Вариант № 1)	88 см	3; 15; 40; 15; 15 см	89,00 у.е.	455 МПа	+73%	+4%

**Список вариантов конструкции**

**Область предварительного просмотра варианта чертежа**

Выбрать Отмена

- » **Список вариантов конструкции.** Занимает верхнюю 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 (запас 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.

## Выводимая информация

- » **№, 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 отличным стилем, если текущий вариант не удовлетворяет хотя бы одному критерию расчёта, то он не отображается в данном списке.

Если в проекте сформировано несколько вариантов конструкций дорожной одежды, то при оптимизации по толщине слоёв оптимизируются все варианты. В столбце **№, исходный вариант** в скобках будет указано название исходного варианта.

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб
147 (Вариант № 1)	98 см	8; 10; 40; 15; 25 см	99,00 у.е.	527 МПа	+101%
148 (Вариант № 2)	98 см	3; 10; 35; 25; 25 см	99,00 у.е.	412 МПа	+57%
149 (Вариант № 2)	98 см	13; 10; 25; 15; 35 см	99,00 у.е.	604 МПа	+130%
150 (Вариант № 2)	98 см	3; 10; 25; 25; 35 см	99,00 у.е.	395 МПа	+50%
151 (Вариант № 1)	98 см	13; 10; 15; 25; 35 см	99,00 у.е.	584 МПа	+123%
152 (Вариант № 1)	98 см	8; 15; 15; 15; 45 см	99,00 у.е.	509 МПа	+94%
153 (Вариант № 1)	98 см	13; 15; 10; 25; 35 см	99,00 у.е.	646 МПа	+146%
154 (Вариант № 1)	98 см	13; 15; 40; 15; 15 см	99,00 у.е.	735 МПа	+180%
155 (Вариант № 2)	98 см	3; 10; 25; 35; 25 см	99,00 у.е.	408 МПа	+55%
156 (Вариант № 1)	98 см	3; 15; 10; 35; 35 см	99,00 у.е.	414 МПа	+58%
157 (Вариант № 1)	98 см	3; 15; 10; 25; 45 см	99,00 у.е.	395 МПа	+50%
158 (Вариант № 1)	98 см	3; 10; 25; 35; 25 см	99,00 у.е.	408 МПа	+55%

Оптимизация нескольких вариантов

Выбрать Отмена

- » **Толщина.** В этом столбце отображается суммарное значение толщин конструктивных слоёв, участвующих в оптимизации.





соотношении. Для конструкций жёстких дорожных одежд данный параметр, как и поверхностный модуль упругости, не актуален.

- » **Сдвиг.** Этот столбец содержит значение запаса прочности конструкции при расчёте по критерию сдвигоустойчивости (динамическая нагрузка), иллюстрирующее результат этого расчёта в процентном соотношении. Если расчёт на сдвигоустойчивость проводится для нескольких слоёв, в том числе для грунта земляного полотна, то в столбце будет обозначен минимальный запас прочности из рассчитанных.
- » **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 морозозащитного слоя. Если морозозащитный слой не задан и конструкция в целом проверяется на морозоустойчивость, то в столбце будет отображаться значение ноль.
- » **Дренаж.** В этом столбце отображается запас дренажного 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 его заголовок.

№, исходный вариант	Толщина	Толщины слоёв	Цена	Модуль	Прогиб	Сдвиг
<input checked="" type="checkbox"/> 1 (Вариант № 1)	83 см	13; 15; 15; 25; 15 см	84,00 у.е.	633 МПа	+141%	+4%
<input type="checkbox"/> 2 (Вариант № 1)	83 см	13; 15; 25; 15; 15 см	84,00 у.е.	649 МПа	+147%	+7%
<input type="checkbox"/> 3 (Вариант № 1)	83 см	13; 15; 15; 15; 25 см	84,00 у.е.	595 МПа	+127%	+3%
<input type="checkbox"/> 4 (Вариант № 1)	83 см	13; 10; 30; 15; 15 см	84,00 у.е.	578 МПа	+120%	+3%
<input type="checkbox"/> 5 (Вариант № 1)	83 см	13; 10; 20; 25; 15 см	84,00 у.е.	569 МПа	+117%	+0%
<input type="checkbox"/> 6 (Вариант № 1)	88 см	13; 10; 15; 25; 25 см	89,00 у.е.	563 МПа	+114%	+9%
<input type="checkbox"/> 7 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 10; 35; 15 см	89,00 у.е.	642 МПа	+144%	+14%
<input type="checkbox"/> 8 (Вариант № 1)	86 см	13; 10; 15; 35; 15 см	89,00 у.е.	580 МПа	+121%	+10%
<input type="checkbox"/> 9 (Вариант № 1)	88 см	13; 15; 10; 25; 25 см	89,00 у.е.	621 МПа	+137%	+13%
<input type="checkbox"/> 10 (Вариант № 1)	86 см	13; 10; 15; 15; 35 см	89,00 у.е.	529 МПа	+102%	+6%
<input type="checkbox"/> 11 (Вариант № 1)	88 см	8; 10; 20; 35; 15 см	89,00 у.е.	485 МПа	+84%	+3%

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.

## Замечание

При оптимизации одновременно жёстких и нежёстких дорожных одежд сортировка по столбцам **Модуль** и **Прогиб** работает неверно вследствие некорректного вычисления модуля упругости, основанного на методике расчёта жёстких дорожных одежд.

## 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.

## 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**.

## Выводы

Поиск оптимального конструктивного решения предполагает рассмотрение нескольких вариантов конструкции. В проекте IndorPavement возможно сформировать несколько вариантов конструкции для дальнейшего анализа и оценки. По каждому варианту система формирует полную отчётную документацию.

Для автоматизированного поиска оптимального решения можно воспользоваться мастером оптимизации. Он позволяет найти нужное решение по заданным критериям поиска, что избавляет инженера от длительного процесса перебора различных конструкций и их повторного расчёта.

При необходимости инженер может воспользоваться мастером создания конструкций, включающего готовые альбомы типовых решений. С его помощью можно создать качественный проект, проверенный многолетним опытом. Также данный типовой проект может стать вариантом для сравнения в рамках одного проектного решения.

---

## Контрольные вопросы

1. Возможно ли запроектировать в рамках одного проекта IndorPavement вариант жёсткой конструкции дорожной одежды и нежёсткой?
2. Какие параметры необходимо задать для сравнения двух вариантов конструкции дорожной одежды по стоимости?
3. Каким образом можно добавить типовое решение в проект IndorPavement для детальной проработки?
4. Каким образом можно запустить процесс поиска вариантов конструкций дорожной одежды по заданным критериям (диапазон толщин, стоимость, единицы измерения стоимости)? Перечислите все варианты.
5. Какую отчётную информацию выдаёт система IndorPavement при наличии нескольких вариантов в одном проекте для их сравнения?
6. Что произойдёт, если запустить процесс оптимизации для дорожной одежды, имеющей отрицательные запасы по какому-либо критерию расчёта?



# Глава 7

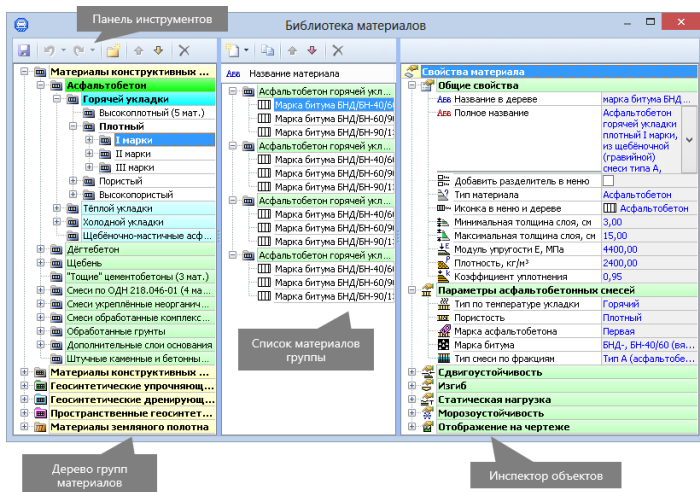
---

## Работа с библиотекой материалов

Все материалы, доступные для добавления в конструкцию, хранятся в библиотеке материалов. В комплект поставки системы IndorPavement включены все материалы, регламентированные ОДН 218.046–01, Методическими рекомендациями по проектированию жёстких дорожных одежд, ОДН 218.1.052–2002, материалы из альбомов типовых строительных конструкций, геосинтетические материалы, обозначенные в рекомендациях по применению, а также материалы от известных производителей. Помимо этого, можно дополнить библиотеку новыми материалами, создав их «с нуля» или на основе уже существующих.

## 7.1. 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.



- » **Список материалов группы.** Располагается в центральной части окна и отображает материалы выбранной группы.
- » **Инспектор объектов.** Занимает правую область диалогового окна и содержит параметры выбранного материала. Для различных типов материалов параметры могут быть различны.

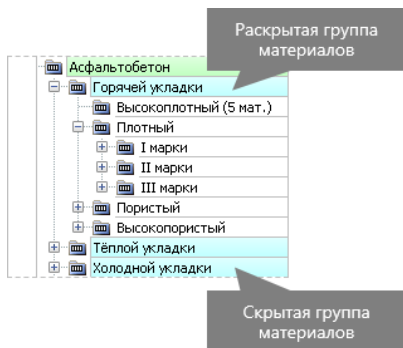


## 7.2. Работа с группами материалов


Дерево групп материалов разделено на шесть секций: **Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд**, **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд**, **Геосинтетические упрочняющие материалы**, **Геосинтетические дренарующие материалы**, **Пространственные 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.

### Просмотр подгрупп

Рядом с теми группами, у которых есть подгруппы, располагается значок . Щёлкните на нём, чтобы раскрыть доступные подгруппы, или воспользуйтесь клавишей управления курсором **Стрелка вправо**. Значок изменит свой внешний вид на . Таким образом, если в данный момент не ведётся работа с материалами группы, то её можно скрыть.

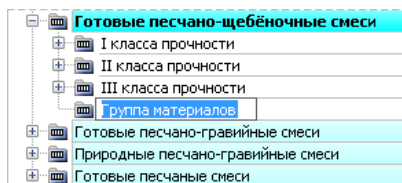


## Создание группы



Для добавления новой группы материалов выделите группу, в которую следует добавить новую подгруппу, и нажмите кнопку  **Добавить группу** на панели инструментов. Добавлять группы (или подгруппы) можно в одну из секций (**Материалы конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд**, **Материалы конструктивных слоёв жёстких дорожных одежд**, **Материалы земляного полотна**, **Геосинтетические упрочняющие материалы**, **Геосинтетические дренирующие материалы**, **Пространственные геосинтетические материалы**) или в любую другую группу или подгруппу иерархии.

## Переименование группы

При создании группе назначается название **Группа материалов**. Чтобы его изменить, щёлкните мышью на выделенной группе или нажмите клавишу **F2** и задайте другое название. Для сохранения ввода нажмите клавишу **Enter**.

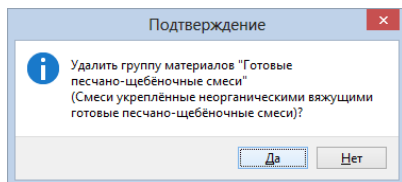


## Перемещение группы

Чтобы изменять положение выделенной подгруппы внутри группы материалов (перемещать выше или ниже по списку), реализованы специальные команды. Для перемещения выделенной группы ниже по списку нажмите кнопку  **Переместить группу на позицию вниз**, для перемещения выше — кнопку  **Переместить группу на позицию вверх**.

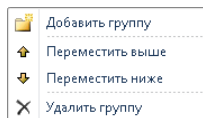
## Удаление группы

Чтобы удалить группу материалов, выделите её в дереве групп материалов и нажмите на панели инструментов кнопку **✕ Удалить группу** — появится окно подтверждения. Кнопка **Да** подтверждает удаление группы материалов, кнопка **Нет** отменяет операцию.



## Контекстное меню

При нажатии правой кнопки мыши на любом элементе в дереве групп материалов открывается контекстное меню с командами, дублирующими кнопки панели инструментов.



## 7.3. Работа с материалами


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

Название материала	Тип материала	Модуль	Плотность
<b>Асфальтобетон Холодной укладки I марки</b>			
Смесь типа Бх	Асфальтобетон	1300 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Вх	Асфальтобетон	1100 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Гх	Асфальтобетон	900 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Дх	Асфальтобетон	750 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
<b>Асфальтобетон Холодной укладки II марки</b>			
Смесь типа Бх	Асфальтобетон	1300 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Вх	Асфальтобетон	1100 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Гх	Асфальтобетон	900 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
Смесь типа Дх	Асфальтобетон	750 МПа	2400 кг/м <sup>3</sup>
<b>Асфальтобетон Холодной укладки гранулобетонные смеси</b>			

При выделении материала в этом списке его свойства отображаются в инспекторе объектов справа. Они аналогичны свойствам материала в инспекторе объектов главного окна, но если внести изменения, то они будут применимы ко всем создаваемым материалам этого типа.


Свойства материала	
<b>Общие свойства</b>	
Название в дереве	смесь типа Бх
Полное название	Асфальтобетон холодной укладки I марки, из мелкозернистой щебёночной (гравийной) смеси типа Бх
Добавить разделитель в меню	<input type="checkbox"/>
Тип материала	Асфальтобетон
Иконка в меню и дереве	Асфальтобетон
Минимальная толщина слоя, см	3,00
Максимальная толщина слоя, см	15,00
Модуль упругости E, МПа	1300,00
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2400,00
Коэффициент уплотнения	0,95
<b>Параметры асфальтобетонных смесей</b>	
<b>Сдвигустойчивость</b>	
Изгиб	
Статическая нагрузка	
Морозоустойчивость	
Отображение на чертеже	

## Создание материала



Чтобы создать новый материал, выберите группу и нажмите кнопку  **Добавить материал** на панели инструментов. Можно добавить материал с заранее определённым типом, нажав на стрелку рядом с кнопкой и выбрав нужный тип материала в списке.




## Копирование материала

Чтобы создать новый материал с параметрами уже существующего, выделите исходный материал и нажмите кнопку  **Копировать материал** на панели инструментов.


## Перемещение материала

Для перемещения материала внутри группы предназначены кнопки  **Переместить материал на позицию вверх** и  **Переместить материал на позицию вниз** на панели инструментов.

## Удаление материала

Чтобы удалить выделенный материал, нажмите кнопку  **Удалить материал**.

## Сохранение материалов в библиотеке

Чтобы сохранить изменения в библиотеке материалов, нажмите кнопку  **Сохранить изменения** на панели инструментов.

---

## 7.4. Редактирование параметров материалов

Конструктивные слои дорожной одежды, геосинтетические прослойки и грунт земляного полотна определяются материалами, обладающими различными прочностными и структурными характеристиками. Чтобы определить, что материал обладает теми или иными характеристиками, необходимо задать ряд параметров. При этом для каждого материала не имеет смысла задавать весь перечень параметров в силу их различной структуры, а значит и различного применения. Например, для асфальтобетонов — материалов, имеющих прочные связи между компонентами, — бессмысленно задавать коэффициент фильтрации, т.к. данный материал не может быть использован в качестве дренирующего, в отличие от песка — материала со слабыми связями между компонентами. По этой причине все материалы разделены на логические типы и редактирование параметров материала напрямую зависит от его типа.

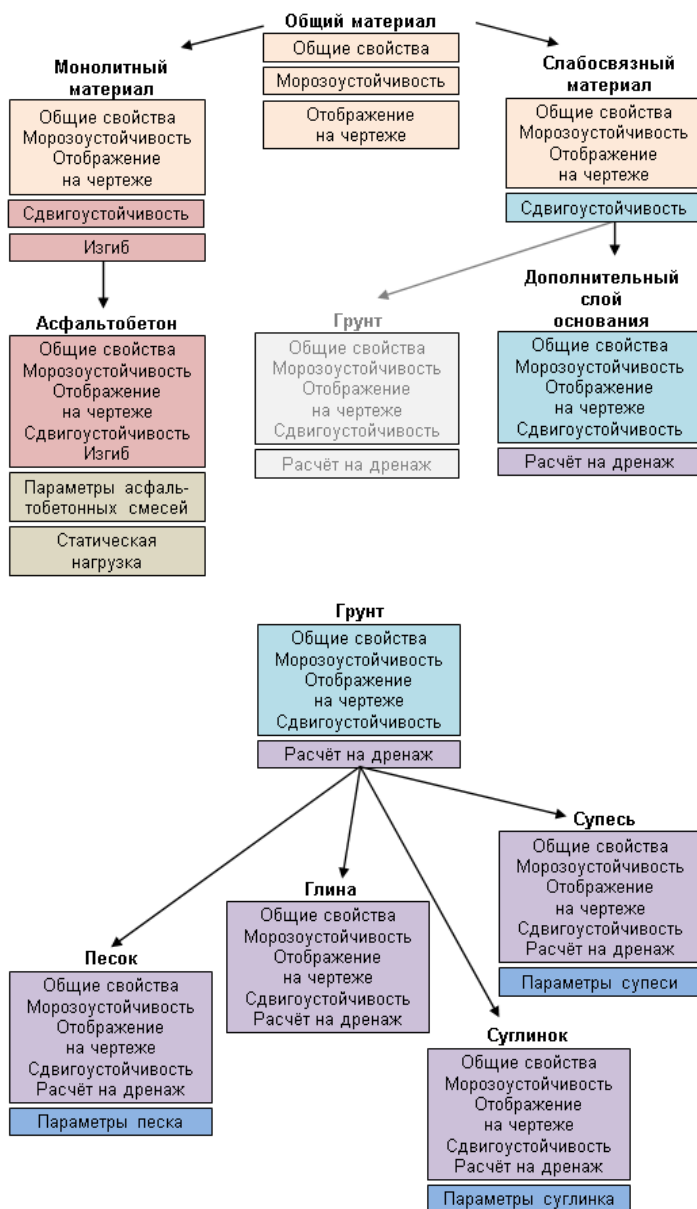
### 7.4.1. Иерархия представления материалов

Каждый материал имеет определённый тип. Материал конструктивного слоя нежёсткой дорожной одежды может иметь один из следующих типов: **Общий материал**, **Монолитный материал**, **Асфальтобетон**, **Слабосвязный материал** или **Дополнительный слой основания**. Грунт земляного полотна также разделяется на типы: **Грунт**, **Песок**, **Супесь**, **Суглинок** или **Глина**. Материал конструктивного слоя жёсткой дорожной одежды может иметь один из типов: **Монолитный цементобетон** или **Бетонные плиты для сборных покрытий**. Геосинтетический материал может иметь один из типов: **Упрочняющий материал** или **Дренирующий материал**. Ниже представлена схема, отображающая зависимость параметров материалов конструктивных слоёв нежёстких дорожных одежд от его типа.

Для упрощения понимая типы материалов имеют иерархическую структуру. Материалы, расположенные ниже в иерархии, наследуют параметры материалов, расположенных выше (предков), а также имеют собственные уникальные параметры. Например, все асфальтобетоны характеризуются параметрами монолитных материалов, а также имеют собственные параметры.

На схемах, объясняющих зависимость типов материалов конструктивных слоёв и грунтов, показана иерархия типов материалов на примере групп параметров.

Типы материалов жёстких дорожных одежд, как и геосинтетических материалов, представляют собой независимые типы. Рассмотрим характерные параметры каждого типа материала в следующих подразделах.

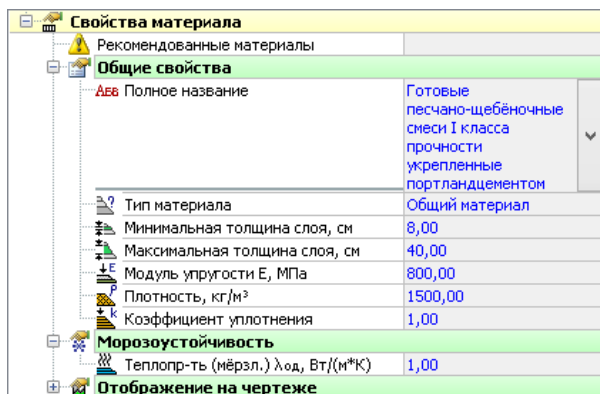




## 7.4.2. Общий материал








Параметры, относящиеся к общему материалу, доступны для всех других типов материалов. Рассмотрим характерные параметры общего материала:

- » Краткое название материала для работы с деревом материалов в проекте задаётся в поле **Название в дереве**. Это краткое название участвует в формировании полного названия материала.
- » Полное название объединяет в себе краткое название материала и названия всех групп иерархии, к которым относится материал. При необходимости полное название можно изменить.



- » Чтобы добавить после текущего материала разделитель в группе, установите опцию **Добавить разделитель в меню**. Он будет отображаться в библиотеке материалов, на вкладке **Материалы** в инспекторе объектов и в меню добавления материала. С помощью разделителей вы можете разбить список материалов на визуальные группы по своему усмотрению, что поможет лучше ориентироваться при большом количестве материалов. В свойствах материала текущей конструкции

данный параметр не отображается.

	C1 - 40 мм (для покрытий)
	C2 - 20 мм (для покрытий)
	C3 - 80 мм (для оснований)
	C4 - 80 мм (для оснований)
	C5 - 40 мм (для оснований)
	C6 - 20 мм (для оснований)
	C7 - 20 мм (для оснований)

- » Тип материала отображается в поле **Тип материала**. Он определяет набор параметров материала и его поведение при расчётах.
- » В поле **Иконка в меню и дереве** можно выбрать из списка одну из стандартных иконок обозначения материала. Она будет располагаться слева от названия материала в библиотеке материалов, в инспекторе объектов на вкладке **Материалы** и в меню добавления материала. В свойствах материала текущей конструкции данный параметр недоступен.
- » Значение, определяющее нижний предел толщины слоя в текущей конструкции и при её оптимизации по толщинам слоёв, задаётся в поле **Минимальная толщина слоя**.
- » Значение, определяющее верхний предел толщины слоя в текущей конструкции и при её оптимизации по толщинам слоёв, задаётся в поле **Максимальная толщина слоя**.
- » Значение модуля упругости материала при расчёте на упругий прогиб задаётся в поле **Модуль упругости E** и для существующих материалов соответствует нормативным документам.
- » В поле **Плотность** можно задать значение плотности материала. Для всех стандартных материалов в библиотеке материалов задано значение плотности в соответствии с нормативными документами.

- » Коэффициент уплотнения материала задаётся в поле **Коэффициент уплотнения**.

Для сужения области поиска материалов можно воспользоваться встроенными фильтрами в инспекторе объектов на вкладке **Материалы**. Чтобы добавить новый материал в область поиска, необходимо определить следующие параметры:

- » В поле **Применим в климатических зонах** укажите номера дорожно-климатических зон, где возможно применение данного материала, нажав соответствующие кнопки.
- » В поле **Применим на дорогах категорий** укажите технические категории дорог, для которых возможно применение данного материала, нажав кнопки с нужными номерами.

### **Замечание**

В свойствах материала текущей конструкции параметры области поиска материала недоступны.

.....

В группе **Морозоустойчивость** для общих материалов доступен только один параметр, т.к. он используется для всех конструктивных слоёв при расчёте на морозоустойчивость.

- » **Теплопр-ть (мёрзл.)**  $\lambda_{од}$ . Значение теплопроводности материала в мёрзлом состоянии.

### **Замечание**

Параметры группы **Отображение на чертеже** подробно рассмотрены в разделе «8.1.2. Настройка отображения материалов на чертеже», стр. 265.

.....

### 7.4.3. Монолитный материал

Для монолитного материала появляются две дополнительные группы: **Сдвигоустойчивость** и **Изгиб**.

- » В подгруппе **Варианты  $E_{расч., сдвиг}$**  задаётся модуль упругости по критерию сдвигоустойчивости при динамической нагрузке. Он зависит от расчётной температуры, которая, в свою очередь, зависит от дорожно-климатической зоны.

Сдвигоустойчивость	
Варианты $E_{расч., сдвиг}$ , МПа	
Для зоны I	1500,00
Для зоны II	1500,00
Для зоны III	800,00
Для зоны IV	500,00
Для зоны V	350,00

Обратите внимание, что в проекте конструкции дорожной одежды содержится только одно значение модуля упругости, соответствующее выбранной дорожно-климатической зоне.

Изгиб	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Модуль упругости $E_{расч., изгиб}$ , МПа	10000,00
Нормативное сопротивление весной $R_0$ , МПа	2,50
Расчёт по ВСН/СНРК	
Модуль упругости $E_{расч., изгиб}$ , МПа	10000,00
Нормативное сопротивление весной $R_0$ , МПа	2,50
Снижение прочности из-за повторяющейся нагрузки	
Усталостный показатель степени $m$	4,00
Коэффициент различия $\alpha$ (альфа)	5,00
Снижение прочности из-за погодно-климатических факторов	
Коэффициент снижения прочности $k_2$	1,00
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,30
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) $R_0$ , МПа	2,00
Фактический коэффициент вязкого сопротивления $h_f$ , МПа <sup>0,5</sup> /°C	100

- » В группах **Расчёт по ОДН/МОДН** и **Расчёт по ВСН/СНРК** задаются параметры, расчётные значения которых отличаются в зависимости от методики расчёта:
  - » Модуль упругости по критерию сопротивления при изгибе задаётся в поле **Модуль упругости  $E_{расч., сдвиг}$** .
  - » В поле **Нормативное сопротивление весной  $R_0$**  задаётся нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе в условиях расчётной низкой весенней температуры (однократно приложенная нагрузка). В проекте конструкции дорожной одежды данный параметр имеет место только для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв.

- » Показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя, задаётся в поле **Усталостный показатель степени  $m$** . Обратите внимание, что параметр в проекте конструкции дорожной одежды доступен только для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв.
- » Коэффициент  $\alpha$ , учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчётного состояния грунта земляного покрытия, задаётся в подгруппе **Коэффициент различия  $\alpha$  (альфа)**. В проекте конструкции дорожной одежды этот параметр отображается только для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв.
- » В поле **Коэффициент снижения прочности  $k_2$**  можно указать коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов. В проекте конструкции дорожной одежды данный параметр имеет место только для нижнего слоя в пакете монолитных слоёв.
- » В поле  **$\mu_a$  (коэффициент Пуассона)** задаётся коэффициент Пуассона для расчёта жёстких дорожных одежд с монолитным покрытием.
- » Сопротивление на растяжение при изгибе задаётся в поле **Нормативное сопротивление (жёсткое основание)  $R_d$** .
- » Фактический коэффициент вязкого сопротивления задаётся в поле **Фактический коэффициент вязкого сопротивления  $h_f$** .

### Замечание

Параметры групп **Общие свойства** и **Морозоустойчивость** подробно рассмотрены в разделе «7.4.2. Общий материал», стр. 240.

.....

## 7.4.4. Асфальтобетон

Асфальтобетоны имеют две дополнительные группы: **Параметры асфальтобетонных смесей** и **Статическая нагрузка**. С помощью параметров асфальтобетонных смесей можно определить расчётные характеристики на упругий прогиб (кратковременный модуль упругости при заданной температуре покрытия), на изгиб (расчётный модуль упругости, нормативное значение сопротивления растяжения при изгибе, показатель степени  $m$ , коэффициент  $\alpha$ ), на сдвигоустойчивость при динамической нагрузке (кратковременный модуль упругости при заданной температуре покрытия), на сдвигоустойчивость при статической нагрузке (расчётный модуль упругости при расчётной температуре).

- » Тип асфальтобетона в соответствии с температурой его укладки (горячий, тёплый или холодный) можно выбрать в поле **Тип по температуре укладки**. При выборе пункта **Неизвестно** параметр не учитывается при расчётах.

Параметры асфальтобетонных смесей	
Тип по температуре укладки	Горячий
Пористость	Плотный
Марка асфальтобетона	Первая
Марка битума	БНД-, БН-40/60 (вязкий)
Тип смеси по фракциям	Тип А (асфальтобетон плотный)

- » Вид асфальтобетона (высокоплотный, плотный, пористый или высокопористый) задаётся в поле **Пористость**. Выбор пункта **Неизвестно** означает, что этот параметр не будет учитываться при расчётах.
- » Для некоторых асфальтобетонов доступно поле **Зернистость**, где можно определить степень зернистости материала. При выборе пункта **Неизвестная** параметр не учитывается при расчётах.
- » Некоторые асфальтобетоны имеют дополнительное поле **Марка асфальтобетона**, в котором можно задать марку асфальтобетона: первую, вторую или третью. Выбор пункта **Неизвестная** означает, что этот параметр не будет

учитываться при расчётах.

- » В поле **Марка битума** задаётся марка битума асфальтобетона. При выборе пункта **Неизвестна** этот параметр не учитывается при расчётах.
- » В поле **Тип смеси** по фракциям можно указать тип асфальтобетонной смеси. Выбор пункта **Неизвестна** означает, что этот параметр не будет учитываться при расчётах.

### Замечание

Параметры асфальтобетонных смесей доступны только для материала в библиотеке и не отображаются для асфальтобетонов в проекте конструкции дорожной одежды.

Рассмотрим подробно дополнительную группу параметров **Статическая нагрузка**, предназначенную для выполнения расчёта на прочность по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке.

- » Модуль упругости материала по критерию сдвигоустойчивости при статической нагрузке задаётся в подгруппе **Варианты  $E_{расч., стат.}$** . Он зависит от расчётной температуры, которая, в свою очередь, зависит от дорожно-климатической зоны.

Статическая нагрузка	
Варианты $E_{расч., стат.}$ , МПа	
Для зоны I	480,00
Для зоны II	480,00
Для зоны III	420,00
Для зоны IV	360,00
Для зоны V	300,00
Сцепление $c_n$ , МПа	0,20
Коэффициент, учитывающий зацепление зёрен, K	1,10

Обратите внимание, что в проекте конструкции дорожной одежды содержится только одно значение модуля упругости, соответствующее выбранной дорожно-климатической зоне.


- » В поле **Сцепление  $c_n$**  задаётся сцепление частиц материала.
- » Коэффициент, учитывающий зацепление зёрен

асфальтобетона, задаётся в поле **Коэффициент, учитывающий зацепление зёрен, K**.

В группе параметров **Изгиб** асфальтобетона имеют дополнительные параметры:

- » Коэффициент  $\alpha$ , учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчётного состояния грунта земляного покрытия, задаётся в подгруппе **Коэффициент различия  $\alpha$  (альфа)** и зависит от дорожно-климатической зоны.

Изгиб	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Модуль упругости Е <sub>расч. изгиб</sub> , МПа	8600,00
Нормативное сопротивление весной R <sub>0</sub> , МПа	10,00
Расчёт по ВСН/СНРК	
Модуль упругости Е <sub>расч. изгиб</sub> , МПа	6000,00
Нормативное сопротивление весной R <sub>0</sub> , МПа	3,20
Снижение прочности из-за повторяющейся нагрузки	
Усталостный показатель степени m	6,00
<b>Коэффициент различия <math>\alpha</math> (альфа)</b>	
Для климатических зон I-II	5,00
Для климатических зон III-IV	5,60
Снижение прочности из-за погодно-климатических факторов	
Коэффициент снижения прочности k <sub>з</sub>	1,00
$\mu$ а (коэффициент Пуассона)	0,30
Нормативное сопротивление (жёсткое основание) R <sub>d</sub> МПа	2,00
Фактический коэффициент вязкого сопротивления h <sub>ф</sub> , МПа*°C	100

В проекте конструкции дорожной одежды коэффициент  $\alpha$  соответствует выбранной дорожно-климатической зоне. Если вы измените его расчётное значение, то в поле появится кнопка , нажав которую, можно вернуть табличное значение коэффициента.

## Замечание

Параметры групп **Сдвигоустойчивость** и **Изгиб** подробно рассмотрены в разделе «7.4.3. Монолитный материал», стр. 243.

.....



## 7.4.5. Слабосвязный материал

- » Прочностные характеристики слабосвязного материала сильно зависят от его увлажнённости. В связи с этим в подгруппе **Модуль упругости E** группы **Общие параметры** модуль упругости имеет зависимость от расчётной влажности. Помимо этого, в поле **Число вариантов  $W_p$  и E** вы можете задать несколько вариантов модулей упругости, исходя из различных состояний увлажнённости материала.

<b>Модуль упругости E</b>	
Число вариантов $W_p$ и E	3
Вариант 1: $W_p = 0,70$ , E = 120,0 МПа	
Расчётная влажность $W_p$	0,70
Модуль упругости E, МПа	120,0
Вариант 2: $W_p = 0,75$ , E = 10,0 МПа	
Вариант 3: $W_p = 0,75$ , E = 10,0 МПа	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1950,00
Коэффициент уплотнения	1,00

- » Угол внутреннего трения материала при статическом действии нагрузки задаётся в подгруппе **Угол внутреннего трения  $\phi_{ст}$**  при статическом действии нагрузки. Значение угла указывается в поле **Угол  $\phi_{ст}$** . При необходимости можно задать несколько вариантов угла, зависящих от расчётной влажности. Для этого в поле **Число вариантов  $W_p$  и  $\phi_{ст}$**  введите нужное число вариантов и для каждого угла задайте расчётную влажность в поле **Расчётная влажность  $W_p$** .

<b>Сдвигустойчивость</b>	
Угол внутреннего трения $\phi_{ст}$ при статическом действии нагрузки	
Число вариантов $W_p$ и $\phi_{ст}$	3
Вариант 1: $W_p = 0,70$ , $\phi_{ст} = 35,0^\circ$	
Расчётная влажность $W_p$	0,70
Угол $\phi_{ст}$ , °	35,0
Вариант 2: $W_p = 0,75$ , $\phi_{ст} = 5,0^\circ$	
Вариант 3: $W_p = 0,75$ , $\phi_{ст} = 5,0^\circ$	
Угол внутреннего трения $\phi$ для расчёта активного напряжения сдвига	
Сцепление $c_k$	
Коэффициент $k_3$	7,00
Коэффициент деформации $K_d$	2,00
$K_d$ (укреплённое основание)	4,50

Обратите внимание, что в проекте конструкции дорожной одежды для слабосвязных материалов отображается только один угол внутреннего трения, соответствующий расчётной влажности, заданной в параметрах проекта.

- » Угол внутреннего трения для расчёта активного напряжения сдвига, зависящий от расчётной влажности и суммарного числа приложения расчётной нагрузки, задаётся в подгруппе **Угол внутреннего трения  $\phi$**  для расчёта активного напряжения сдвига. В проекте конструкции дорожной одежды система IndorPavement автоматически вычисляет нужное значение угла внутреннего трения  $\phi$  с учётом заданных параметров расчётной влажности и суммарного числа приложения расчётной нагрузки.

Сдвигустойчивость	
Угол внутреннего трения $\phi_{ст}$ при статическом действии нагрузки	
Угол внутреннего трения $\phi$ для расчёта активного напряжения сдвига	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Число вариантов $Z_{Nr}$	4
Вариант 1	1000,00
Вариант 2	10000,00
Вариант 3	100000,00
Вариант 4	1000000,00
Число вариантов $W_p$	3
$W_p$ : вариант 1	0,70
$\phi$ (для $Z_{Nr}=1000$ ), °	33,00
$\phi$ (для $Z_{Nr}=10000$ ), °	32,00
$\phi$ (для $Z_{Nr}=100000$ ), °	31,00
$\phi$ (для $Z_{Nr}=1000000$ ), °	29,00
$W_p$ : вариант 2	0,75
$W_p$ : вариант 3	0,80
Расчёт по ВСН/СНПК	
Сцепление $c_p$	
Кoeffициент $k_3$	7,00
Кoeffициент деформации $K_d$	2,00
$K_d$ (укрепленное основание)	4,50

- » Варианты сцепления, зависящие от расчётной влажности и суммарного числа приложения расчётной нагрузки, задаются в подгруппе **Варианты сцепления  $c_p$** . В проекте конструкции дорожной одежды система IndorPavement автоматически вычисляет нужное значение сцепления материала с учётом заданных параметров расчётной влажности и суммарного

числа приложения расчётной нагрузки.

Сдвигоустойчивость	
Угол внутреннего трения ф.ст. при статическом действии нагрузки	
Угол внутреннего трения ф.ст. для расчёта активного напряжения сдвига	
Сцепление сн	
Расчёт по ОДН/МОДН	
Число вариантов ZNr	5
Вариант 1	1,00
Вариант 2	1000,00
Вариант 3	10000,00
Вариант 4	100000,00
Вариант 5	1000000,00
Число вариантов Wp	3
Wp: вариант 1	
сн (для ZNr=1), МПа	0,004
сн (для ZNr=1000), МПа	0,004
сн (для ZNr=10000), МПа	0,003
сн (для ZNr=100000), МПа	0,003
сн (для ZNr=1000000), МПа	0,002
Wp: вариант 2	0,75
Wp: вариант 3	0,75
Расчёт по ВСН/СНРК	
Коэффициент kз	6,00
Коэффициент деформации Кд	2,00
Кд (укреплённое основание)	4,00

- » Коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания, можно задать в поле **Коэффициент деформации Кд**.
- » В поле **Кд (укреплённое основание)** можно задать коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем основания при устройстве нижнего слоя основания из укрепленных материалов, или при укладке на границе разделяющей геотекстильной прослойки.

### Замечание

Параметры групп Общие свойства и Морозоустойчивость подробно рассмотрены в разделе «7.4.2. Общий материал», стр. 240.

.....

## 7.4.6. Дополнительный слой оснований

Материал дополнительного слоя основания может быть определён как морозозащитный, дренирующий или теплоизолирующий слой. Для материала дополнительного слоя основания доступен дополнительный параметр в группе **Морозоустойчивость**, а также группа параметров **Расчёт на дренаж**.

- » Толщина слоя, полностью насыщенного водой, задаётся в поле  **$h_{\text{нас}}$  (толщина слоя, насыщенного водой)**.

Расчёт на дренаж	
$h_{\text{нас}}$ (толщина слоя, насыщенного водой), м	0,05
$h_{\text{д}}$ (дополнительная толщина слоя), м	0,15
$K_{\text{ф}}$ (коэффициент фильтрации), м/сут	2,20
Пористость	0,32

- » В поле  **$h_{\text{нас}}$  (дополнительная толщина слоя)** указывается дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала.
- » В поле  **$K_{\text{ф}}$  (коэффициент фильтрации)** можно ввести значение коэффициента фильтрации при расчёте дренирующего слоя.
- » Пористость материала в долях единиц задаётся в поле **Пористость**.

В подгруппе **Морозоустойчивость** задаются коэффициенты теплопроводности морозозащитного слоя.

- » В поле **Теплопр-ть (мёрзл.)  $\lambda_{\text{од}}$**  задаётся коэффициент теплопроводности слоя в мёрзлом состоянии.

Морозоустойчивость	
Теплопр-ть (мёрзл.) $\lambda_{\text{од}}$ , Вт/(м*К)	1,74
Теплопр-ть (тал.) $\lambda_{\text{тал}}$ , Вт/(м*К)	1,00

- » В поле **Теплопр-ть (тал.)  $\lambda_{\text{тал}}$**  задаётся коэффициент теплопроводности слоя в талом состоянии.

### Замечание

Параметры группы **Сдвигоустойчивость** подробно рассмотрены в разделе «7.4.5. Слабосвязный материал», стр. 248.

.....

### 7.4.7. Грунт

Параметры грунта при расчёте на морозоустойчивость и дренарующий слой сильно отличаются от параметров конструктивных слоёв. Рассмотрим их подробно.

- » Степень пучинистости грунта задаётся в соответствии с группой пучинистости (группа 1 — непучинистый, группа 2 — слабопучинистый, группа 3 — пучинистый, группа 4 — сильнопучинистый, группа 5 — чрезмернопучинистый) в поле **Пучинистость грунта**.

Морозоустойчивость	
Теплопроводность (мерзл.) λ <sub>0д</sub> , Вт/(м*К)	1,80
Пучинистость грунта	Группа 3 (пучинистый)
К <sub>ув</sub> (коэффициент учёта уровня грунтовых вод)	0,60
К <sub>нагр</sub> (коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв)	0,00
К <sub>пл</sub> (коэффициент, зависящий от уплотнения слоя)	1,20
К <sub>гр</sub> (коэффициент учёта гранулометрии основания)	1,10
Коэффициент С <sub>р</sub> для определения термического сопротивления	
Толщина дорожной одежды h <sub>од</sub> = 0,5 м	
h <sub>пр(доп)</sub> < 50	0,85
h <sub>пр(доп)</sub> = 50...100	0,80
h <sub>пр(доп)</sub> > 100	0,75
Толщина дорожной одежды h <sub>од</sub> = 1,0 м	
Толщина дорожной одежды h <sub>од</sub> = 1,5 м	
Толщина дорожной одежды h <sub>од</sub> = 2,0 м	

- » В поле **К<sub>нагр</sub> (коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв)** можно задать коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания грунта.
- » Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя, задаётся в поле **К<sub>пл</sub> (коэффициент, зависящий от уплотнения слоя)**.
- » Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки, можно ввести в поле **К<sub>гр</sub> (коэффициент учёта гранулометрии основания)**.

- » В подгруппе **Коэффициент  $C_p$**  для определения термического сопротивления определяется коэффициент  $C_p$ , зависящий от толщины дорожной одежды и допустимой глубины промерзания.

В группе **Расчёт на дренаж** доступны следующие параметры:

- » В поле **Q (приток воды в основание за расчётный период)** можно задать расчётное количество воды, накапливающейся в дренирующем слое за весь расчётный период.

Расчёт на дренаж	
Q (приток воды в основание за расчётный период), л/м <sup>2</sup>	0,00
q (приток воды в основание за сутки), л/м <sup>2</sup>	0,00
K <sub>п</sub> (коэффициент "пик")	0,00
K <sub>г</sub> (коэффициент гидрологического запаса)	1,00
n <sub>п</sub> (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм), %	20,00

- » Усреднённое значение притока воды в дренирующий слой задаётся в поле **q (приток воды в основание за сутки)**.
- » Коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков, указывается в поле **K<sub>п</sub> (коэффициент «пик»)**.
- » Коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги, задаётся в поле **K<sub>г</sub> (коэффициент гидрологического запаса)**.
- » В поле **n<sub>п</sub> (содержание в грунте частиц менее 0,05 мм)** можно определить гранулометрический состав в процентном соотношении.

## Замечание

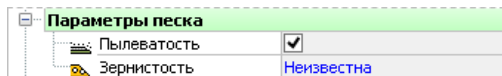
Параметры группы **Сдвигоустойчивость** подробно рассмотрены в разделе «7.4.5. Слабосвязный материал», стр. 248.

.....

## 7.4.8. Песок

Для типа материала грунта **Песок** доступна дополнительная группа **Параметры песка**.

- » В поле **Пылеватость** можно указать, пылеватый грунт или нет. Если опция установлена, то это означает, что грунт будет рассчитываться как пылеватый, если не установлена — значит, грунт не обладает свойством пылеватости.



- » Зернистость материала (крупнозернистый, среднезернистый или мелкозернистый) можно указать в поле **Зернистость**. Выбор пункта **Неизвестна** означает, что данный параметр не будет учитываться при расчётах.

### Замечание

Параметры других типов грунта земляного полотна аналогичны параметрам песка.

.....

## 7.4.9. Монолитный цементобетон

Для монолитных цементобетонов доступна дополнительная группа **Параметры монолитного цементобетона**, включающая физико-механические характеристики материала слоя.

- » В поле **Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе** определяется класс бетона по прочности, влияющий на расчёт сопротивления при изгибе для конструкций асфальтобетонных покрытий с цементобетонным основанием.

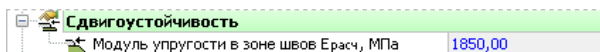
Параметры монолитного цементобетона	
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	6,40
Тип твердения бетона	Естественного твердения
Краевое армирование	<input checked="" type="checkbox"/>
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина, см	200,00
Длина, см	600,00
$\alpha$ (коэффициент температурной деформации бетона)	1,00

- » При выборе в поле **Тип твердения бетона** варианта **Естественного твердения** коэффициент набора прочности бетона  $K_{НП} = 1,2$ , варианта **Пропаренный** —  $K_{НП} = 1,0$ .
- » В поле **Краевое армирование** можно задать тип армирования: краевое армирование цементобетона или неармированный цементобетон. Неармированное покрытие (опция отключена) задаёт коэффициент  $K_M = 1,5$ , при краевом армировании покрытия (опция включена) коэффициент  $K_M = 1,0$ .
- » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задаётся в поле  **$\mu$  (коэффициент Пуассона)**. Обратите внимание, что  $\mu_0$  — коэффициент Пуассона основания задаётся в свойствах варианта.
- » Ширина цементобетона задаётся в поле **Ширина**. Этот параметр влияет на расчёт момента сопротивления плиты.
- » В поле **Длина** можно задать длину бетонной плиты.



- » В поле  **$\alpha$  (коэффициент температурной деформации бетона)** задаётся коэффициент линейной температурной деформации бетона  $\alpha$  для определения напряжения  $\sigma_t$  при расчёте асфальтобетонных покрытий с цементобетонным основанием.

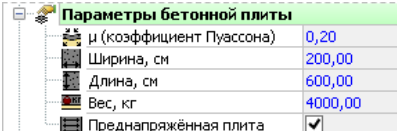
В группе **Сдвигоустойчивость** задаётся модуль упругости в зоне швов.



## 7.4.10. Бетонные плиты для сборных покрытий

При устройстве конструкции жёсткой дорожной одежды с бетонными плитами становится доступна дополнительная группа параметров **Параметры бетонной плиты**.

- » Коэффициент Пуассона, влияющий на упругую характеристику плиты, задаётся в поле  **$\mu$**  (**коэффициент Пуассона**).



Параметры бетонной плиты	
$\mu$ (коэффициент Пуассона)	0,20
Ширина, см	200,00
Длина, см	600,00
Вес, кг	4000,00
Преднапряжённая плита	<input checked="" type="checkbox"/>

- » В поле **Ширина** можно задать ширину бетонной плиты.
- » В поле **Длина** можно задать длину бетонной плиты.
- » Вес плиты можно задать в поле **Вес**.
- » Установка опции **Преднапряжённая плита** влияет на определение изгибающего момента от монтажных нагрузок.

### Замечание

Параметры группы **Сдвигоустойчивость** подробно рассмотрены в разделе «7.4.9. Монолитный цементобетон», стр. 255

.....

## Выводы

В систему IndorPavement встроена богатая библиотека материалов. Она содержит как базовые материалы, так и различные геосинтетические материалы. Для каждого материала определены физико-механические свойства в соответствии с нормативными документами, параметры геосинтетических материалов соответствуют стандартам производителей.

При необходимости в библиотеку материалов можно добавить свои, уникальные материалы. При добавлении материала необходимо задать все параметры, чтобы расчёт производился корректно. Для упрощения создания нового материала его можно создать на основе существующего.

## Контрольные вопросы

1. Перечислите группы, на которые разбиты материалы в библиотеке.
2. Возможно ли добавить в библиотеку материалов свои, новые материалы? Если да, то как это сделать? Если нет, то по какой причине?
3. Расскажите, по каким принципам формируется иерархия материалов в библиотеке?
4. Какие типы материалов возможно задать для конструктивных слоёв, какие для грунтов?
5. Возможно ли изменить тип материала, который уже существует в библиотеке материалов? К чему это может привести?



# Глава 8

---

## Формирование отчётной документации

В этой главе рассматривается формирование, печать и экспорт отчётной документации, представленной в системе IndorPavement в двух видах: чертёж конструкции дорожной одежды и пояснительная записка. Дополнительно по любому проекту в системе IndorPavement Expert можно сформировать расшифровку расчёта — документ, содержащий описание расчёта с используемыми формулами.

## 8.1. 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**.

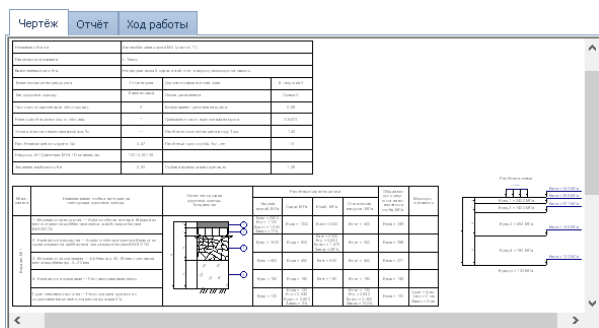


Чертёж может содержать расчётную и конструктивную схемы конструкции дорожной одежды, таблицу с исходными данными проекта (например, название объекта и выполняемых расчётов, район проектирования, категорию дороги и т.д.), список материалов конструктивных слоёв, таблицу вариантов для технико-экономического сравнения. Наполнение чертежа может варьироваться в зависимости от включенных настроек чертежа.



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

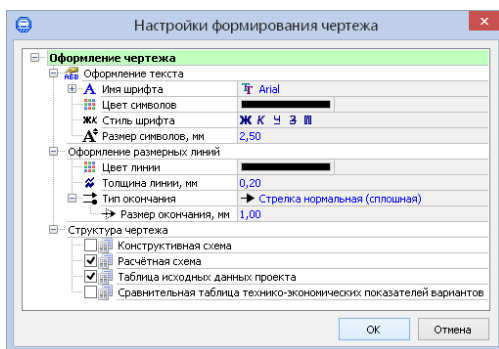
### Замечания

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

.....

## 8.1.1. Настройка параметров чертежа

При необходимости 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**. К этим параметрам можно также перейти из настроек системы (**Файл >  Настройки**).



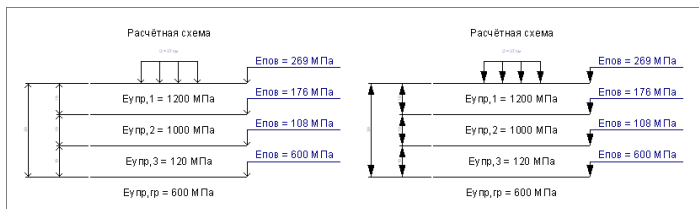
### Оформление текста

В окне настройки в группе **Оформление текста** можно изменить шрифт, которым выполняются надписи на чертеже, цвет символов, их размер. При необходимости можно настроить отдельно стиль шрифта: 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 показано оформление засечек, где изменён их тип.



## Определение структуры чертежа

На чертёж возможно выводить разнообразную информацию: исходные данные по проекту дорожной одежды, таблицы с расчётными параметрами различных вариантов дорожной одежды, расчётную и конструктивную схемы, наглядно отображающие состав дорожной одежды и расчёт, а также таблицу для проведения технико-экономического сравнения вариантов дорожной одежды. Наполнение чертежа может варьироваться в зависимости от решения текущих задач. Чтобы настроить вывод на чертёж нужных блоков информации, включите соответствующие опции в настройках чертежа в группе **Структура чертежа**.

## 8.1.2. Настройка отображения материалов на чертеже

При добавлении материала в конструкцию дорожной одежды он отображается на чертеже стилем, который определён для него в библиотеке материалов. Чтобы назначить другой стиль оформления материала, измените параметры материала в группе **Отображение на чертеже**.

Обратите внимание, что изменение параметров данной группы в библиотеке материалов приведёт к тому, что при последующем добавлении материала в проект он будет отображаться с учётом внесённых изменений. Если необходимо изменить материал в конкретном проекте, то внесите изменения в параметры слоя, содержащего материал, в данном проекте.

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 подстиляет конструктивный слой.

### Отображение конструктивных слоёв и грунта земляного полотна

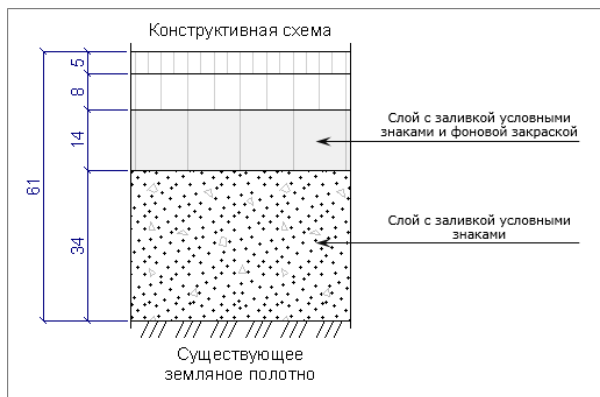
Возможно несколько вариантов отображения конструктивного слоя или грунта земляного полотна:

- » **Заливка сплошным цветом.** При выключенной опции **Условные знаки** доступна опция **Фоновая закрашка**. Включите данную опцию и в появившемся поле **Цвет фона** выберите нужный цвет для отображения материала.
- » **Отображение условными знаками.** Включите опцию **Условные знаки**. Обратите внимание, если включена опция **Фоновая закрашка**, то опция **Условные знаки** может быть

недоступна (в случае знаков, для которых не предусмотрено оформление условными знаками с фоном).

Далее в поле **Коллекция знаков** выберите пункт **IndorSoft Topographic Fills**, в поле **Группа знаков** выберите пункт **Дорожная одежда по ГОСТ Р 21.1207–97** и в поле **Тип знака** выберите нужный материал. Для выбранного условного знака дополнительно можно задать 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**).

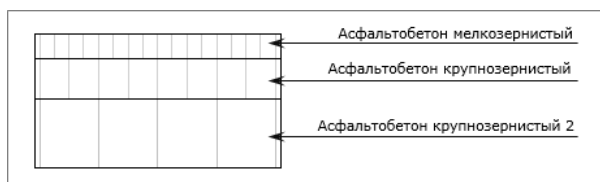
- » **Отображение условными знаками с фоном.** Для некоторых знаков доступно отображение условными знаками с назначением фонового цвета (опции **Условные знаки** и **Фоновая закразка**).



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

## Совет

Если необходимо назначить различные заливки для асфальтобетонов в пакете монолитных слоёв, воспользуйтесь заливкой условными знаками. Например, для верхнего слоя пакета в поле Тип знаков назначьте заливку **Асфальтобетон мелкозернистый**, для среднего слоя — **Асфальтобетон крупнозернистый 1**, а для нижнего слоя — **Асфальтобетон крупнозернистый 2**.

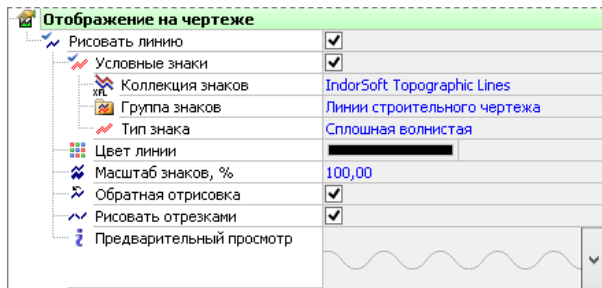


## Отображение геосинтетических прослоек

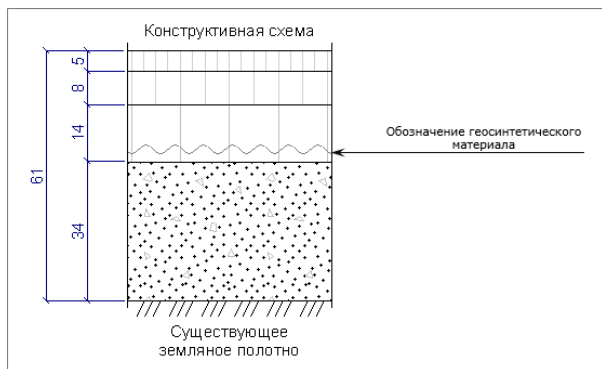
На чертеже геосинтетический материал может отображаться сплошной, топографической линией или не отображаться вообще. Чтобы линия, обозначающая присутствие геосинтетического материала в конструкции, отображалась на чертеже, включите опцию **Рисовать линию**. После этого становятся доступны параметры оформления линии. Линия может быть сплошной или топографической.

- » **Сплошная линия.** Для сплошной линии доступны такие параметры оформления, как цвет (поле **Цвет линии**) и толщина (поле **Толщина линии**).
- » **Топографическая линия.** Для назначения стиля оформления линии включите опцию **Условные знаки**, выберите в поле **Коллекция знаков** пункт **IndorSoft Topographic Lines**, в поле **Группа знаков** выберите пункт **Линии строительного чертежа**, а в поле **Тип знаков** — нужный тип топографической линии.

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**.

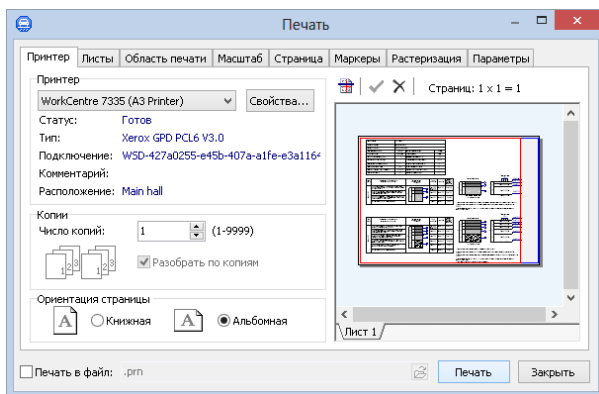


Чтобы применить выбранный стиль к каждому сегменту линии отдельно, установите флаг **Рисовать отрезками**.



### 8.1.3. Печать чертежа

Параметры печати чертежа конструкции дорожной одежды настраиваются в диалоговом окне **Печать**. Оно открывается кнопкой **Чертёж и отчёт > Чертёж > Печать**, а также сочетанием клавиш **Ctrl+P**.



Окно настройки печати содержит несколько вкладок с параметрами печати и область предварительного просмотра.

- » На вкладке **Принтер** можно выбрать принтер, на который будет выводиться печать, настроить его параметры, указать количество копий и ориентацию листа.
- » На вкладке **Область печати** можно выбрать область чертежа, которую следует распечатать.
- » На вкладке **Страница** можно задать поля страницы или установить их в соответствии с параметрами принтера, нажав кнопку **По минимуму**.
- » На вкладке **Маркеры** можно установить специальные метки (маркеры), которые отображаются на листе и делают более удобной обрезку или склейку листов.

- » При необходимости на вкладке **Растеризация** можно задать такие параметры, как разрешение печати, максимальный используемый объём памяти и приведение к серым цветам.
- » На вкладке **Параметры** можно установить опции приведения всех надписей к чёрному цвету и способ их отображения в виде полигонов.

### **Замечание**

Диалог настройки параметров печати в системе IndorPavement аналогичен диалогу в системе IndorDraw. Подробное описание настройки параметров печати и варианты печати чертежа (на одном стандартном листе, на плоттере или на нескольких стандартных листах) вы можете посмотреть в руководстве пользователя по системе IndorDraw.

.....

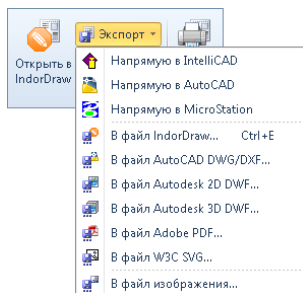
## 8.1.4. Экспорт чертежа

В системе IndorPavement возможен экспорт чертежей в различные форматы:

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

Возможен экспорт напрямую в такие системы, как IndorDraw, AutoCAD, IntelliCAD и MicroStation.

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




### 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**).

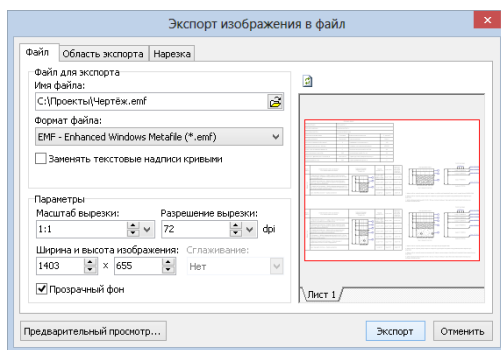
.....



Рассмотрим подробно экспорт в растровые форматы файлов. Чтобы настроить параметры экспорта чертежа в файл изображения, откройте диалоговое окно, выбрав 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).

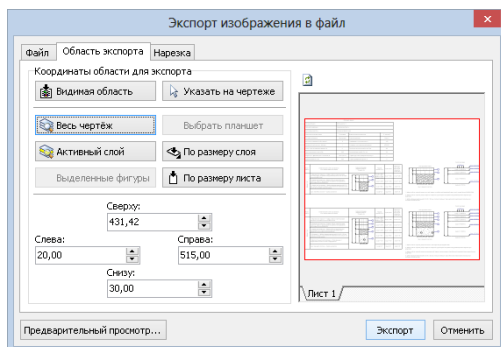



Ниже указываются размеры результирующего изображения: ширина и высота изображения, масштаб и разрешение изображения, а также способ сглаживания изображения. При необходимости для некоторых форматов можно определить цвет фона прозрачным.

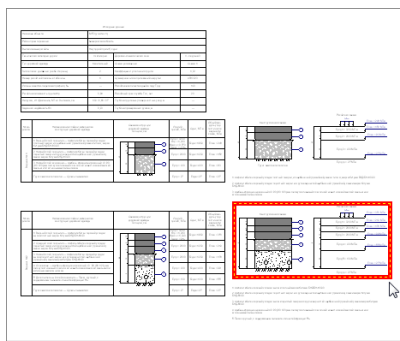
- » **Область экспорта**. На этой вкладке можно задать экспортируемую область чертежа, указав точные координаты области в полях **Слева**, **Сверху**, **Справа** и **Снизу**. При этом в качестве начала системы координат используется левый нижний угол листа.

Кроме этого, 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, а кнопка  **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 обведите 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: **Чертёжх0у0.emf**, **Чертёжх0у1.emf**, **Чертёжх1у0.emf**, **Чертёжх1у1.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**.

## 8.2. Подготовка пояснительной записки

Пояснительная записка к проекту, как и чертёж, формируется системой IndorPavement в процессе проектирования дорожной одежды. Пояснительная записка содержит исходные данные проекта и все расчётные параметры, представленные для каждого варианта конструкции отдельно.

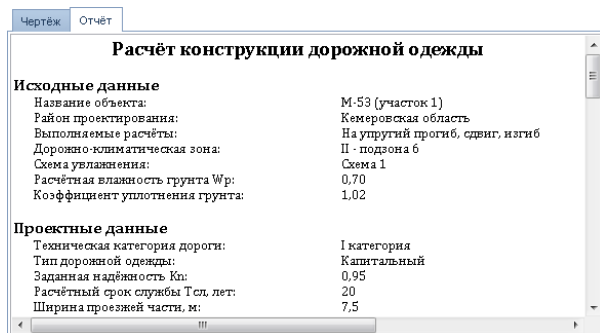
### Замечание

Пояснительная записка о расчёте конструкции дорожной одежды всегда актуальна текущим настройкам проекта и сформированной конструкции.


Если конструкция не удовлетворяет установленному критерию расчёта, то результаты расчёта по этому критерию в пояснительной записке будут выделены красным цветом.

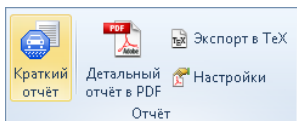
### Предварительный просмотр пояснительной записки

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





## Печать и экспорт пояснительной записки

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



В открывшемся окне пояснительная записка разбита на страницы формата A4, страницы имеют портретную ориентацию.


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

Для экспорта нажмите кнопку  **Экспорт**, в открывшемся меню выберите нужный формат файла и далее задайте путь к файлу в стандартном диалоге. При экспорте в некоторые форматы требуется задать дополнительные параметры.

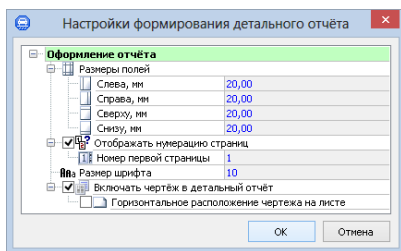
## 8.3. Подготовка расшифровки расчёта

В версии IndorPavement Expert появилась уникальная возможность — получение подробной расшифровки по расчёту. В качестве расшифровки система генерирует текстовый документ, содержащий исходные данные, чертёж, вычисления по формулам, ссылки на нормативные документы.

### Настройка параметров оформления расшифровки

Некоторые параметры оформления формируемого отчёта можно предварительно настроить в диалоговом окне, открываемом кнопкой **Чертёж и отчёт > Отчёт >  Настройки**.

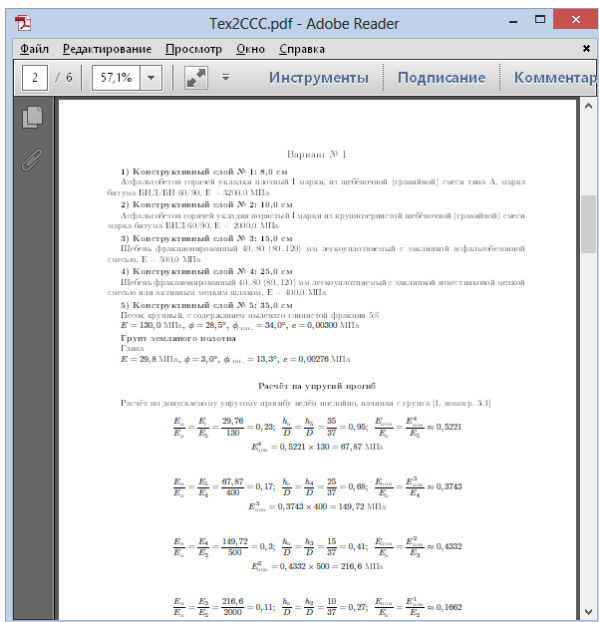
При необходимости можно настроить такие параметры, как величина полей, номера страниц, размер шрифта и пр.



### Формирование расшифровки расчёта

Расшифровка по расчёту 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 других версиях системы IndorPavement расшифровку расчёта можно сгенерировать для ознакомления. Расшифровка будет иметь всю информацию по проводимым расчётам, однако рассчитываемые значения в формулах будут скрыты.

.....

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

## Выводы

Система IndorPavement обладает всем необходимым функционалом для формирования отчётной документации по расчёту дорожных одежд.

Процесс создания отчётной документации чрезвычайно прост — большинство документов формируется системой автоматически и не требует дополнительной доработки. Готовые документы можно экспортировать в разнообразные форматы данных.

Непосредственно из системы можно распечатать любой отчёт или чертёж. С помощью гибких настроек возможно определить структуру чертежа, задать оформление отчётных документов и пр.



## Контрольные вопросы

1. Какие виды отчётной документации доступны в системе IndorPavement Expert?
2. В какие форматы файлов возможен экспорт чертежа?
3. Возможен ли экспорт чертежа в сторонние системы и форматы файлов при наличии учебной лицензии? Возможен ли экспорт в систему IndorDraw?
4. Возможно ли изменить номер начальной страницы для расшифровки расчёта?
5. Какие изменения вносятся в расшифровку расчёта, если программа работает с учебной лицензией?
6. Какая информация входит в пояснительную записку?

# Литература

1. ВСН 46–83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. — М.: Транспорт, 1985. — 157 с.
2. ГОСТ 9128–2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2010. — 25 с.
3. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197–91). — Введ. 2003–12–03. — М.: Информавтодор, 2004. — 135 с.
4. МОДН 2–2001. Проектирование нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 46–83). — М., 2002. — 152 с.
5. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 46–83). — М.: Информавтодор, 2001. — 145 с.
6. ОДН 218.1.052–2002. Оценка прочности нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 52–89). — М.: Информавтодор, 2003. — 80 с.
7. ОДМ 218.3.032–2013. Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешётками (геосотами). — М., 2013. — 75 с.
8. ОДН 218.3.039–2003. Укрепление обочин автомобильных дорог. — М., 2003. — 44 с.
9. 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. — М., 2010. — 82 с.

10. ОДМ 218.5.002–2008. Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешёток) для усиления слоёв дорожной одежды из зернистых материалов. — М., 2008. — 113 с.
11. ОДМ 218.5.003–2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог. — М., 2010. — 141 с.
12. Перова К.А., Скворцов А.В., Рукавишникова Е.Е. Система расчёта дорожных одежд IndorPavement: Руководство пользователя. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. — 218 с. — DOI: 10.17273/BOOK.2009.3
13. Проектирование автомобильных дорог в IndorCAD: Руководство пользователя / И.В. Кривых [и др.]. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. — 406 с. — DOI: 10.17273/BOOK.2015.2
14. Рекомендации к типовым конструкциям дорожных одежд для строительства и реконструкции автомобильных дорог общего пользования. — М.: Информавтодор, 2006. — 46 с.
15. Рекомендации по выявлению и устранению колея на нежёстких дорожных одеждах / Минтранс РФ, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). — М., 2002.
16. Рукавишникова Е.Е., Скворцов А.В., Медведев В.И. Подготовка чертежей в IndorDraw: Руководство пользователя. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. — 326 с. — DOI: 10.17273/BOOK.2015.3
17. СНиП 2.05.02–85\*. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция. — М., 2013. — 112 с.
18. СН РК 3.03–19–2006. Проектирование дорожных одежд нежёсткого типа. — Астана, 2007. — 88 с.
19. СН РК 3.03–34–2006. Инструкция по проектированию жёстких дорожных одежд. — Астана, 2006. — 88 с.
20. Типовые конструкции дорожных одежд городских дорог / МЖКХ РСФСР, АКХ им. К.Д. Памфилова. — М.: Стройиздат, 1984. — 116 с.

- 
21. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 3.503–71/88. Дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования: Выпуск 0. Материалы для проектирования. — Введ. 1989–03–01. — 94 с.
  22. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 3.503.1–91. Дорожные одежды с покрытиями из сборных железобетонных плит для автомобильных дорог в сложных условиях: Выпуск 1. Плиты. Рабочие чертежи. — Введ. 1990–06–01. — 27 с.
  23. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen / Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe "Fahrzeug und Fahrbahn". — Köln, 2001.

Учебное издание

Проектирование дорожных одежд в IndorPavement

**Рукавишникова** Елена Евгеньевна

**Лубкина** Ксения Александровна

**Скворцов** Алексей Владимирович

Редактор *И.В. Кривых*

Вёрстка *Е.Е. Рукавишникова*

---

Подписано в печать 21.10.2015 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Печ. л. 17,75; усл.печ.л. 16,51; уч.-изд.л. 16,21. Тираж 100 экз. Заказ № 592.

---

ОАО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4.

ООО «Интегральный переплёт», 634040, г. Томск, ул. Высоцкого, 28.

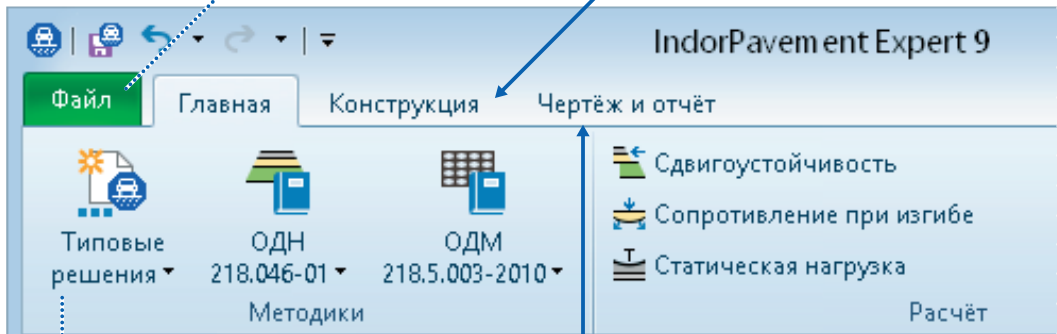
# Все книги серии



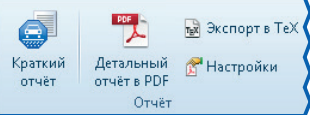
# IndorPavement 9

проектирование дорожных одежд

вкладка для доступа к справке и общения с техподдержкой



альбомы типовых решений для проектирования дорожных одежд



формирование отчётных документов: чертежа дорожной одежды, текстового отчёта и подробной расшифровки расчёта

## Расчёт на сдвигоустойчивость

### Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок светло-серый, легкий пылеватый, просадочный  
 $E = 32,0$  МПа,  $\phi = 5,5^\circ$ ,  $\phi_{\text{свт.}} = 15,0^\circ$ ,  $c = 0,00600$  МПа  
 Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 3.12]:

$$E_n = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^5 h_i} = \frac{1100 \times 5 + 840 \times 6 + 840 \times 6 + 350 \times 20 + 260 \times 30}{5 + 6 + 6 + 20 + 30} = 453,4 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номер. 3.2, 3.3]:

$$\frac{E_n}{E_{\text{общ}}} = \frac{453,4}{32} = 14,17; \quad \frac{h_n}{D} = \frac{67}{37} = 1,81; \quad \tau_n \approx 0,0179 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_n \times p = 0,0179 \times 0,6 = 0,0107 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_d = 1,2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{он}} = 5 + 6 + 6 + 20 + 30 = 67 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2400 \times 5 + 2300 \times 6 + 2300 \times 6 + 1600 \times 20 + 1500 \times 30}{5 + 6 + 6 + 20 + 30} = 1740 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0017 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{он}} \times \text{tg}\phi_{\text{свт.}} = 1,2 \times 0,006 + 0,1 \times 0,0017 \times 67 \times \text{tg}15^\circ \approx 0,0103 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0103}{0,0107} = 0,96; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,96 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 2,1\%$$

возможности системы позволяют сформировать подробную расшифровку расчёта, содержащую объяснение хода расчёта, выкладки по формулам, ссылки на номограммы и нормативную документацию

## Расчёт на сдвигоустойчивость

Добавить, Удалить, Выше, Ниже, Назначить грунт, Добавить геосинтетику, Оптимизация толщин

управление слоями и поиск оптимального конструктивного решения

библиотека транспортных средств для расчёта приведённой интенсивности

Морозоустойчивость, Дренирующий слой, Колейность, Расчёт, Инспектор объектов, Свойства проекта, Библиотека материалов, Библиотека ТС, Данные

критерии расчёта жёстких и нежёстких дорожных одежд

редактирование параметров существующих материалов и создание новых материалов

№ дорожки	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Расчётные характеристики				
		Удельный расход, МПа	Собств. МПа	Издод. МПа	Средн. издод.	
тип: Селективно-механич. ДШ	1. Конструктивный слой № 1 — Асфальтобетон горячий укладки плотный II марки из щебеночной фракционной смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90 — Геосетка ССН 50/50-40 (АВВ) ХАВВЕР	Еурр = 3200 Ктр = 1100 Красч = 14,30 Запас = 30%	Есобр = 1100	Еизд = 4500	Естат = 350	Еоб = 316
	2. Конструктивный слой № 2 — Асфальтобетон горячий укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной фракционной смеси марка битума БНД-60/90	Еурр = 2000	Есобр = 840	Еизд = 2800	Естат = 320	Еоб = 259
	3. Конструктивный слой № 3 — Асфальтобетон горячий укладки пористый I марки из крупнозернистой щебеночной фракционной смеси марка битума БНД-60/90	Еурр = 2000	Есобр = 840	Еизд = 2800 Ктр = 0,940 Красч = 181,9 Запас = 97%	Естат = 320	Еоб = 200
	4. Конструктивный слой № 4 — Щебень фракционированный 4,0/8,0/16,0/32,0 мм предуплотненный с заклинка фракционированной мелкой щебенкой	Еурр = 350	Есобр = 350	Еизд = 350	Естат = 350	Еоб = 154
	5. Конструктивный слой № 5 — Смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией С5 - 4,0 мм (для оснований)	Еурр = 260	Есобр = 260	Еизд = 260	Естат = 260	Еоб = 91
Грунт земляного полотна — Суглинок светло-серый, легкий пылеватый, просадочный	Еурр = 32	Есобр = 32 Ктр = 0,940 Красч = 0,960 Запас = 2%	Еизд = 32	Естат = 32 Ктр = 0,940 Красч = 2,800 Запас = 198%	Еоб = 32	

чертежи и отчёты формируются автоматически и актуализируются при внесении любых изменений в проект

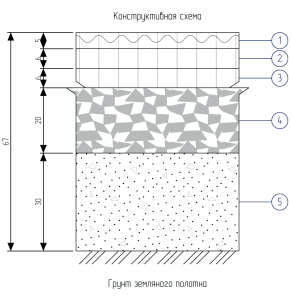


чертёж содержит основные расчётные показатели, позволяющие оценить характеристики дорожной одежды, а также конструктивную и расчётную схемы дорожной одежды





Рукавишникова  
Елена  
Евгеньевна

*Технический  
писатель  
ООО «ИндорСофт»*



Лубкина  
Ксения  
Александровна

*Ведущий  
разработчик  
ООО «ИндорСофт»*



Скворцов  
Алексей  
Владимирович

*Доктор технических  
наук, профессор,  
генеральный  
директор  
ООО «ИндорСофт»*