

## Лекция 3

### 3 ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ДОРОГ И УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

#### 3.1 Воздействие природных факторов на дорогу

Климат и погода – составные части природных факторов, которые существенно влияют на транспортно-эксплуатационные характеристики дорог, на режим и безопасность движения, т. е. на условия движения по дороге и режим ее функционирования. Автомобильные дороги подвержены постоянному и разнообразному воздействию природных факторов. Эти воздействия можно разделить на два вида:

1. воздействие на состояние земляного полотна и дорожные одежды как на несущую конструкцию, в результате которого изменяется ее прочность, долговечность и работоспособность;
2. воздействие на состояние поверхности дороги как поверхности качения, в результате которого изменяется состояние этой поверхности, сопротивление качению, сцепные качества и, как следствие, ухудшается взаимодействие автомобиля с дорогой.

Кроме того, природно-климатические факторы воздействуют на состояние автомобиля и водителя, а также на всю окружающую обстановку, т.е. на все условия движения.

При анализе различают следующие понятия и определения.

**Погода, погодные условия, условия погоды и метеорологические условия** используются как синонимы и означают состояние атмосферы, которое характеризуется совокупностью значений метеорологических явлений, факторов или элементов в данном месте, в данный момент.

**Климатические или метеорологические явления, элементы (факторы)** – это отдельные характеристики состояния атмосферы, которые наблюдаются на метеостанциях (атмосферное давление, температура, влажность воздуха, ветер, осадки, туман, метель и т. д., а также их сочетания).

Каждый метеорологический фактор характеризуется *вероятностью появления (повторяемостью), продолжительностью действия и последствием, интенсивностью*. Данные о вероятности появления, продолжительности действия и интенсивности приведены в климатических справочниках или могут быть получены на ближайшей к дороге метеостанции.

**Климат (климатические условия)** – статистический режим условий погоды за длительный период времени (от одного года до многих десятилетий), т.е. это закономерная последовательность атмосферных процессов в данной местности, обуславливающая характерный для этой местности режим погоды. **Микроклимат** – климат небольшой территории, возникающий под влиянием различий рельефа, растительности, состояния почвы, наличия водоемов, застройки и т.д. Воздействие метеорологических факторов на условия движения передается через состояние поверхности дороги, взаимодействие автомобиля с дорогой и восприятие условий движения водителем.

Транспортные средства воздействуют на дорогу обычно одновременно с

факторами, зависящими от природно-климатических условий (водой, температурой, ветром, солнечной радиацией).

Из всего разнообразия **природно-климатических факторов** наибольшее влияние на состояние дорог и на условия движения автомобилей оказывают **грунтово-геологические и гидрологические условия, рельеф и ландшафт местности, а также природно-климатические условия или факторы.**

**Из грунтово-геологических и гидрологических факторов** выделяют **тип и характеристики грунтов земляного полотна и подстилающих слоев, глубину промерзания, глубину и характер залегания грунтовых вод, условия стока поверхностных вод.**

Воздействие природно-климатических факторов формирует водно-тепловой режим земляного полотна (ВТР), под которым понимают закономерные сезонные изменения в земляном полотне и слоях одежды влажности и температуры.

В дорожной конструкции (дорожная одежда + земляное полотно) происходят сложные процессы: *нагревание, охлаждение, промерзание, оттаивание, испарение, конденсация, сублимация* (переход вещества из твёрдого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое). В результате в дорожной конструкции систематически происходят диффузионные процессы *тепломассопереноса* или *тепловлагообмена* (ТВО), обуславливающие колебание влажности и температуры.

Изменение характеристик ВТР существенно влияет на прочность, долговечность полотна и дорог, приводит к снижению транспортно-эксплуатационных свойств дорог.

Степень действия среды на дорогу в конечном итоге определяется видом и мощностью источников увлажнения дорожной конструкции и интенсивностью температурных воздействий.

Основные источники увлажнения дорожной конструкции (рис. 3.1):

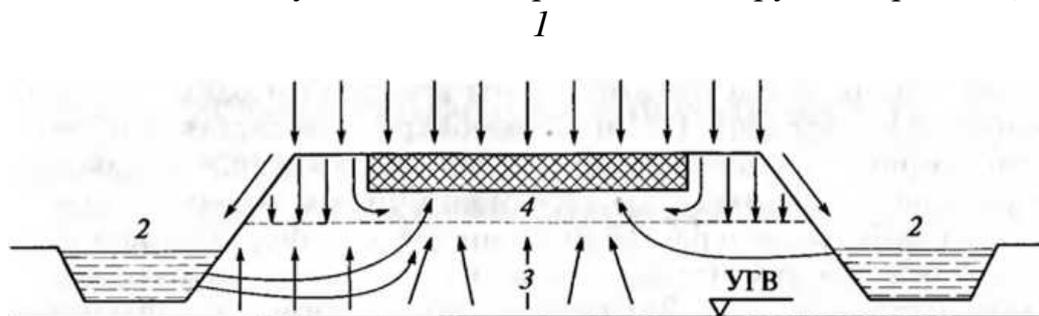


Рис. 3.1. Схема источников увлажнения дорожной конструкции:

1 – атмосферные осадки; 2 – вода в канавах; 3 – подземная вода и парообразное увлажнение; 4 – песчаное основание; УГВ – уровень грунтовых вод

- атмосферные осадки, просачивающиеся через трещины в покрытии, обочины (особенно в местах сопряжения с проезжей частью);

- вода, застаивающаяся на поверхности полотна, в боковых резервах и кюветах вследствие затрудненного поверхностного стока и увлажняющая грунт земляного полотна в процессе молекулярного и капиллярного передвижения;
  - подземная вода, поднимающаяся по капиллярам, особенно при промерзании конструкции и близком к поверхности дорожки залегании подземных вод;
  - парообразная вода, перемещающаяся от теплых слоев к более холодным. Зимой при промерзании конструкции вода может передвигаться снизу вверх и концентрироваться у фронта промерзания, повышая влажность грунта.
- Степень опасности ВТР по интенсивности температурных воздействий характеризуют:

- продолжительность морозного периода в днях  $T_x$ , равная периоду между датами перехода температуры воздуха через  $0^\circ\text{C}$  осенью и весной;
- минимальная  $t_{min\ b}$  или средняя  $t_b$  температура воздуха за холодный период;
- среднемаксимальная температура воздуха  $t_{max\ b}$  в наиболее жаркие месяцы;
- комплексные температурные показатели – морозный индекс  $\sum T_x t_b$  и размах  $R_t = t_{max} - t_{min}$ . Чем выше значения морозного индекса (изменяются в пределах 50...2000), размаха и чем больше продолжительность морозного периода, тем опаснее морозное воздействие среды на дорогу.

Воздействие факторов внешней среды на дорогу вызывает тепловлагообмен в полотне и слоях одежды. Это сложный и взаимосвязанный процесс. Изменение температуры вызывает миграцию (медленное движение) влаги. Влагонакопление и переход влаги в иную форму способствуют теплообмену. Поэтому процессы тепло- и влагообмена необходимо рассматривать во взаимосвязи.

### 3.2 Закономерности водно-теплового режима земляного полотна

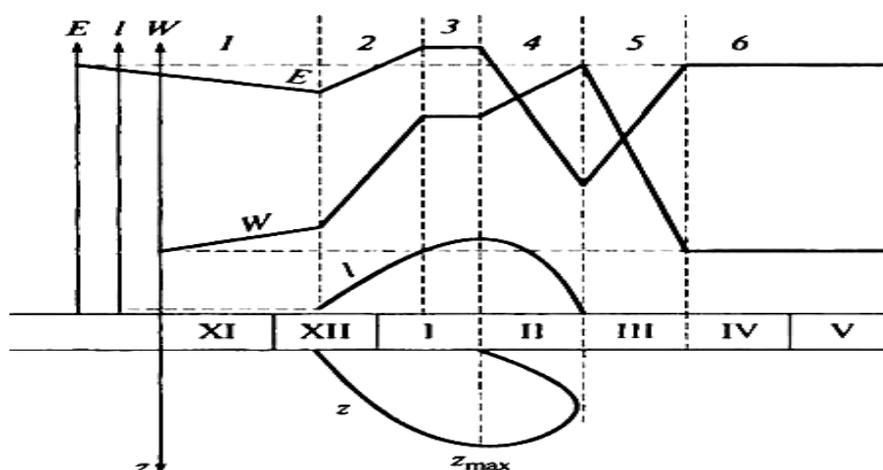


Рис. 3.2. Сезонное изменение водно-теплового режима земляного полотна:

1 – предзимний период; 2 и 3 – периоды морозного влагонакопления и зимнего равновесного состояния соответственно; 4 и 5 – периоды весенний оттаивания и просыхания грунта соответственно; 6 – летнее равновесное состояние; I-V, XI, XII – месяцы года;  $E$  – модуль упругости дорожной конструкции;  $l$  – морозное пучение;  $W$  – относительная влажность грунта;  $z$  – глубина промерзания

Годовой цикл ВТР земляного полотна включает в себя четыре основных характерных периода (рис. 3.2):

- предзимний период – первоначальное накопление влаги осенью;
- морозный период – промерзание, перераспределение и накопление влаги в земляном полотне зимой;
- весенний период – оттаивание земляного полотна и переувлажнение грунта весной;
- летний период – просыхание земляного полотна летом.

*Предзимний период*, или период первоначального накопления влаги осенью, характерен охлаждением и интенсивным увлажнением полотна и одежды атмосферными осадками, поднятием уровня грунтовых вод, медленным нарастанием влажности, разуплотнением грунта и снижением прочности дорожной одежды. Влажность может достигать  $0,7W_T$  ( $W_T$  – влажность на пределе текучести грунта).

В отдельные годы наблюдаются резкие смены температур от положительных к отрицательным. Такие температурные удары вызывают линейные сокращения покрытий, скорость которых выше, чем для нижележащих оснований. Это приводит к образованию поперечных температурных трещин.

*Морозный период*, или период промерзания, перераспределения и накопления влаги в земляном полотне зимой, может быть разделен на две характерные части: период морозного влагонакопления и период зимнего равновесного состояния. В первой части морозного периода наблюдается снижение температуры грунта, его промерзание, дальнейшее увеличение влажности и снижение плотности.

Это очень важный период. Влага из нижних слоев полотна, особенно парообразная и жидкообразная, интенсивно мигрирует снизу вверх и частично со стороны обочин к оси дороги. В зависимости от продолжительности холодного периода, мощности источников увлажнения и скорости промерзания к концу холодного периода в верхней части полотна может накопиться значительное количество влаги. При скорости промерзания до 2,5 см/сут происходит интенсивное накопление влаги и образование льда в грунте за счет миграции воды из нижележащих слоев. При быстром промерзании, когда его скорость больше 4 см/сут, вода из нижележащих слоев поступить не успевает и влажность грунта может быть несколько меньше. К концу этого периода может происходить вымерзание влаги из песчаного подстилающего слоя и устанавливается *зимний период равновесного состояния* влаги в грунте земляного

полотна или постепенное увеличение влаги до уровня  $(0,7...0,8)W_T$ . Вследствие замерзания воды в порах грунта образуются линзы и прослойки льда. Во многих случаях в холодный период возникают зимние оттепели, которые сопровождаются частичным оттаиванием грунта и резким снижением прочности проезжей части. Интенсивное влагонакопление и промерзание могут привести к образованию пучин. Однако прочность грунта и дорожной одежды в холодный период очень высокая.

*Весенний период* – период оттаивания грунта и насыщения его свободной водой. Это самый опасный период, принимаемый за расчетный для дорожных одежд и земляного полотна. Скопившийся в ледяных линзах и прослойках лед в верхней части земляного полотна оттаивает, и поры грунта заполняются свободной водой, которая скапливается над мерзлым, еще не оттаявшим грунтом земляного полотна (донник). Возникшее мокрое корыто на некоторый период сохраняет максимальную влажность  $W = (0,85... 1,0) W_T$ , минимальную плотность и прочность грунта. Под действием нагревающегося воздуха и проезжающего транспорта часть воды отжимается в дренирующий слой, часть – в грунт обочин и нижележащих слоев по мере их оттаивания. Количество воды в порах грунта зависит от скорости оттаивания. При медленном оттаивании, когда скорость оттаивания не превышает 4 см/сут, часть воды успевает отжаться и испариться. При быстром оттаивании со скоростью больше 7 см/сут происходит интенсивное влагообразование и накопление воды в порах грунта. В этот расчетный по состоянию грунта период (обычно в марте – апреле – мае) могут возникнуть просадки одежды, в первую очередь на пучинистых местах. Прочность дорожной конструкции минимальна. Продолжительность наиболее неблагоприятного расчетного состояния грунта  $T_p$  весной (или в период зимних оттепелей), в течение которого наблюдается минимальная сезонная прочность грунта полотна:

$$T_p = h_{кр} / v_{отт},$$

где  $h_{кр}$  – критическая глубина оттаивания, ориентировочно для дорог I - III категорий  $h_{кр} < 50$  см и III –IV категории  $h_{кр} < 70$  см;

$v_{отт}$  – средняя скорость оттаивания грунта полотна,  $v_{отт} = 2... 5$  см/сут.

### 3.3 Пучины на автомобильных дорогах

Одними из наиболее опасных деформаций и разрушений дорожных конструкций являются пучины. *Пучины* – это деформации и разрушения дорожной одежды в виде бугров и сетки трещин, возникающие в результате пучинообразования. Под *пучинообразованием (пучением)* понимают неоднородные по площади проезжей части взбугривания дорожной одежды.

Пучины образуются при одновременном сочетании трех факторов:

- интенсивное морозное влагонакопление, при котором максимальная относительная влажность грунта в верхней части земляного полотна  $W_{max} \geq 0,75W_T$ ;
- промерзание грунта под дорожной одеждой на глубину  $h_{пр} \geq 0,5$  м;
- наличие мелких пылеватых песков и супесей, пылеватых суглинков или

других пучинистых грунтов.

При отсутствии любого из этих факторов пучины не образуются.

Величина пучения зависит от многих факторов, но главным образом от влажности грунта, глубины промерзания, продолжительности холодного периода и прочности дорожной конструкции. Величина неравномерного морозного пучения (высота бугров на поверхности дороги) может достигать 80... 100 мм, что существенно снижает скорость движения автомобилей.

Классификация условий образования пучин приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Классификация условий образования пучин

Пучины (по генетическому характеру увлажнения грунтов)	Связь с грунтовыми и поверхностными водами	Характеристика процессов увлажнения
Гидрогеологические	Связаны преимущественно с высоким стоянием грунтовых вод. Накопление влаги происходит за счет капиллярного поднятия грунтовых вод преимущественно в осенний и частично в зимний периоды	Резкое поднятие горизонта грунтовых вод в начале осенне-зимнего периода и высокое стояние его весной. Резкое возрастание влажности верхнего слоя грунтов насыпи в начале зимы с последующим затуханием процесса к концу зимы
Температурные	Связаны с перемещением грунтовых вод к зоне промерзания под действием значительных температурных градиентов и длительными сроками их действия	Циклическое изменение влажности верхней части грунтов земляного полотна. Интенсивное накопление ледяных прослоек у границы промерзания
Поверхностные	Связаны с длительным стоянием поверхностных вод, обильным выпадением атмосферных осадков и их проникновением через трещины покрытия в грунт земляного полотна в осенне-зимний период, плохой организацией работ по снегоочистке дорог	Переувлажнение обочин и откосов в начале осенне-зимнего периода. Перемещение влаги от обочин и откосов в конце зимы к более холодной проезжей части в результате перемещения снега с проезжей части на обочины
Смешанные	Ранее перечисленные в данной таблице, в разных соотношениях и комбинациях	

*Физическая сущность* пучинообразования состоит в накоплении, перераспределении, замерзании и оттаивании воды в порах грунта, которые происходят при сезонных изменениях ВТР земляного полотна и дорожной одежды.

Внешними признаками пучинистых мест *в зимний период* являются неравномерное поднятие участков покрытия, взбугривание отдельных мест покрытия или образование группы взбугриваний, развитых по площади проезжей части с различной степенью интенсивности. Значительная часть из них, как правило, приводит к образованию в дорожной одежде сетки трещин, концентрирующейся у вершины бугров пучения, и разрушению покрытия на

отдельные куски различной площади и формы. Иногда пучины в большей степени развиваются на обочинах, и их поднятие может оказаться большим, чем в зоне проезжей части.

В весенний период после схода снега на пучинистых участках могут появляться влажные пятна, наблюдается иногда выход вместе с водой мелких частиц дренирующего слоя или грунта земляного полотна, а также волнообразные колебания дорожной конструкции при наезде транспортных средств.

Весной грунт в первую очередь оттаивает под дорожной одеждой. В этот момент лед превращается в жидкую фазу, которая под действием потенциала влажности и собственной массы мигрирует сверху вниз и задерживается на мерзлом, практически водонепроницаемом грунте. Спустя несколько дней над мерзлой поверхностью грунта – донником – в верхней части полотна под дорожной одеждой возникает переувлажненное состояние (рис. 3.3). Дорожная одежда теряет прочность, под действием транспорта разрушается, ее материал перемешивается с разжиженным грунтом. Такие разрушения обычно и называют пучинами.

При наезде на пучину колес автомобилей вода через трещины из донника выплескивается на поверхность проезжей части. Наступает период так называемого фонтанирования пучины.

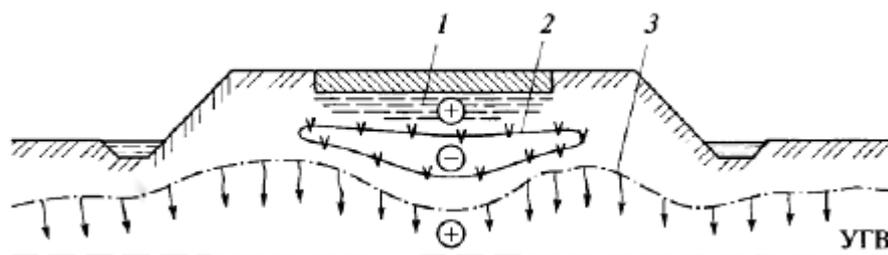


Рис. 3.3. Земляное полотно в момент оттаивания грунта:

1 – разжиженный грунт; 2 – оставшийся донник; 3 – линия промерзания грунта; УГВ – уровень грунтовых вод

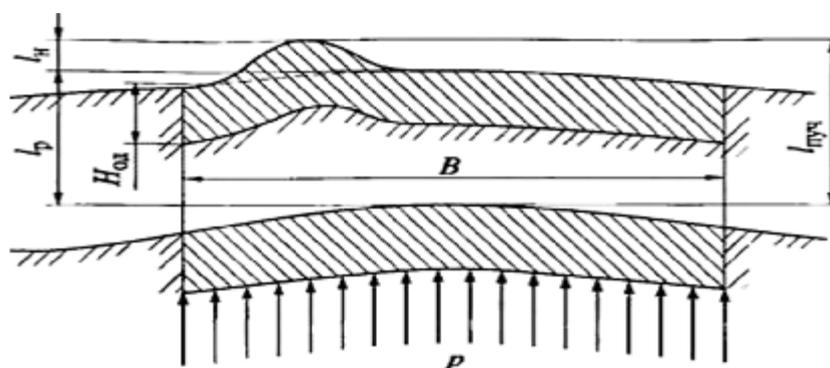


Рис. 3.4. Схема морозного пучения дорожных одежд:

$l_{пуч}$  – общее пучение;  $l_p$  – равномерное пучение;  $l_n$  – неравномерное пучение;  $p$  – давление пучения;  $H_{од}$  – толщина дорожной одежды;  $B$  – ширина проезжей части

Пучение вызывает растягивающие напряжения в верхних слоях дорожных одежд. Эти напряжения особо опасны в холодный период года, когда материал покрытий становится хрупким и легко возникают трещины. В первую

очередь такой опасности подвержены покрытия, построенные с применением органических вяжущих.

Исследования А.Я.Тулаева, А.И.Шеслера и других ученых показали, что особо опасны неоднородные пучения (рис. 3.4), которые являются основной причиной образования трещин. Поэтому при расчете дорожных одежд на морозоустойчивость в целях повышения надежности необходимо допусковое морозное общее пучение  $l_{пуч}$  определять с учетом неоднородности пучения.

Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие:

$$l_{пуч} \leq l_{доп}$$

где  $l_{пуч}$  – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;  $l_{доп}$  – допусковое для данной конструкции пучение грунта (табл. 3.2).

Таблица 4.2. Допускаемое пучение грунта

Тип дорожных одежд	Вид покрытия	Допустимое пучение $l_{доп}$ , см
Капитальные	Асфальтобетонное	4
Облегченные	»	6
Переходные	Переходное	10

*Примечание.* В восточных районах II — III дорожно-климатических зон значения  $l_{доп}$  следует увеличивать на 20...40% (большие значения — для облегченных и переходных дорожных одежд).