

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

**Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»**

Методические указания к лекционным занятиям  
по дисциплине **«Эксплуатация автомобильных дорог»** для студентов ВлГУ,  
обучающихся по направлению 230301 «Технология транспортных  
процессов» профиль «Организация и безопасность движения»

Составитель:

И.В. Денисов

Владимир – 2015 г.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Автомобильные дороги представляют собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для обеспечения круглогодичного, непрерывного, удобного и безопасного движения автомобилей с расчетной нагрузкой и установленными скоростями в любое время года и в любых условиях погоды. В состав этого комплекса входят земляное полотно, дорожная одежда, мосты, трубы и другие искусственные сооружения, обустройство дорог и защитные дорожные сооружения, здания и сооружения дорожных и автотранспортных служб.

Параметры и состояние всех элементов дороги и дорожных сооружений определяют технический уровень и эксплуатационное состояние дороги.

К основным транспортно-эксплуатационным показателям автомобильных дорог и дорожных сооружений относят обеспеченную скорость и пропускную способность, непрерывность, удобство и безопасность движения, способность пропускать автомобили и автопоезда с осевой нагрузкой и общей массой, соответствующими категории дороги.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

На автомобильных дорогах общего пользования организуется дорожная служба, основной задачей которой является осуществление комплекса работ и мероприятий по ремонту и содержанию дорог и сооружений на них и организации движения, обеспечивающих требования к транспортно-эксплуатационным показателям дорог.

Для обозначения указанной деятельности применяют не вполне корректный термин «эксплуатация дорог», а также «дорожно-эксплуатационная служба». Фактически дорожная служба не эксплуатирует дорогу. Она ее содержит, ремонтирует, обустроивает и организует движение транспортных потоков, т.е. обеспечивает функционирование дороги как транспортного сооружения. Эксплуатируют дороги автотранспортные предприятия и владельцы транспортных средств. Используют (эксплуатируют) многие дорожные сооружения участники движения - водители, пассажиры и пешеходы. Поэтому в общем виде под эксплуатацией автомобильных дорог понимают целесообразное и эффективное использование дорог автомобильным транспортом для перевозки грузов и пассажиров.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Применительно к дорожной отрасли более правильным будет термин «техническая эксплуатация дорог и организация движения», под которым следует понимать систему планово-предупредительных и ремонтно-восстановительных работ, а также организационно-технических мероприятий, обеспечивающих удобное и безопасное движение автомобилей и наиболее эффективное использование дорог для перевозки грузов и пассажиров.

В состав работ по содержанию и ремонту дорог входит изучение и анализ условий работы дороги и условий движения транспорта на ней; постоянный уход за дорогой, дорожными сооружениями и полосой отвода, поддержание их в чистоте и порядке; регулярные работы по содержанию дороги и периодические более крупные ремонты дорог и дорожных сооружений, озеленение, архитектурно-эстетическое оформление и обустройство дорог; разработка и реализация мероприятий по повышению технического уровня и эксплуатационного состояния дороги и приведению их в соответствие с возрастающими требованиями движения; организация, управление и регулирование движения, обеспечение его безопасности, совершенствование службы сервиса на дороге.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

Опыт показывает, что экономическая отдача средств, вложенных в ремонт и содержание дорог, в два-три раза превышает экономический эффект от каждого рубля, вложенного в строительство новых дорог. Поэтому необходимо объективно оценивать важность и социально-экономическую значимость работ по содержанию и ремонту существующих дорог. Состояние дорожной сети России таково, что задача повышения транспортно-эксплуатационных характеристик существующих дорог, приведения их в соответствие с требованиями движения и дальнейшего совершенствования становится в большинстве регионов страны более важной, чем строительство новых дорог.

В современных условиях центр тяжести деятельности дорожных организаций постепенно и неуклонно переходит от строительства новых дорог к преимущественному сохранению, поддержанию и повышению технического уровня и эксплуатационного состояния существующих автомобильных дорог методами содержания, ремонта и реконструкции. Главной стала задача повышения капитальности дорожных одежд, обеспечения высокой скорости, удобства и безопасности движения, инженерного оборудования и обустройства дорог, архитектурно-эстетического оформления и другие задачи, составляющие комплекс эксплуатационного обеспечения функционирования дорог.

## Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Ежегодный прирост сети дорог общего пользования с твердым покрытием за счет нового строительства и реконструкции составляет 0,5-0,8 %, а за пятилетний срок около 3 % от общей протяженности этих дорог. С учетом перевода в сеть общего пользования сельских дорог этот прирост составляет около 3 % в год для всех дорог. Следовательно, более 97 % всех автомобильных перевозок осуществляется и будет осуществляться по старым дорогам, от состояния которых в первую очередь зависит эффективность работы автомобильного транспорта. По их состоянию судят о деятельности дорожной отрасли миллионы людей, пользующихся дорогами. Новые дороги сразу после ввода также нуждаются в постоянном эксплуатационном уходе и содержании.

Существенное влияние на состояние дорог и условия движения автомобилей оказывают природно-климатические условия. Для территории России это имеет особое значение, поскольку на ее огромном пространстве имеются самые разные климатические зоны: от субтропической до антарктической.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

Автомобильные дороги предназначены для удовлетворения потребностей общества и государства в автомобильных перевозках и должны обладать высокими потребительскими свойствами, к которым относятся: обеспеченная дорогой скорость, непрерывность, удобство и безопасность движения, пропускная способность и уровень загрузки движением, способность пропускать автомобили и автопоезда с заданными габаритами, осевыми нагрузками и грузоподъемностью (общей массой), а также эстетичность и экологическая безопасность.

От потребительских свойств дорог непосредственно зависят все основные технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта, такие как производительность автомобилей, расход топлива, износ шин, затраты на обслуживание и ремонт, себестоимость перевозок и др. Поэтому количественные значения требований к потребительским свойствам дорог прямо связаны с основными параметрами и характеристиками автомобилей, допущенных к движению по дорогам общего пользования. К таким параметрам и характеристикам относятся габаритные размеры, осевые нагрузки и общая масса автомобилей, их динамические характеристики, свойства тормозных систем, подвесок, шин, рулевого управления и др.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

В течение длительного времени темпы роста объемов автомобильных перевозок, выпуска грузовых и легковых автомобилей опережали темпы роста протяженности дорог с твердым покрытием, что привело к нарастанию интенсивности движения на дорогах. Весьма существенным является то, что значительная часть протяженности существующих дорог имеет тонкослойную дорожную одежду, способную пропускать в расчетный период автомобили с осевой нагрузкой не более 60 кН, в то время как автомобильная промышленность выпускает почти все грузовые автомобили и автобусы с параметрами выше расчетных для этой части дорог.

Рост интенсивности движения и особенно доли в ней большегрузных автомобилей, автопоездов и автобусов привело к существенному возрастанию изнашивающего и разрушающего воздействия автомобилей на дорогу, следствием чего является рост потребности в ремонтно-восстановительных дорожных работах, увеличение их объемов. Эта тенденция в ближайшей перспективе будет неизбежно нарастать, чтобы обеспечить работоспособность существующих автомобильных дорог.



# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Дорожные организации выполняют большой объем работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог, организации и обеспечению безопасности движения. Ежегодно в России ремонтируется около 30 тыс. км дорог, а расходы на эти цели возрастают на 20-30 %.

Указанные объемы работ позволяют сохранить существующую сеть дорог от разрушения, но явно недостаточны для приведения транспортно-эксплуатационного состояния дорог в соответствие с нормативными требованиями. Чтобы решить эту задачу, ежегодные объемы работ по ремонту и содержанию необходимо увеличить в 1,5-2 раза и более.

Созданная дорожная сеть - это национальное богатство страны, и она заслуживает к себе отношения именно как к национальному богатству, которое нужно беречь, преумножать и эффективно использовать. Этому посвящена вся деятельность дорожных организаций по ремонту и содержанию дорог.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

*Тенденции развития автомобильного транспорта и характеристик автомобилей, влияющих на требования к состоянию дорог*

В единой транспортной системе страны значительное место принадлежит автомобильному транспорту, который по объему перевозимых грузов в несколько раз превышает работу всех остальных видов транспорта, вместе взятых. В то же время в общем грузообороте транспортной системы доля автомобильного транспорта значительно меньше и составляет около 50 % всей транспортной работы. Это объясняется тем, что средняя дальность перевозок автомобильным транспортом в несколько раз меньше, чем другими видами транспорта (железнодорожным, морским, воздушным и др.).

Для успешного функционирования автомобильно-дорожной системы, т.е. автомобильного транспорта и автомобильных дорог, необходимо, чтобы параметры и характеристики автомобильных дорог удовлетворяли требованиям движения автомобилей, а основные параметры и характеристики автомобилей соответствовали тем, на которые рассчитаны эксплуатируемые дороги.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Существуют определенные требования к автомобилям со стороны автомобильных дорог, которые необходимо соблюдать, чтобы не перестраивать сеть автомобильных дорог под каждое новое поколение автомобилей. Это прежде всего требования к динамическим свойствам и габаритам автомобилей, их осевой нагрузке, общей массе и ряду других характеристик. Выдержать эти соотношения трудно, поскольку автомобильные дороги эксплуатируются многие десятилетия, происходит смена нескольких поколений автомобилей, каждое из которых предъявляет более высокие требования к автомобильным дорогам, что ведет к их непрерывному совершенствованию.

Чтобы заранее прогнозировать возможные изменения состояния дорог и требования к ним со стороны пользователей, необходимо систематически анализировать тенденции количественного и качественного развития автомобильного транспорта. На этой основе должна разрабатываться техническая политика в эксплуатации автомобильных дорог, их ремонта и содержания.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

Анализ развития автомобилей указывает на то, что в ближайшие 10-20 лет не должно произойти изменений по габаритным высоте и ширине грузовых и легковых автомобилей. Однако имеется тенденция в Европе и в России к увеличению разрешенной осевой нагрузки до 13 т с увеличением полной массы автопоезда до 50-60 т, что необходимо учитывать при разработке норм проектирования дорог. Другое направление в развитии автопоездов - применение трехзвенных автопоездов, например, тягач и два прицепа или тягач + полуприцеп + прицеп будет иметь весьма ограниченное применение в Европе, так как такие автопоезда создают значительные помехи движению и могут быть использованы только в отдельных случаях.

От полной массы и нагрузки на ось, а также от конструкции шин и давления в них зависит удельное давление в зоне контакта. Следует отметить, что при наезде на неровность нагрузка на колесо может увеличиться в 1,3-1,5 раза. Соответственно кратковременно увеличится и давление в зоне контакта.

## Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

Результаты диагностики и оценки состояния федеральных автомобильных дорог России, а также выборочные обследования дорог субъектов Федерации, выполненные с участием экспертов Мирового банка реконструкции и развития, показали, что по состоянию на конец 2000 г. только приблизительно 40 % протяженности всей сети дорог с твердым покрытием способны обеспечить круглогодичное беспрепятственное движение грузовых автомобилей с осевой нагрузкой 10 тс (100 кН). На остальных дорогах прочность дорожных одежд недостаточна и они нуждаются в крупномасштабных ремонтных работах, связанных с повышением их несущей способности. Выполненные расчеты показали, что для выполнения всех необходимых ремонтных работ потребуется свыше 40 млрд. руб. Учитывая современные темпы проведения ремонтных работ, можно сказать, что период их реализации может составить не менее 15 лет.

В связи с этим необходимой мерой для обеспечения сохранности автомобильных дорог, подтвержденной многолетним опытом развитых зарубежных стран, является сезонное ограничение движения автомобилей по осевым нагрузкам на дорогах с недостаточной несущей способностью дорожных одежд.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Проведенный анализ результатов обследований автомобильных дорог показал, что для сохранения действующей сети дорог необходимо обеспечить следующие объемы и уровни сезонного ограничения движения:

Для федеральных дорог:

на 8 тыс. км (« 20 % сети) - до 8 тс (80 кН);

на 10 тыс. км (« 25 % сети) - до 6 тс (60 кН).

Для дорог субъектов Российской Федерации:

на 48 тыс. км (« 11 % сети) - до 8 тс (80 кН);

на 147 тыс. км (« 35 % сети) - до 6 тс (60 кН);

на 63 тыс. км (« 15 % сети) - до 4 тс (40 кН).

## Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

На основе данных учета интенсивности и состава дорожного движения на дорогах общего пользования и руководствуясь приведенными выше уровнями необходимого ограничения движения, можно сделать вывод о том, что в весенне-осенний период на большей части дорожной сети России в течение 1-1,5 месяцев должны быть исключены из состава движения от 30 до 50 % грузовых автомобилей. То есть существенная часть автомобильного парка (около 1,5 млн. единиц) должна в этот период простаивать. Ущерб от простоя может составить около 5 млрд. руб. в год.

Если движение грузовых автомобилей не ограничивать, то масштабы разрушения дорог могут привести к ущербу в 19,5 млрд. руб. в год, что почти втрое превышает объем средств, в среднем ежегодно выделяемых на содержание и ремонт только федеральных автомобильных дорог. Таким образом, временное (сезонное) ограничение движения грузовых автомобилей является объективно необходимым мероприятием для обеспечения сохранности автомобильных дорог. Таков масштаб цели допущенного нарушения взаимосвязи между техническими параметрами транспортных средств и транспортно-эксплуатационными характеристиками автомобильных дорог.

## Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

Чтобы перевести автомобильный транспорт на интенсивный путь развития, необходимо значительно увеличить темпы роста производительности автомобилей. Это главная задача для автомобильного транспорта и дорожного хозяйства. Существует три основных направления совершенствования существующей сети дорог: повышение прочности дорожных одежд и грузоподъемности мостов в целях перевода всех дорог на пропуск автомобилей с осевой нагрузкой 100 кН; улучшение геометрических параметров, ровности, сцепных качеств покрытий и других характеристик дорог с целью повышения средней скорости транспортных потоков; одновременный перевод дорог под нагрузку 100 кН и повышение средней скорости движения.



## Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

В сложившихся условиях на ближайший период более реальным путем повышения производительности подвижного состава является увеличение не грузоподъемности, а средней скорости движения автомобилей. Этот путь может быть реализован с гораздо меньшими затратами, поскольку он не требует значительного изменения параметров автомобилей (например, мощности двигателя, динамических характеристик и т.д.). Современные грузовые автомобили способны по хорошим дорогам развивать скорость даже в груженом состоянии до 90-100 км/ч, в то время как на большей части существующих дорог она не превышает 40-50 км/ч, т.е. технические возможности автомобилей используются не более чем на половину. Использование этого резерва также возможно только при условии развития и совершенствования дорожной сети.

Но в этом случае на первом этапе не потребуются массового усиления дорог и перестройки мостов. Решая задачу повышения средней скорости движения, следует помнить, что оно может привести к увеличению количества ДТП на дорогах, если одновременно не выполнить всех мероприятий по повышению безопасности движения.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

## ■ **Классификация автомобилей.**

- На дорогах общего пользования действуют установленные меж-дународными соглашениями ограничения габаритов и массы ав-томобилей:
- высота — 4,0 м, ширина — 2,5 м (для рефрижераторов и изо-термических кузовов допускается 2,6 м), длина — 12 м для оди-ночных автомобилей, 20 м — для автопоездов (с одним прицепом или полуприцепом), 18 м — для сочлененных автобусов и трол-лейбусов;
- полная масса для автопоездов с одним прицепом или полу-прицепом по группе А — не более 38 т.
- Установлены следующие нагрузки на одиночную ось двухос-ного автомобиля для расчета прочности дорожных одежд вновь строящихся и реконструируемых дорог:
  - I, II категорий.....115 кН (11,5 тс)
  - III, IV категорий.....100 кН (10 тс)
  - V категории.....60 кН (6 тс)
- Ширина колеи автомобилей обычно составляет 0,8...0,85 габаритной ширины, и эта тенденция устойчиво сохраняется длительное время. Например, если габаритная ширина 2,5 м, то колея будет около 2,0 м. У легковых автомобилей часто встречается ши-рина 1,6 м и колея 1,45 м.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

- **Динамические характеристики автомобилей.** Максимальные конструктивные скорости движения отечественных легковых автомобилей за период с 1970 г. по настоящее время возросли в среднем на 17 км/ч и составляют 145... 158 км/ч.
- Также увеличились и максимальные скорости отечественных грузовых автомобилей, которые составляют в настоящее время 90... 115 км/ч.
- В транспортном потоке на автомобильных дорогах доля легковых автомобилей возросла до 80 % и более, возросла доля тяжелых грузовых автомобилей, авто-поездов, туристических автобусов, а динамические характеристики многих отечественных автомобилей вплотную подошли к характеристикам зарубежных автомобилей.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

---

- **К автомобильным дорогам общего пользования** относят внегородские автомобильные дороги, которые являются государственной собственностью Российской Федерации и подразделяются:
- на дороги общего пользования, являющиеся федеральной собственностью — *федеральные дороги*;
- дороги субъектов Российской Федерации, относящиеся соответственно к собственности субъектов Российской Федерации — *территориальные дороги*.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

- В 2005 г. введен в действие новый стандарт на автомобильные дороги. В этом стандарте введены понятия классов и категорий дорог, а также категорий 1в для обозначения дорог обычного типа.
- *Класс* дороги назначают в зависимости от условий доступа к ней, т.е. от возможности въезда на дорогу и съезда с нее транспортных средств, определяемой типом пересечения или примыкания.
- Различают три класса автомобильных дорог — автомагистрали, скоростные дороги и дороги обычного типа (нескоростные дороги).
- Кроме того, различают семь *категорий* автомобильных дорог в зависимости от характеристик, отражающих принадлежность автомобильной дороги соответствующему классу и определяющих технические параметры автомобильной дороги. Таким образом, в новом стандарте все автомобильные дороги общего пользования подразделяются на автомагистрали категории 1а, скоростные дороги категории 1б и дороги обычного типа (нескоростные дороги) категорий 1в, II, III, IV и V. В стандарте указаны их основные характеристики и условия применения того или иного класса и той или иной категории.

# Лекция №1 – Вводные положения. Тенденции развития автомобильного транспорта и автомобильных дорог

- В 2005 г. введен в действие новый стандарт на автомобильные дороги. В этом стандарте введены понятия классов и категорий дорог, а также категорий 1в для обозначения дорог обычного типа.
- *Класс* дороги назначают в зависимости от условий доступа к ней, т.е. от возможности въезда на дорогу и съезда с нее транспортных средств, определяемой типом пересечения или примыкания.
- Различают три класса автомобильных дорог — автомагистрали, скоростные дороги и дороги обычного типа (нескоростные дороги).
- Кроме того, различают семь *категорий* автомобильных дорог в зависимости от характеристик, отражающих принадлежность автомобильной дороги соответствующему классу и определяющих технические параметры автомобильной дороги. Таким образом, в новом стандарте все автомобильные дороги общего пользования подразделяются на автомагистрали категории 1а, скоростные дороги категории 1б и дороги обычного типа (нескоростные дороги) категорий 1в, II, III, IV и V. В стандарте указаны их основные характеристики и условия применения того или иного класса и той или иной категории.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

### **Классификация автомобилей**

На дорогах общего пользования действуют установленные международными соглашениями ограничения габаритов и массы автомобилей:

- высота — 4,0 м, ширина — 2,5 м (для рефрижераторов и изотермических кузовов допускается 2,6 м), длина — 12 м для одиночных автомобилей, 20 м — для автопоездов (с одним прицепом или полуприцепом), 18 м — для сочлененных автобусов и троллейбусов;

- полная масса для автопоездов с одним прицепом или полуприцепом — не более 38 т.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Установлены следующие нагрузки на одиночную ось двухосного автомобиля для расчета прочности дорожных одежд вновь строящихся и реконструируемых дорог:

I, II категорий.....	115 кН (11,5 тс)
III, IV категорий.....	100 кН (10 тс)
V категории.....	60 кН (6 тс)

Ширина колеи автомобилей обычно составляет 0,8...0,85 габаритной ширины, и эта тенденция устойчиво сохраняется длительное время.

Например, если габаритная ширина 2,5 м, то колея будет около 2,0 м. У легковых автомобилей часто встречается ширина 1,6 м и колея 1,45 м.



## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

### **Динамические характеристики автомобилей**

Максимальные конструктивные скорости движения отечественных легковых автомобилей за период с 1970 г. по настоящее время возросли в среднем на 17 км/ч и составляют 145... 158 км/ч.

Также увеличились и максимальные скорости отечественных грузовых автомобилей, которые составляют в настоящее время 90... 115 км/ч.

В транспортном потоке на автомобильных дорогах доля легковых автомобилей возросла до 80 % и более, возросла доля тяжелых грузовых автомобилей, автопоездов, туристических автобусов, а динамические характеристики многих отечественных автомобилей вплотную подошли к характеристикам зарубежных автомобилей.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

**К автомобильным дорогам общего пользования** относят внегородские автомобильные дороги, которые являются государственной собственностью Российской Федерации и подразделяются:

на дороги общего пользования, являющиеся федеральной собственностью — *федеральные дороги*;

дороги субъектов Российской Федерации, относящиеся соответственно к собственности субъектов Российской Федерации — *территориальные дороги*.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

### **К ведомственным и частным автомобильным дорогам относят:**

дороги предприятий, объединений, учреждений и организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств, предпринимателей и их объединений и других организаций, используемые ими для своих технологических, ведомственных или частных нужд.

Сеть автомобильных дорог России развивалась неравномерно в течение длительного времени (рисунок 1). При этом темпы развития дорожной сети в течение многих лет существенно отставали от темпов роста численности автопарка.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

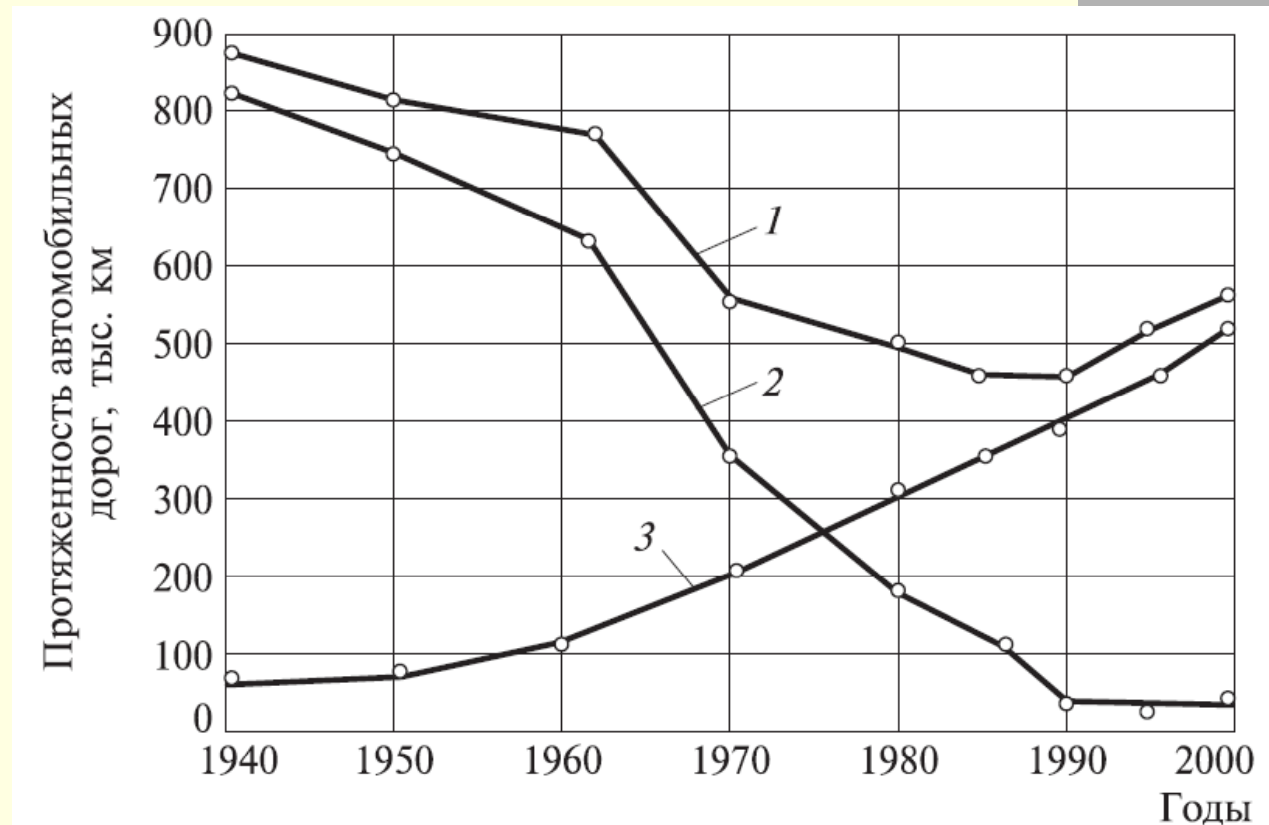


Рисунок 1. Динамика изменения протяженности и структуры сети автомобильных дорог общего пользования России:

■ 1 — общая протяженность; 2 — грунтовые дороги; 3 — дороги с твердым покрытием

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

По состоянию на 01.01.2004 г. протяженность всей сети автомобильных дорог России составляла 897,8 тыс. км, в том числе

- общего пользования — 598,6 тыс. км, из которых 46,8 тыс. км;

- федеральных и 551,8 тыс. км территориальных дорог.

Кроме того, в общую протяженность входило 299,2 тыс. км ведомственных и частных дорог.

Протяженность дорог общего пользования с твердым покрытием составляла 544,2 тыс. км, в том числе 61 % — дороги с покрытием из асфальтобетона и других материалов, обработанных вяжущим; дороги с цементобетонным покрытием составляли 2% протяженности; с покрытием переходного типа (щебеночные, гравийные и др.) — 28%.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

- Протяженность грунтовых дорог составляла 9 %, или 53,9 тыс. км.

- Сеть дорог общего пользования с твердым покрытием распределяется по категориям в следующем порядке:

■ Категория дороги .....	I	II	III	IV	V
■ Протяженность, тыс. км .....	4,8	27,8	109,8	320,2	81,6
■ Доля в сети дорог с твердым покрытием, % .....	0,9	5,1	20	59	15

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

В 2005 г. введен в действие новый стандарт на автомобильные дороги.

В этом стандарте введены понятия классов и категорий дорог, а также категорий 1в для обозначения дорог обычного типа.

**Класс** дороги назначают в зависимости от условий доступа к ней, т.е. от возможности въезда на дорогу и съезда с нее транспортных средств, определяемой типом пересечения или примыкания.

Различают три класса автомобильных дорог — автомагистрали, скоростные дороги и дороги обычного типа (нескоростные дороги).

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Кроме того, различают семь *категорий* автомобильных дорог в зависимости от характеристик, отражающих принадлежность автомобильной дороги соответствующему классу и определяющих технические параметры автомобильной дороги.

Таким образом, в новом стандарте все автомобильные дороги общего пользования подразделяются на автомагистрали категории 1а, скоростные дороги категории 1б и дороги обычного типа (нескоростные дороги) категорий 1в, II, III, IV и V. В стандарте указаны их основные характеристики и условия применения того или иного класса и той или иной категории.



## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

### **Классификация автомобильных дорог в России**

**Европейские маршруты** — часть единой европейской транспортной системы, имеют префикс Е и номер, частично совпадают с участками федеральных автомагистралей.

**Азиатские маршруты** — часть единой азиатской транспортной системы, имеют префикс АН и номер, частично совпадают с участками федеральных автомагистралей.

**Автомобильные дороги федерального значения** — находятся в собственности Российской Федерации и финансируются за счёт федерального бюджета.

**Автомобильные дороги регионального значения** — дороги, находящиеся в собственности субъектов Российской Федерации и финансируемые из их бюджетов.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

**Автомобильные дороги межмуниципального значения** — дороги, находящиеся в собственности субъектов Российской Федерации и финансируемые из их бюджетов.

**Дороги местного значения** — дороги, находящиеся в собственности муниципальных образований и финансируемые из их бюджетов (автомобильные дороги поселений, муниципальных районов или городских округов).

**Частные автомобильные дороги** — дороги, находящиеся в частной собственности и финансируемые частным собственником.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

### **Присвоение идентификационных номеров**

Учётный номер автомобильной дороги обязательно включает в себя заглавную букву русского алфавита:

**М** — для автодорог федерального значения, соединяющих Москву со столицами иностранных государств и административными центрами субъектов РФ.

**Р** — для автодорог федерального или регионального значения, соединяющих административные центры РФ.

**А** — для автодорог федерального или регионального значения, являющихся подъездом к крупнейшим транспортным узлам (например аэропортам), подъездом к специальным объектам либо подъездом от административного центра субъекта РФ, не имеющего дорожной связи с Москвой, к морским или речным портам, аэропортам и железнодорожным станциям либо границам других государств.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Также применяется для автодорог, соединяющих дороги федерального значения между собой.

**К** — для прочих автодорог регионального значения.

**Н** — для автодорог межмуниципального значения.

В настоящее время, с 28 сентября 2009, года действуют «Правила классификации автомобильных дорог в Российской Федерации и их отнесения к категориям автомобильных дорог», утверждённые постановлением Правительства России от 28 сентября 2009 г. № 767.

**ГОСТ Р 52398-2005 – «КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ТРЕБОВАНИЯ (CLASSIFICATION OF AUTOMOBILE ROADS. GENERAL PARAMETERS AND REQUIREMENTS)**

# Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Общее количество полос	Ширина полосы движения, м	Центральная разделительная полоса	Пересечения с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками	Пересечения с железными дорогами и трамвайными путями	Доступ на дорогу с примыканиями в одном уровне	Проектная скорость
Автомостраль	IA	4 и более	3,75	Обязательна	В разных уровнях	В разных уровнях	Не допускается	150 км/ч
Скоростная дорога	IB	4 и более	3,75				Допускаются пересечения в одном уровне со светофорным регулированием *4	Допускается без пересечения прямого направления
Дорога обычного типа (нескоростная дорога)	II	4 и более *1	3,75	Допускается отсутствие *2	Допускаются пересечения в одном уровне *5	В разных уровнях	Допускается	100 км/ч
		4	3,5					
		2 или 3 *3	3,75	Не требуется	Допускаются пересечения в одном уровне *5	Допускаются пересечения в одном уровне	Допускается	80 км/ч
		2	3,5					60 км/ч
		2	3,0					
	V	1	4,5 и более					

- \*1. Более шести полос допускается только на существующих автомобильных дорогах.
- \*2. На дороге категории II требование к наличию разделительной полосы определяется проектом организации дорожного движения.
- \*3. Три полосы движения только для существующих автомобильных дорог.
- \*4. Пересечение 4-полосной трассы категории IB с дорогами той же категории и дорогами категории II допускается только в разных уровнях.
- \*5. Пересечение 4-полосной дороги категории II с аналогичной осуществляется в разных уровнях. Другие варианты пересечения дорог категории II с дорогами категорий II и III могут осуществляться как в разных уровнях, так и в одном (при условии светофорного регулирования, «отнесённых» левых поворотов или пересечения кольцевого типа).

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

В современных условиях, когда доля легковых автомобилей в составе транспортных потоков составляет 70...85 %, на первое место при оценке эффективности работы автомобильного транспорта на дороге выходят затраты времени на поездку пассажиров или перевозку грузов, которые непосредственно связаны со скоростью движения.

Расчеты показывают, что повышение скорости движения за счет улучшения состояния дороги дает существенную экономию времени на поездку или перевозку грузов до 20 тыс. авт.ч и более на каждый километр улучшенной дороги.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

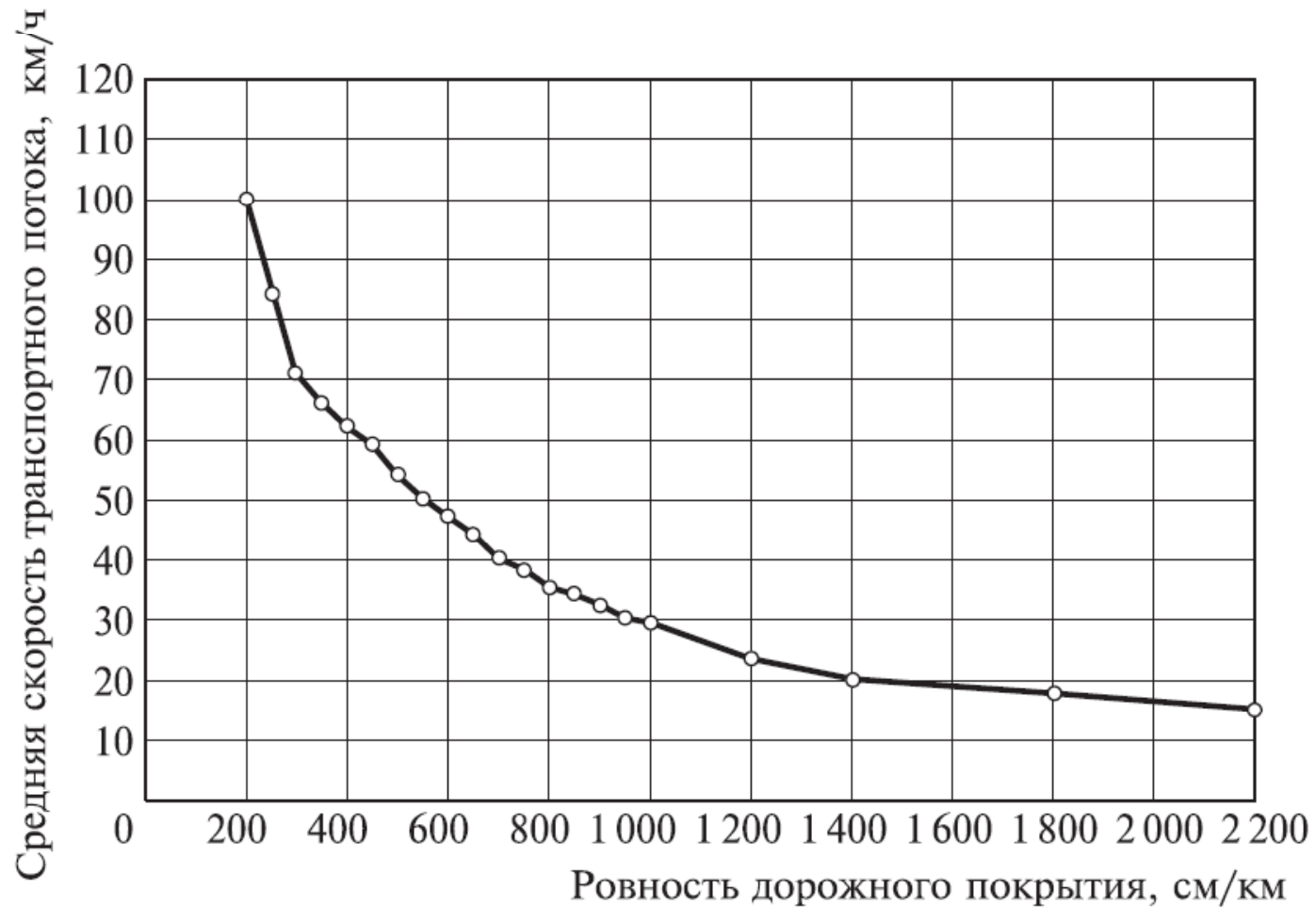


Рисунок 2. Зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

Эффективность работы автомобильного транспорта характеризуется себестоимостью перевозок.

Расчеты показывают, что себестоимость грузовых перевозок минимальна при средней скорости движения 60...80 км/ч. Если принять эту себестоимость за единицу, то с уменьшением средней скорости коэффициент увеличения себестоимости перевозок резко возрастает, особенно при скорости ниже 40 км/ч:

■ Средняя скорость движения, км/ч .....	60.....80	40...60	20...40	10...20
■ Коэффициент повышения стоимости перевозок .....	1,00	1,10	1,30	3,5



## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

О влиянии состояния дорог на эффективность работы автомобилей свидетельствуют данные о стоимости содержания транспортных средств при работе автомобилей на дорогах с различной ровностью, полученные по материалам Европейского банка развития и реконструкции (ЕБРР), где ровность покрытия приведена в международных единицах IRI, измеряемых в метрах на 1 км (м/км).

Из этих данных следует, что при ухудшении ровности от 1 до 8 м/км экономические затраты на транспортные средства возрастают для легковых автомобилей с 8 до 15 центов США на 1 км, а для тяжелых грузовых автомобилей с 26 до 27 центов США на 1 км.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

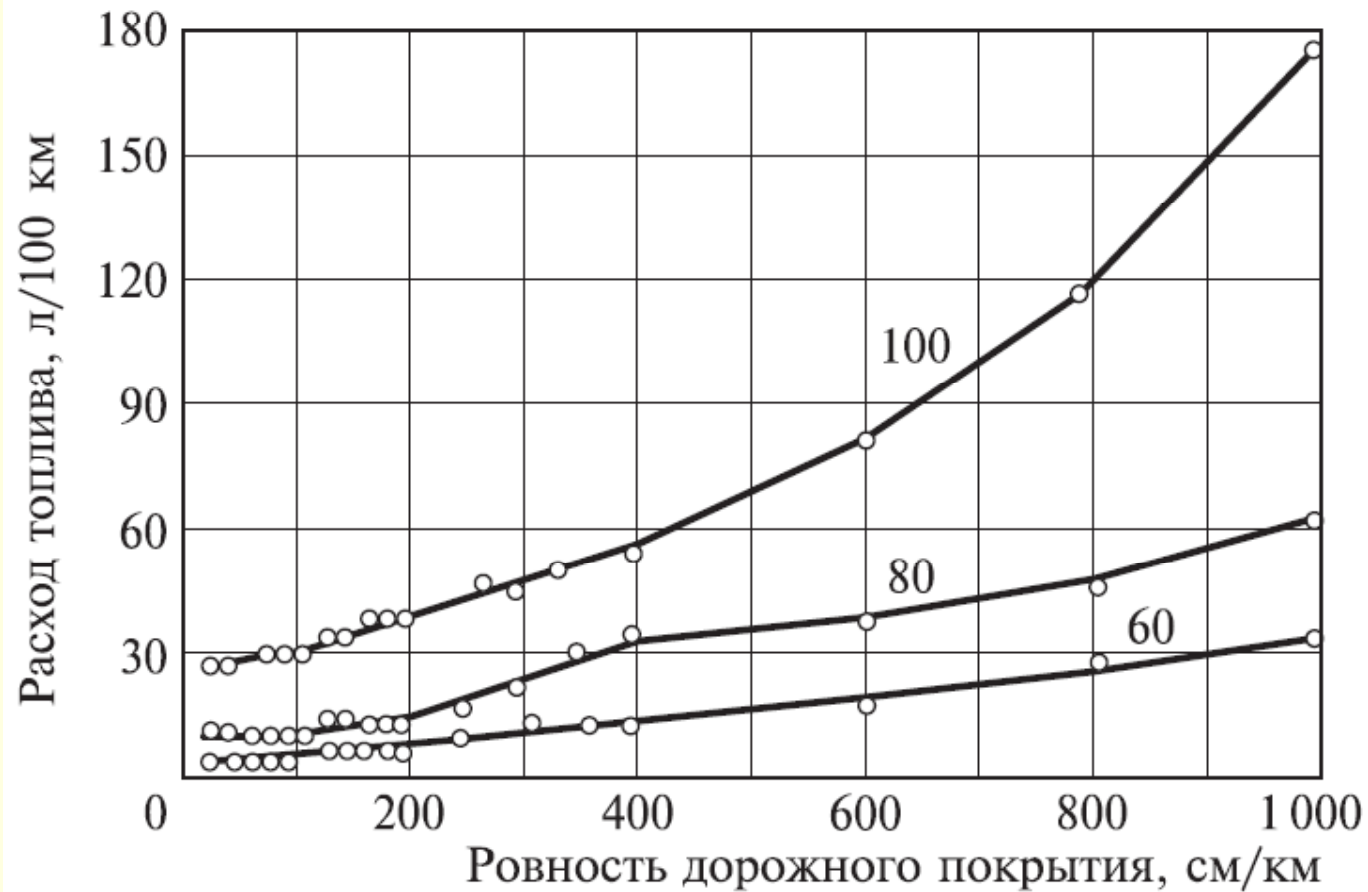


Рисунок 3. Зависимость расхода топлива грузового автомобиля от ровности дорожного покрытия и скорости движения (цифры на кривых — средняя скорость движения грузового автомобиля, км/ч)

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

### **Состояние дорог и безопасность движения**

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) ежегодно в мире на дорогах и улицах городов гибнет почти 1,2 млн. чел., ранения различной тяжести получают до 50 млн. чел.

- Общий социально-экономический ущерб составляет до 3% валового национального продукта.
- На дорогах и улицах городов Европы ежегодно происходит свыше 2 млн. ДТП, в которых гибнет 127 тыс. чел. и 0,4 млн. получают травмы или становятся инвалидами.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

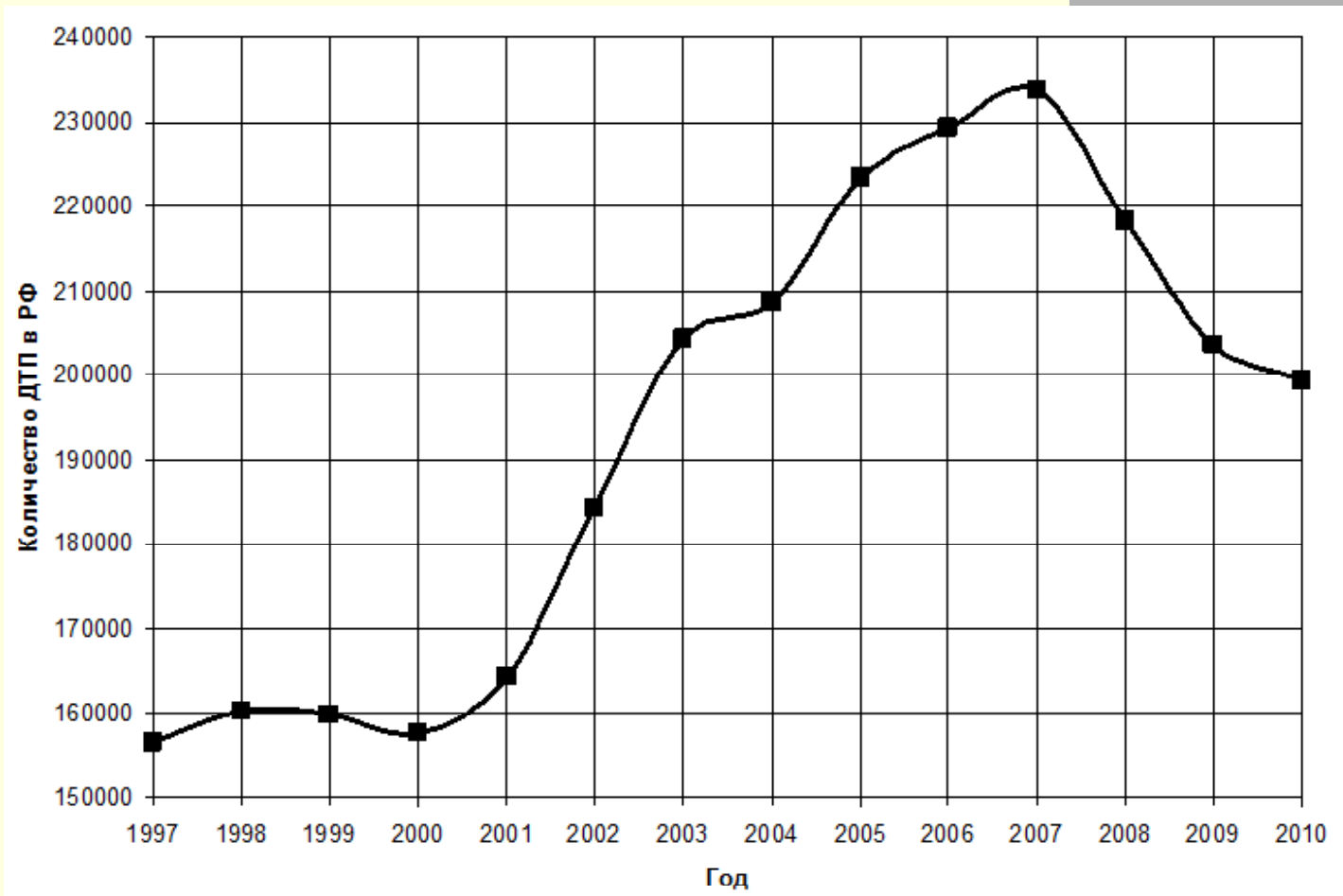


Рисунок 4. Динамика аварийности (количество ДТП) в РФ в 1997 г. по 2010 г.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

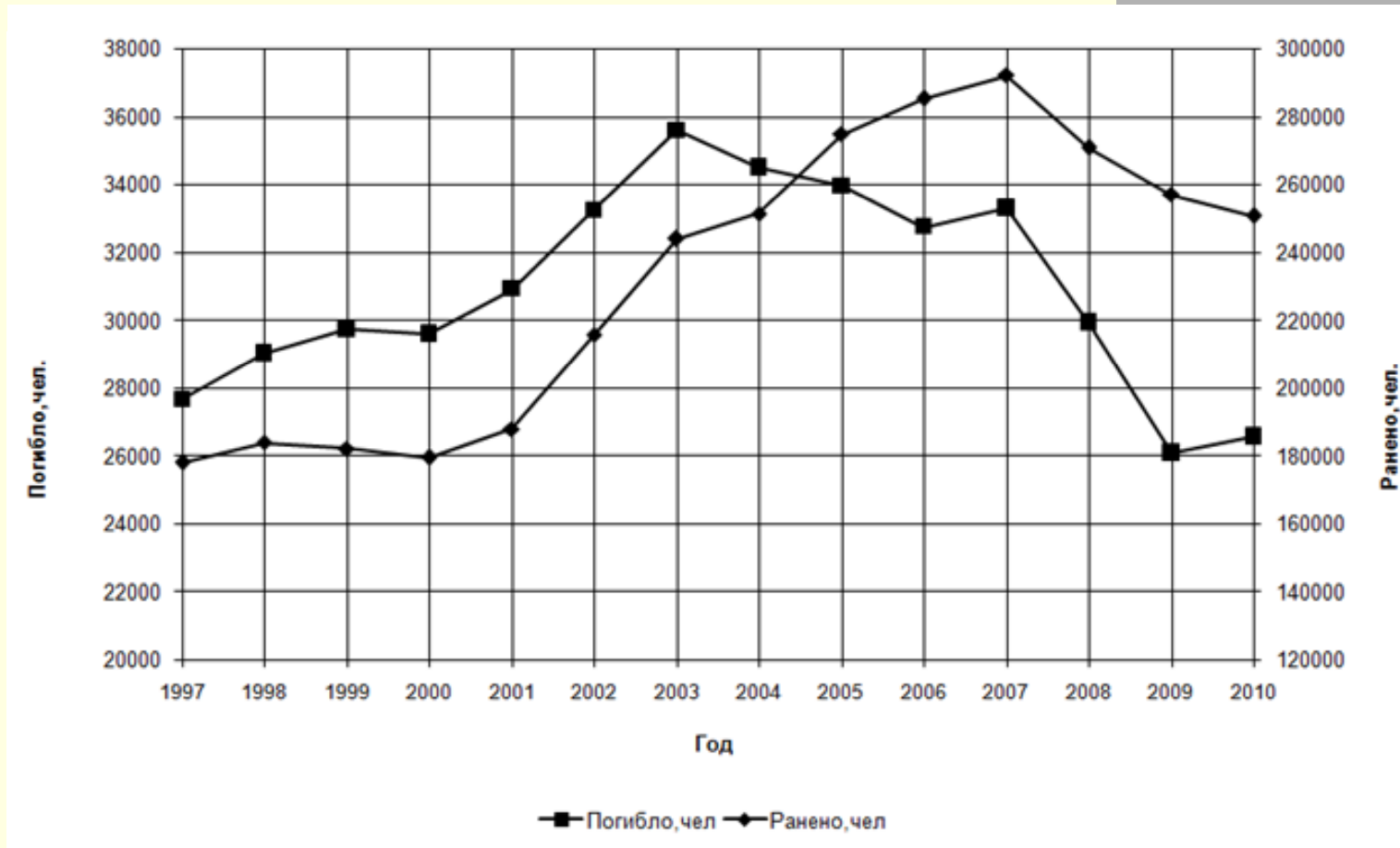


Рисунок 5. Динамика количества пострадавших от ДТП в РФ в 1997-2010 гг.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

По данным официальной статистики основной причиной ДТП является нарушение водителями правил дорожного движения. Доля ДТП в 2004 г. по причине неудовлетворительного состояния улиц и дорог составила 24,4 %, а из-за технической неисправности транспортных средств — 1,8%.

Таблица 1.1. Структура ДТП

Места совершения ДТП	Число ДТП в 2004 г.	Доля, %
Города и другие населенные пункты	148 713	71,3
Автомобильные дороги, всего	59 175	28,4
В том числе федеральные	19 783	9,5
Другие места	670	0,3

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

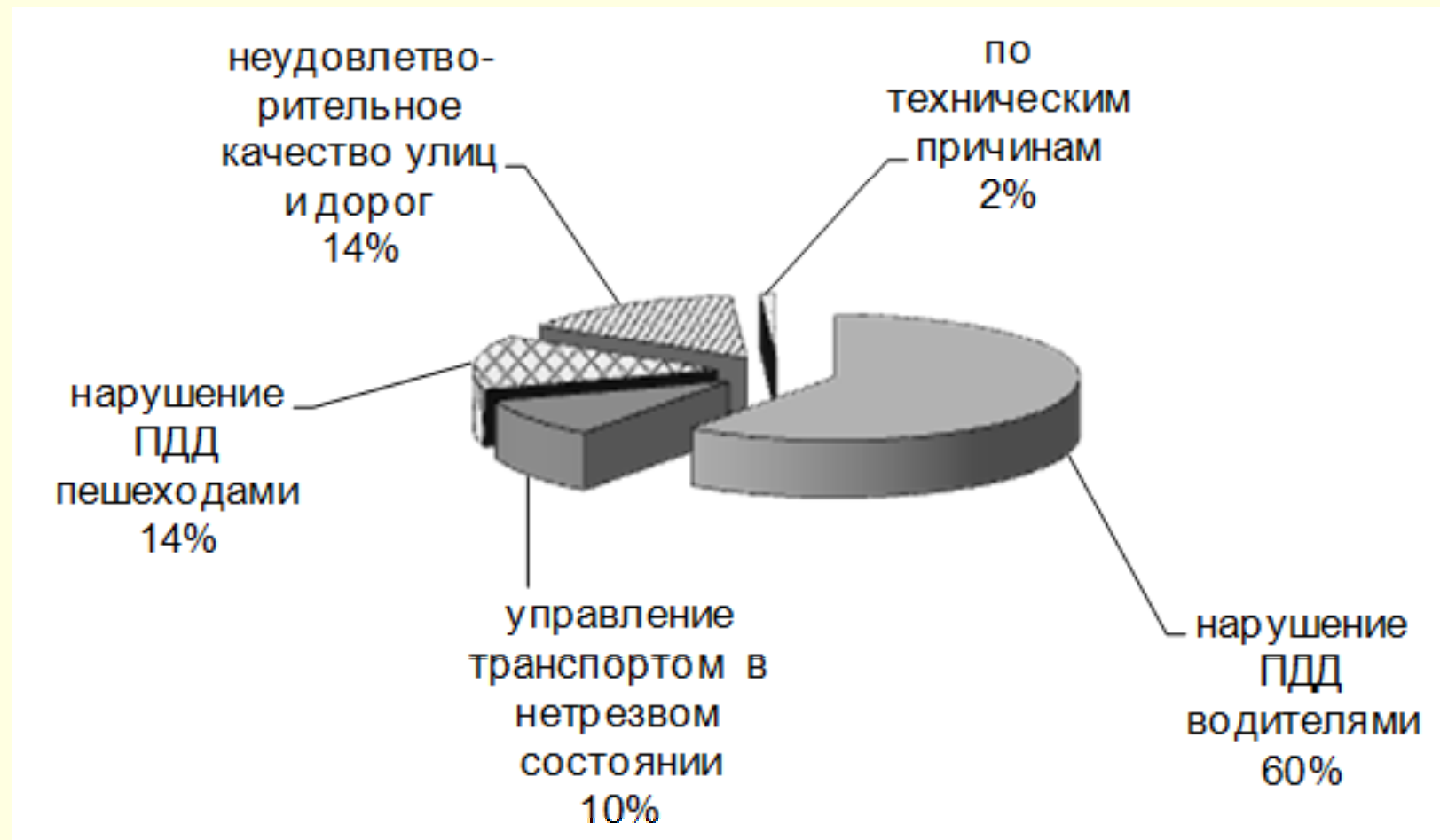


Рисунок 6. Основные причины возникновения ДТП

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Установлено, что влияние дорожных условий на процесс возникновения ДТП следует рассматривать в качестве фактора, стимулирующего ошибки водителей в выборе режима движения автомобиля, снижение надежности его работы ввиду неверного восприятия дорожных условий.

Самыми частыми причинами ДТП, обусловленными состоянием дорог, являются скользкость, недостаточная ровность покрытия и другие факторы, зависящие от уровня содержания дорог.



## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Анализ позволяет разделить причины каждого происшествия на группы по степени влияния:

- главная или основная причина, оказавшая наибольшее влияние на возникновение ДТП;
- активные причины или факторы (их обычно несколько), в значительной мере способствующие его возникновению;
- косвенные или второстепенные (их тоже, как правило, несколько), оказывающие незначительное влияние.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

---

Роль технического уровня и состояния дорог в безопасности движения особенно четко проявляется в неблагоприятные периоды года. Существуют определенные закономерности распределения числа ДТП по сезонам года.

Минимальное число происшествий отмечается зимой. Весной начинается их рост, который продолжается все лето и достигает максимума осенью, когда высокая интенсивность движения сочетается с неблагоприятными погодными условиями.

Количество происшествий при неблагоприятном состоянии дорог, вызванном действием различных метеорологических факторов, колеблется в широких пределах и зависит как от климата, так и от технического уровня и уровня содержания дорог.

## Лекция №2 – Социально – экономическая значимость эксплуатации автомобильных дорог

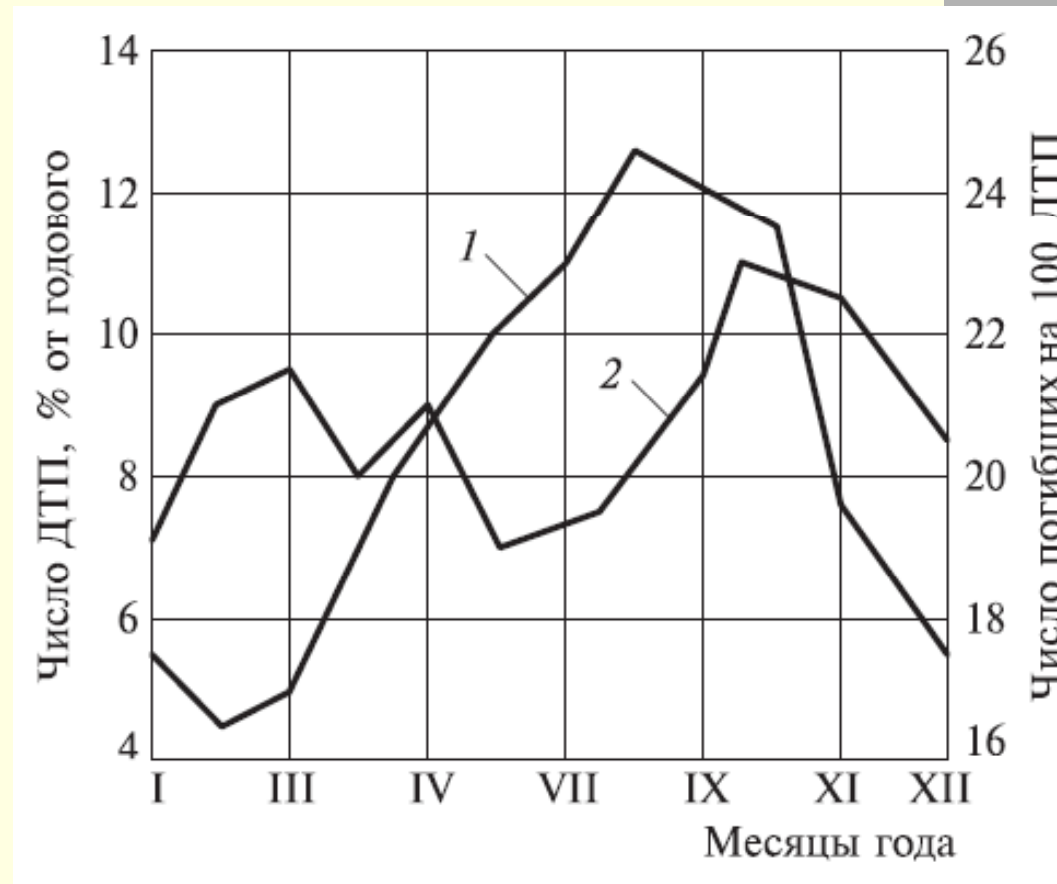


Рисунок 7. Распределение ДТП и числа погибших в результате ДТП по месяцам: 1 — число ДТП; 2 — число погибших на 100 ДТП

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

### **Модель взаимодействия комплекса водитель – автомобиль – дорога – среда**

Перемещение грузов и пассажиров по автомобильным дорогам — сложный производственный процесс с участием людей, автомобилей, дорожных сооружений и обустройств, на которые существенно влияют погодноклиматические условия. Эта совокупность может быть объединена в комплекс водитель – автомобиль – дорога - среда (ВАДС). В его структурной схеме можно выделить 12 прямых и обратных связей (1 - 12): водитель - автомобиль (ВА), автомобиль - водитель (АВ), автомобиль - дорога (АД), дорога - автомобиль (ДА) и другие (рисунок 1, а).

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

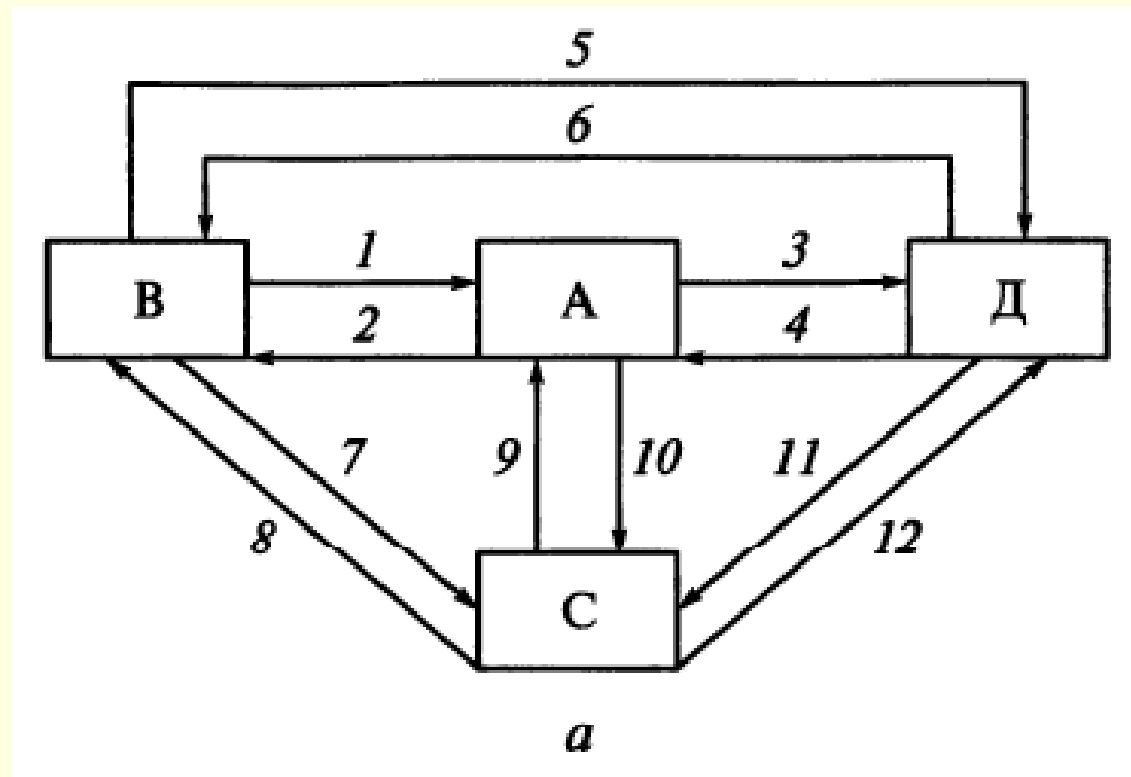


Рисунок 1а - Структура комплекса ВАДС:  
1—12 — связи; А — автомобиль; В — водитель;  
Д — дорога; С — среда.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

Комплекс ВАДС представляет собой иерархическую систему, в которой кроме парных связей между элементами и подсистемами существуют множественные связи, например ДАВ, СДА и т.д. (рисунок 1, б).

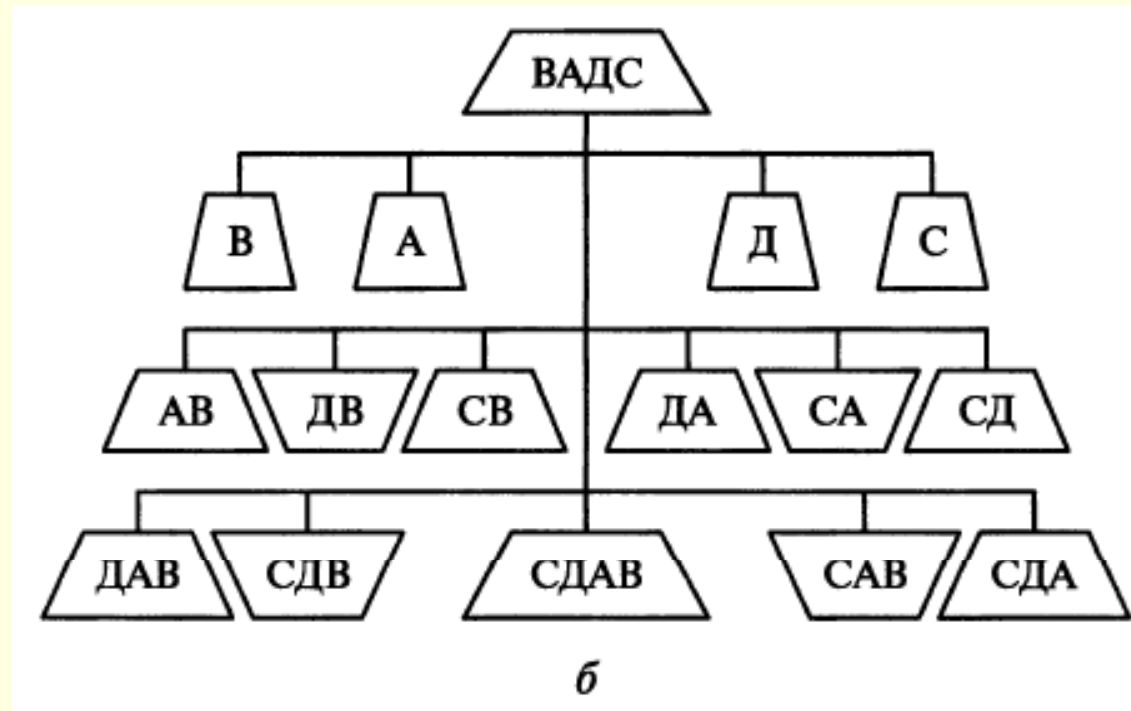


Рисунок 1б - Иерархия элементов и подсистем комплекса ВАДС:  
А — автомобиль; В — водитель; Д — дорога; С — среда.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Эти связи описывают взаимные воздействия элементов системы. При системном анализе взаимодействия комплекса ВАДС приняты следующие понятия и определения.

**Дорожные условия (ДУ)** — совокупность геометрических параметров и транспортно-эксплуатационных качеств дороги, имеющих непосредственное отношение к движению. Дорожные условия подразделяют на постоянные и переменные (временные и кратковременные) параметры и факторы.

**К постоянным** отнесены параметры и характеристики дорог, не меняющиеся в процессе эксплуатации или изменяющиеся очень редко (при реконструкции или капитальном ремонте): параметры продольного профиля, радиусы кривых в плане, длина прямых и кривых и др.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

***К переменным (временным или сезонным)*** отнесены параметры и характеристики дорог, изменяющиеся в результате сезонных колебаний метеорологических условий и качества содержания дороги: ровность и сцепные качества покрытия, фактическая ширина проезжей части и обочин, наличие и состояние съездов и пересечений, инженерного оборудования, видимость в плане и др.

***К переменным кратковременным*** отнесены факторы, влияющие на режим и безопасность движения в течение короткого времени — от нескольких часов до одного месяца: осадки, туман, гололед, ветер, метеорологическая видимость и др.



## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

**Транспортный поток (ТП)** — совокупность отдельных движущихся по дороге автомобилей, управляемых водителями.

Состояние **окружающей среды (С)** — совокупность метеорологических или погодных условий в данный момент. Правильнее рассматривать здесь всю окружающую природную среду, включая рельеф местности, ландшафт, растительность и животный мир, что существенно усложняет анализ. По отношению к каждому автомобилю дорожные условия, транспортный поток и окружающая среда составляют условия движения.

**Условия движения (УД)** — реальная обстановка на дороге, в которой движется автомобиль в данный момент: дорожные условия, транспортный поток и состояние окружающей среды.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

С учетом изложенного можно представить укрупненную схему структуры взаимодействия комплекса **ВАДС**, в которой главная роль принадлежит системе дорожные условия — транспортные потоки — **систему ДУ — ТП** (рисунок 1, в).

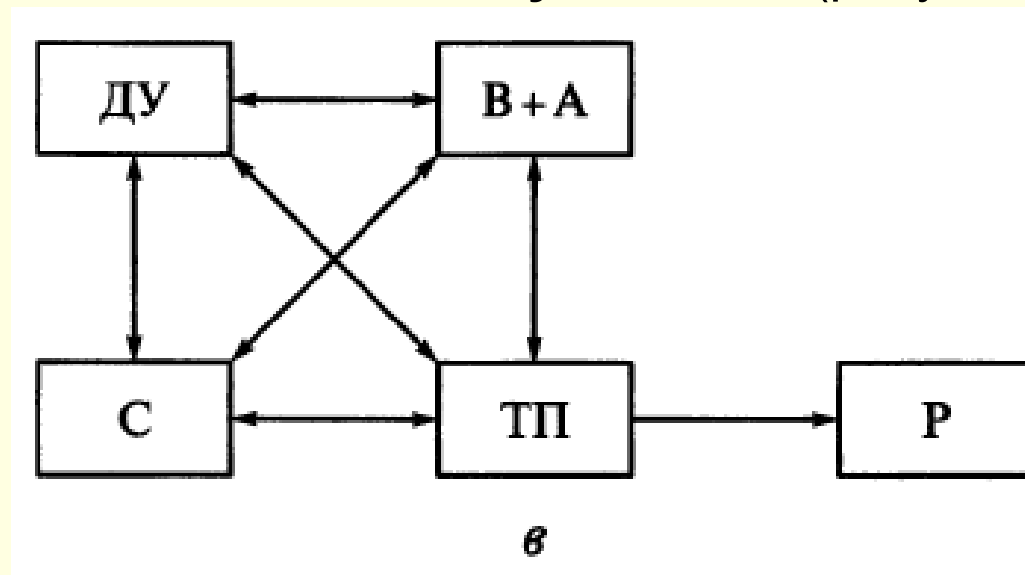


Рисунок 1в - Укрупненная структура взаимодействия комплекса ВАДС и системы ДУ—ТП: А — автомобиль; В — водитель; Д — дорога; ДУ — дорожные условия; С — среда; ТП — транспортный поток; Р — режим движения.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

**Режим движения** характеризуется скоростью одиночных автомобилей и всего потока, интервалами между автомобилями в потоке (плотностью потока), числом обгонов, перестроений и их траекториями, режимом разгонов и торможений.

**Режим движения** — главная выходная характеристика функционирования всего комплекса, которая интегрально отражает его эффективность и качество.

Режим движения  $i$ -го автомобиля можно представить как функцию

$$P_i = f(V_i; A_i; D; C),$$

где  $V_i, A_i$  — параметры, характеризующие данные водителя и автомобиля;  $D, C$  — параметры, характеризующие соответственно дорогу и среду.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

### **Теоретические основы управления состоянием и функционированием автомобильных дорог**

*Подсистема **водитель — автомобиль (ВА)*** характеризует эргономическую связь человека с автомобилем. Ее изучение позволяет установить оптимальные условия для водителя и пассажира в процессе движения автомобиля, а также в выборе режима этого движения.

*Подсистема **автомобиль — дорога (АД)*** и ее обратная связь являются важнейшим звеном всего комплекса с позиции изучения влияния на состояние дороги в процессе эксплуатации и эффективности этого взаимодействия.

Это исследование позволяет оценить напряженно-деформируемое состояние дорожной одежды, образование деформаций и разрушений и составляет основу теории эксплуатации дорог.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

Анализ подсистемы АД позволяет прежде всего углубить наши знания о динамике взаимодействия автомобиля с неровной ездовой поверхностью и установить зависимость скорости движения от амплитудно-частотной характеристики автомобиля и статистических характеристик микропрофиля покрытий.

Изучение этой зависимости позволяет оценить влияние ровности покрытий в различных природных условиях на скорость движения и обосновать допустимую ровность для дорог различных категорий.

Изучение подсистемы АД дает возможность совершенствовать одну из важнейших проблем эксплуатации дорог — изучение причин образования деформаций и разрушений одежд с учетом динамических нагрузок, частоты и времени их действия, усталостных явлений в слоях одежды и обосновать предельное состояние одежд и покрытий, при котором движение автомобилей с заданными скоростями и нагрузками становится невозможным или неэкономичным.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

Анализ подсистемы АД является основой для совершенствования такой важной проблемы, как работоспособность и межремонтные сроки службы.

Нормирование этих сроков имеет народнохозяйственное значение. От периодичности ремонтов зависит эффективность распределения и использования капиталовложений, планирование и финансирование работ по содержанию, ремонту и реконструкций.

Подсистемы **дорога — водитель (ДВ) и среда — водитель (СВ)** базируются на психофизиологических особенностях водителей и исследовании влияния дороги и окружающей среды на их состояние в процессе движения автомобилей.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Каждый элемент дороги и окружающей среды несет ту или иную информацию и вызывает у водителей эмоциональную реакцию  $\mathcal{E}_i$ , которая суммируется в общее эмоциональное напряжение  $\mathcal{E}_0$ .

Водитель, анализируя ситуацию, избирает такой режим движения, который обеспечивает минимальное напряжение и максимальную безопасную скорость  $v$ . Поэтому изучение зависимости  $v=f(\mathcal{E}_0)$  позволит решать различные задачи по рациональному обустройству дорог — расстановке дорожных знаков, уширению проезжей части, архитектурному оформлению и др.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

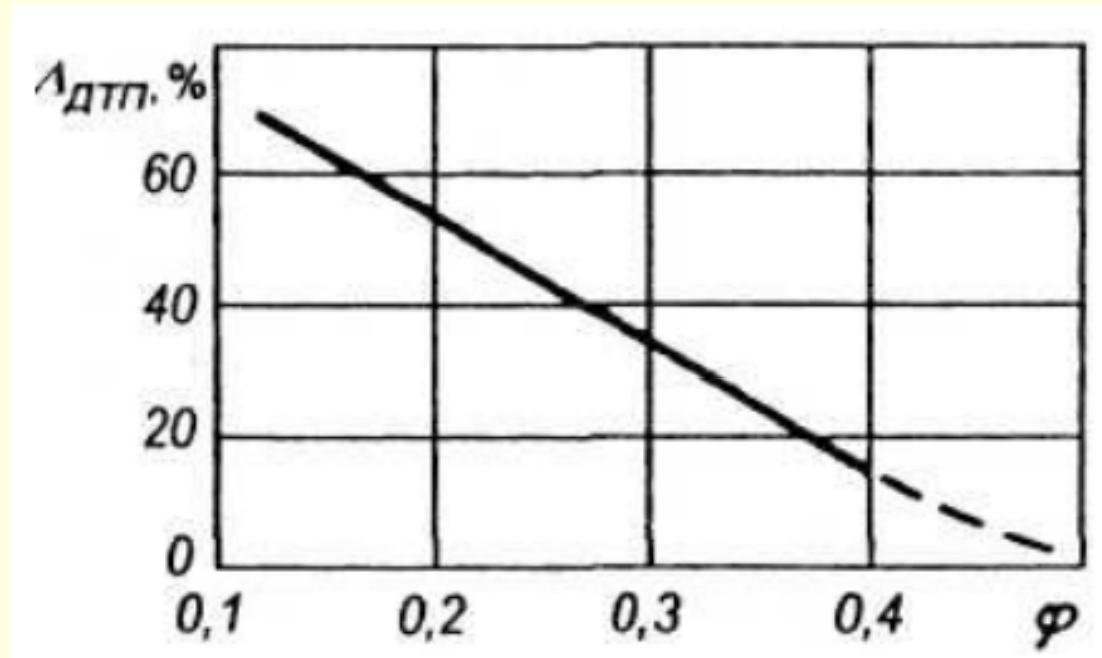


Рисунок 2 – Зависимость частоты возникновения ДТП от коэффициента сцепления  $\varphi$ :

$\Delta_{дтп}$  - доля ДТП, связанных со скользким дорожным покрытием.



## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

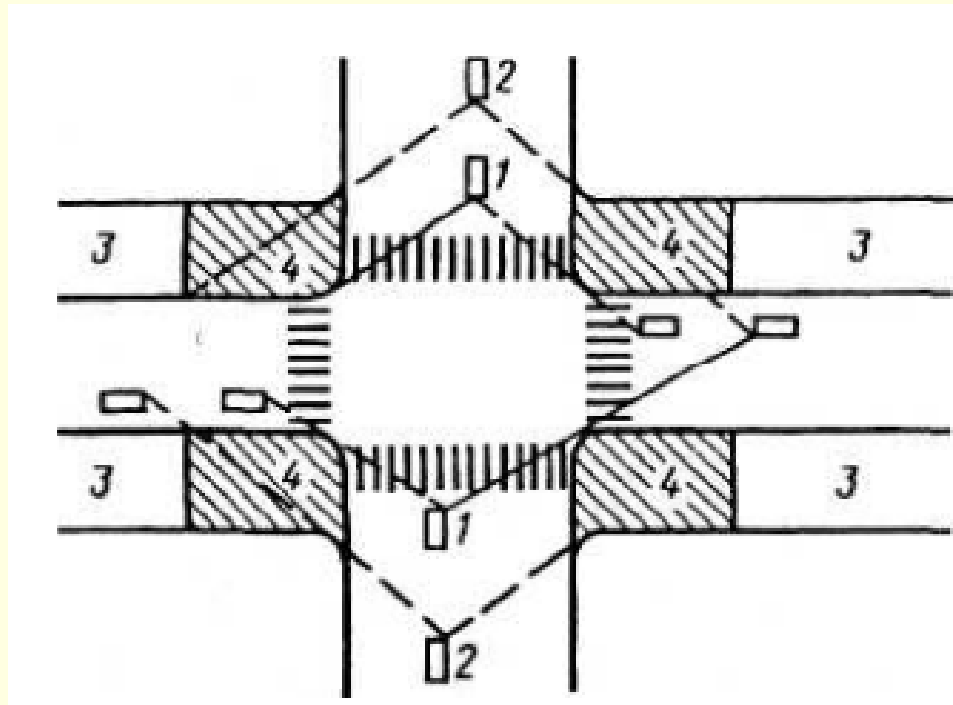


Рисунок 3 – Видимость на перекрестке при наличии снежных валов: 1 и 2 – автомобили, видимость у водителей которых ограничена соответственно несрезанным и частично срезанным снежными валами; 3 – снежные валы; 4 – участки частичного удаления вала.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

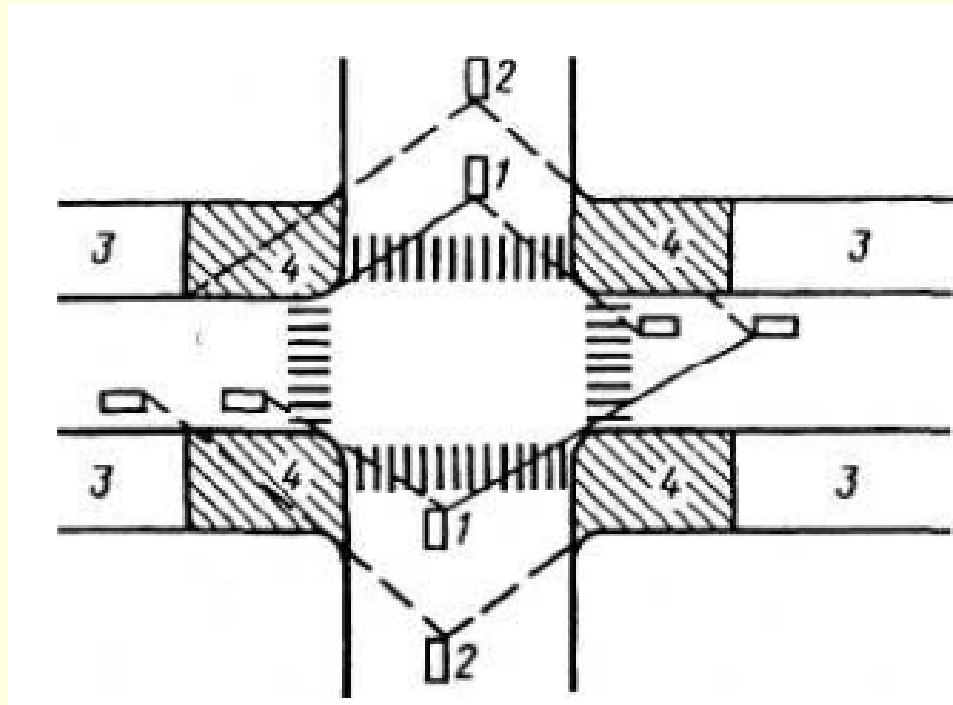


Рисунок 3 – Видимость на перекрестке при наличии снежных валов: 1 и 2 – автомобили, видимость у водителей которых ограничена соответственно несрезанным и частично срезанным снежными валами; 3 – снежные валы; 4 – участки частичного удаления вала.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Анализ этих подсистем открывает перспективу совершенствования одной из важнейших проблем эксплуатации дорог — безопасности движения. На основе исследования зависимости скорости от эмоционального напряжения можно установить максимальные безопасные скорости движения в различных дорожных ситуациях и погодных условиях и обосновать системы показателей оценки этих условий.

Подсистемы ВС, АС и ДС отображают воздействия человека, автомобиля и дороги на окружающую среду. Анализ этих подсистем имеет огромное значение для изучения таких важных проблем, как транспортный шум, загрязнение воздуха, охрана природы и др.

Подсистемы СД и СА являются тепломассообменными моделями системы. Они базируются на анализе взаимодействия природных комплексов (прежде всего климата) с дорогой и автомобилем.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Исходя из анализа взаимодействия систем комплекса ВАДС в качестве теоретической базы управления состоянием и функционированием дорог можно выделить следующие положения:

- несмотря на существенные изменения, происходящие в процессе функционирования как в отдельных элементах комплекса ВАДС, так и во взаимодействиях его систем, конечные результаты (производительность, пропускная и провозная способность дорог, себестоимость перевозки, удобство и безопасность движения) могут быть постоянными или колебаться в заданных пределах в любых природно-климатических условиях;

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

- взаимодействие систем комплекса ВАДС — управляемый процесс, причем управляемым является общее функционирование комплекса и взаимодействие его отдельных систем;
- эксплуатационные качества системы «дорожные условия» также управляемы и могут быть обеспечены в заданных пределах независимо от природно-климатических условий;
- транспортно-эксплуатационные характеристики дорог определяются на этапе проектирования и должны поддерживаться на заданном уровне в процессе эксплуатации.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

### Комплекс ВАДС как система массового обслуживания

В управлении функционированием комплекса ВАДС и его основных подсистем может быть использована теория массового обслуживания.

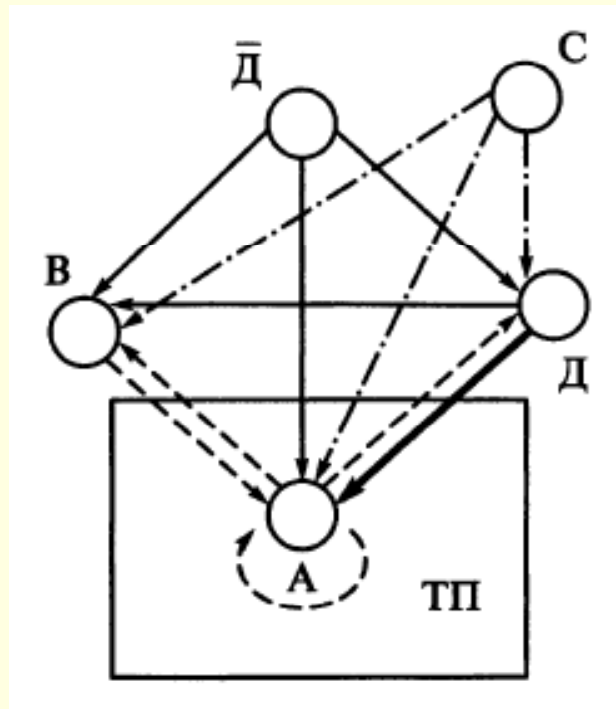


Рисунок 4. Граф комплекса ВАДС как системы массового обслуживания:

→ — I уровень обслуживания; → — II уровень обслуживания; ----- — взаимодействия; -·-·-·- — помехи со стороны окружающей среды;  $\bar{Д}$  — дорожно-эксплуатационная служба и другие виды обслуживания; остальные обозначения см. на рис. 2.1

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Автомобильная дорога может быть рассмотрена как аппарат обслуживания, а процесс обеспечения дорожными условиями движения транспортных потоков — как процесс обслуживания.

На существующей дороге:

- посредством аппарата обслуживания Д происходит самообслуживание клиентов АВ, т.е. автомобилей, водителей и пассажиров;
- в процессе обслуживания происходит ухудшение параметров всех участников процесса, т. е. износ аппарата обслуживания Д и расход ресурса в подсистеме АВ (утомление водителя, расход топлива, износ автомобиля и повышение вероятного спроса на техническое обслуживание автомобиля);

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

- среда изменяет (как правило, ухудшает) параметры аппарата обслуживания и характер процесса обслуживания;
- главным источником улучшения параметров системы с фактическими характеристиками является деятельность дорожно-эксплуатационной службы и других видов обслуживания (автосервис, ГИБДД МВД России и др.) Д, компенсирующая расход ресурсов во всех подсистемах.

Бытовое обслуживание пополняет ресурсы водителя (В), различные виды технического обслуживания пополняют ресурсы автомобиля (А), организация движения способствует улучшению взаимодействия автомобилей в транспортном потоке (ТП), дорожная служба улучшает характеристики аппарата обслуживания (дорожных условий — ДУ) мероприятиями по текущему содержанию и ремонту или реализует крупные мероприятия, требующие единовременных затрат, т. е. осуществляет реконструкцию дороги.



## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

Таким образом, это позволяет считать комплекс ВАДС двухуровневой децентрализованной системой обслуживания: обслуживание движения (I уровень) и компенсация расхода ресурса во всех подсистемах (II уровень).

Каждому взаимодействию I или II уровня присущ свой вектор пропускных способностей аппарата обслуживания (мощность или производительность, т.е. ресурсы):

$\lambda(\bar{D} \Rightarrow TP)$  — пропускная способность дороги при данном составе транспортного потока в эталонных условиях;

$\lambda(\bar{D} \Rightarrow D)$  — возможности (производительность) дорожной службы по проведению работ определенного вида (например, снегоочистка, борьба с гололедом и др.);

$\lambda(\bar{D} \Rightarrow A)$  — пропускные способности различных линий технического обслуживания автомобилей;

$\lambda(\bar{D} \Rightarrow B)$  — пропускные способности различных видов бытового обслуживания;

$\lambda(\bar{D} \Rightarrow TP)$  — возможности дорожных служб по проведению различных мероприятий по организации движения.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

Технико-экономическую задачу об оптимальных условиях функционирования комплекса ВАДС можно решать в следующей последовательности:

1) производят параметризацию и разбиение пространства (ТП, С), т.е. определяют, какими параметрами следует характеризовать транспортный поток и окружающую среду, возможные пределы их колебаний и степень детализации их членения.

Например, пространство (ТП, С) может быть описано координатами  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  и т.д., где  $\alpha_1$  — интенсивность движения;  $\alpha_2$  — доля легковых автомобилей в потоке;  $C_1$  — фактор температур воздуха;  $C_2$  — фактор гололеда;  $C_3$  — фактор дождя;  $C_4$  — фактор снегопада и т.д.;

2) оценивают численные значения (ТП, С), т.е. описывают изменения интенсивности движения по сезонам года и по состоянию погоды внутри сезонов;

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

3) намечают конкурирующие варианты мероприятий на данном участке дороги и определяют стоимости для каждого варианта, включая и нулевой. Для существующей дороги за нулевой принимают вариант без дополнительных капиталовложений, а для проектируемой — вариант с минимальными капитальными затратами;

4) приращение штрафной функции  $\Delta F$  в каждой точке пространства (ТП, С) определяют с учетом потерь от снижения скоростей движения и от увеличения ДТП при ухудшении условий по сравнению с эталонными);

5) выбрав сроки сравнения и коэффициенты приведения, определяют значения приведенных (дисконтированных) затрат.

Таков путь определения технико-экономической эффективности мероприятий по улучшению взаимодействия комплекса ВАДС и его подсистем, а также путь эффективного управления транспортными потоками и транспортно-эксплуатационными характеристиками дорог.

Улучшения функционирования дороги можно добиться также оперативными методами — с помощью управляющих воздействий на транспортный поток (например, регламентированием скоростей движения, состава потока, рядности, управлением въездами и др.).

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

### **Модель управления системой дорожные условия — транспортные потоки**

Комплекс ВАДС и систему ДУ—ТП можно рассматривать как децентрализованную систему обслуживания со случайными стохастическими входами.

К этим входам относят спрос на пользование дорогами со стороны транспортного потока, т.е. его интенсивность и состав движения  $N = f(TП)$ , а также возмущающие воздействия окружающей среды  $\omega = f(C)$ .

Модель двухуровневого управления функционированием системы ДУ—ТП включает в себя стратегическое (программное), и оперативное (текущее) управление.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

Модель состоит из следующих основных блоков (рисунок 5):

1 — нормативные характеристики параметров дороги (НПД);

2 — проектные характеристики параметров дороги (ППД);

3 — сумматор (сравнитель) первого уровня управления;

4 — блок выбора оптимальных управляющих решений I уровня (ОУ I);

5 — нормативные характеристики состояния дорог (НСД);

6 — фактические характеристики состояния дороги (ФСД);

7 — сумматор II уровня управления;

8 — блок выбора оптимальных решений II уровня (ОУ II).

# Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

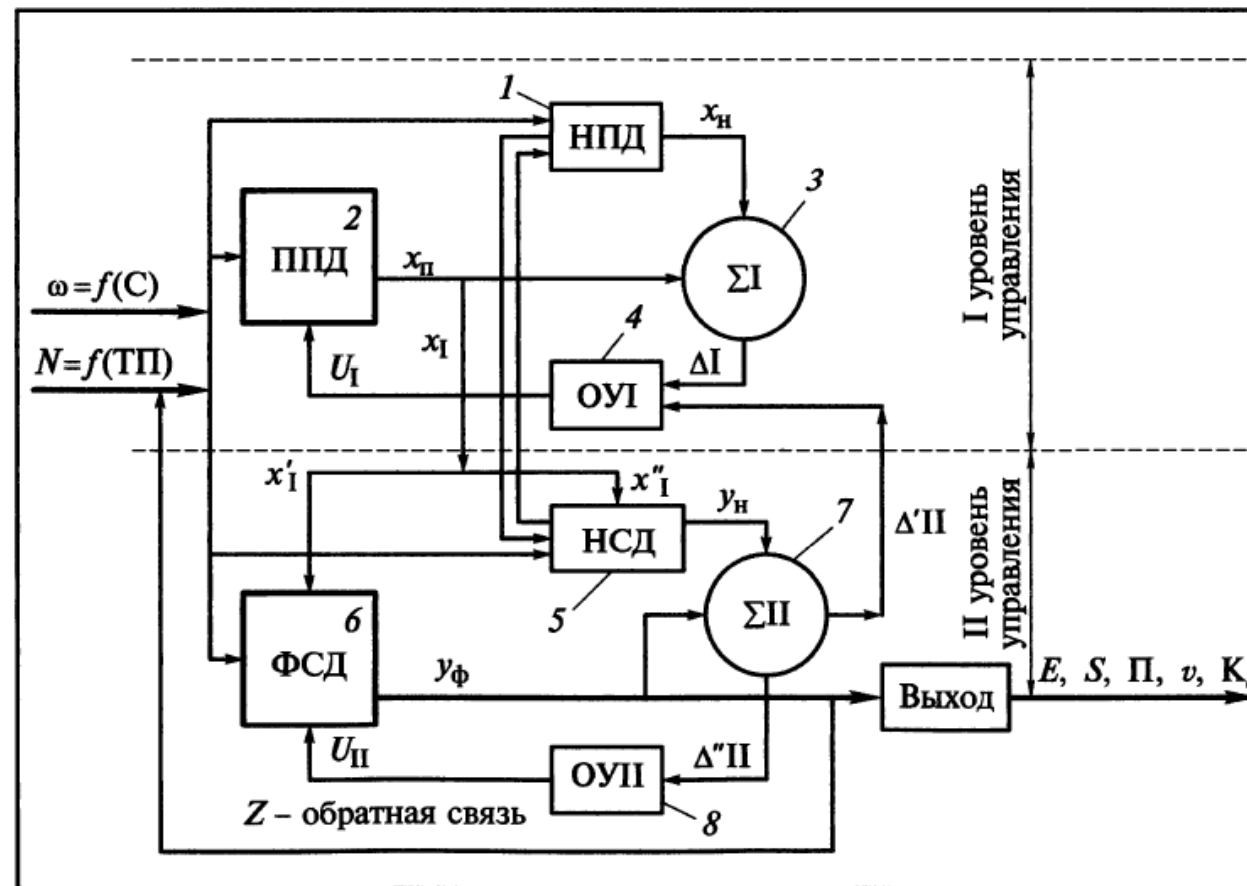


Рисунок 5. Модель двухуровневого управления функционированием системы ДУ—ТП

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

***I уровень управления (стратегическое, или программное) системой ДУ—ТП состоит в назначении и выборе параметров и характеристик дороги на стадии проектирования и полноте реализации этих решений в процессе строительства или реконструкции.***

Сюда же входит обоснование мощности и ресурсов дорожно-эксплуатационной службы для обеспечения требуемого уровня содержания дороги исходя из принятых проектных решений в конкретных условиях эксплуатации дороги.



## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

***II уровень управления (оперативное, или текущее) состоит в назначении и реализации мероприятий по содержанию и ремонту дороги, организации и обеспечению безопасности движения в период эксплуатации.***

Большое влияние на эффективность второго уровня управления оказывают основные параметры и характеристики дороги, принятые на первом уровне ( $x'_1$  и  $x''_1$  — принятые на I уровне и влияющие на фактическое состояние и нормативные требования к состоянию дороги).



## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

---

**Выходными характеристиками модели управления являются конечные показатели функционирования комплекса ВАДС и системы ДУ—ТП:**

- **приведенные затраты (E);**
- **себестоимость перевозок (S);**
- **производительность автомобилей (П);**
- **скорость (v);**
- **безопасность движения ( $K_a$ ) и др.**

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

### ***Алгоритм управления системой ДУ—ТП.***

На основе анализа многолетнего опыта работы дорог с различной интенсивностью движения в различных природно-климатических условиях разрабатывают технические нормативы и требования проектирования дорог (ГОСТ, СНиП), которые должны обеспечивать принятые в нормах выходные характеристики функционирования системы ДУ—ТП (вектор  $x_1$ ).

Эти выходные характеристики могут быть обеспечены только при определенных нормативах содержания дорог и организации движения (НСД), которые принимаются в проекте.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

На стадии проектирования исходя из перспективной интенсивности и состава движения (вектор  $N = f(TП)$ ) и погодных-климатических условий (вектор  $\omega = f(C)$ ) определяют фактические проектные параметры дороги (ППД), которые должны обеспечивать проектные выходные параметры функционирования комплекса (вектор  $x$ ).

Проектирование обычно идет методом подбора оптимального варианта и определения рассогласования

$\Delta I = x_n - \bar{x}$ , т.е. отличия проектных значений выходных параметров от нормативных.

При наличии этого рассогласования принимают оптимальное управляющее воздействие I уровня ОУТ, т.е. вносят коррективы в проектные решения.

## Лекция №3 – Системный подход к эксплуатации дорог и управлению их функционированием

На II уровне управления исходя из фактического технического уровня построенной дороги (векторы  $x_1, x'_1, x''_1$ ), фактической интенсивности и состава движения, реальных погодных-климатических условий и уровня содержания дороги формируется ее фактическое состояние (ФСД) и выходные характеристики функционирования комплекса ВАДС (вектор  $y$ ). Сравнивая эти характеристики с нормативными (вектор  $y_\phi$ ), в блоке 7 определяют рассогласование второго уровня управления  $\Delta''_{II} = y_n - \bar{y}_\phi$ . В зависимости от его величины назначают управляющее воздействие второго уровня ( $U_{II}$ ) или первого уровня ( $U_I$ ).

Между выходными характеристиками и вектором спроса  $N$  есть обратная связь  $Z$ . Чем лучше дорога, тем больше она привлекает водителей, и наоборот.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

### Основные показатели взаимодействия автомобиля с дорогой

В курсе «Эксплуатация автомобильных дорог» рассматриваются только вопросы взаимодействия автомобилей с поверхностью дороги, воздействия автомобилей на ее состояние и обратное воздействие транспортно-эксплуатационных характеристик дороги и ее состояния на режим работы автомобилей.

Указанное взаимодействие можно характеризовать следующими основными показателями:

*размером нагрузки; средним давлением по площади отпечатка колеса; частотой приложения нагрузки; прогибом дорожной одежды; сопротивлением качению; сцеплением колеса с покрытием, ровностью покрытия и его состоянием.*

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

### Основные показатели взаимодействия автомобиля с дорогой

В движении автомобиль многократно повторяет определенный набор состояний: стоянка или остановка, разгон, режим тяги или выбега (свободного качения), режим торможения и т.д.

Каждое из этих состояний характеризуется свойственным ему сочетанием таких показателей, как скорость движения, ускорение (положительное или отрицательное), крутящий момент на валу двигателя, угловая скорость вращения колес и др. (таблица 1).

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Таблица 1. Динамические показатели режима работы автомобиля

Режим работы автомобиля	Динамические показатели			
	Скорость движения	Ускорение	Крутящий момент	Угловая скорость вращения колес
Остановка или стоянка	0	0	0	0
Трогание с места и разгон	в	в	в	в
Выбег (свободное качение)	у; п; в	у; п; в; 0	п	у; п; в
Качение с пробуксовыванием	у; п	у; 0	у; п; в; 0	у; п; в; 0
Полное пробуксовывание	0	0	у; п; в; 0	0
Торможение:				
без скольжения	у	у	у; п	у
с проскальзыванием	у	у	у; п	у
скольжение без качения (полная блокировка)	у	у	0	0

Примечание. у — уменьшается; п — постоянное; в — возрастает; 0 — равно нулю.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

### Схема сил, передаваемых на дорогу от колеса автомобиля и сопротивления качению

На дорогу от колес автомобиля передаются статические нагрузки при остановке автомобилей и кратковременные или динамические при движении.

При статическом загрузении (остановка автомобиля) колесо передает на покрытие нагрузку  $Q$ . *Нормальная реакция дороги  $R = Q$  приложена в центре следа колеса. В этом случае взаимодействие автомобиля с дорогой можно характеризовать колесной нагрузкой  $Q$ , площадью отпечатка пневматического колеса  $S$ , средним контактным давлением  $p = Q/S$ .*



## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

### Схема сил, передаваемых на дорогу от колеса автомобиля и сопротивления качению

Различают площадь отпечатка колеса по контуру в форме эллипса и по выступам протектора. Для упрощения в расчетах принимают площадь отпечатка не в форме эллипса, а в форме круга с приведенным по площади отпечатка диаметром

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{p}}$$

*Эти две основные характеристики  $p$  и  $D$  или их произведение  $pD$  определяют взаимодействие автомобилей с дорогой.*

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

### Схема сил, передаваемых на дорогу от колеса автомобиля и сопротивления качению

Под действием вертикальной нагрузки шина колеса деформируется, при этом величина сжатия  $U$  пропорциональна величине колесной нагрузки:

$$U = K'_ж Q,$$

где  $K'_ж$  — коэффициент, учитывающий упругость шины колеса.

Чем выше  $U$ , тем больше площадь отпечатка и меньше удельное давление.

# Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

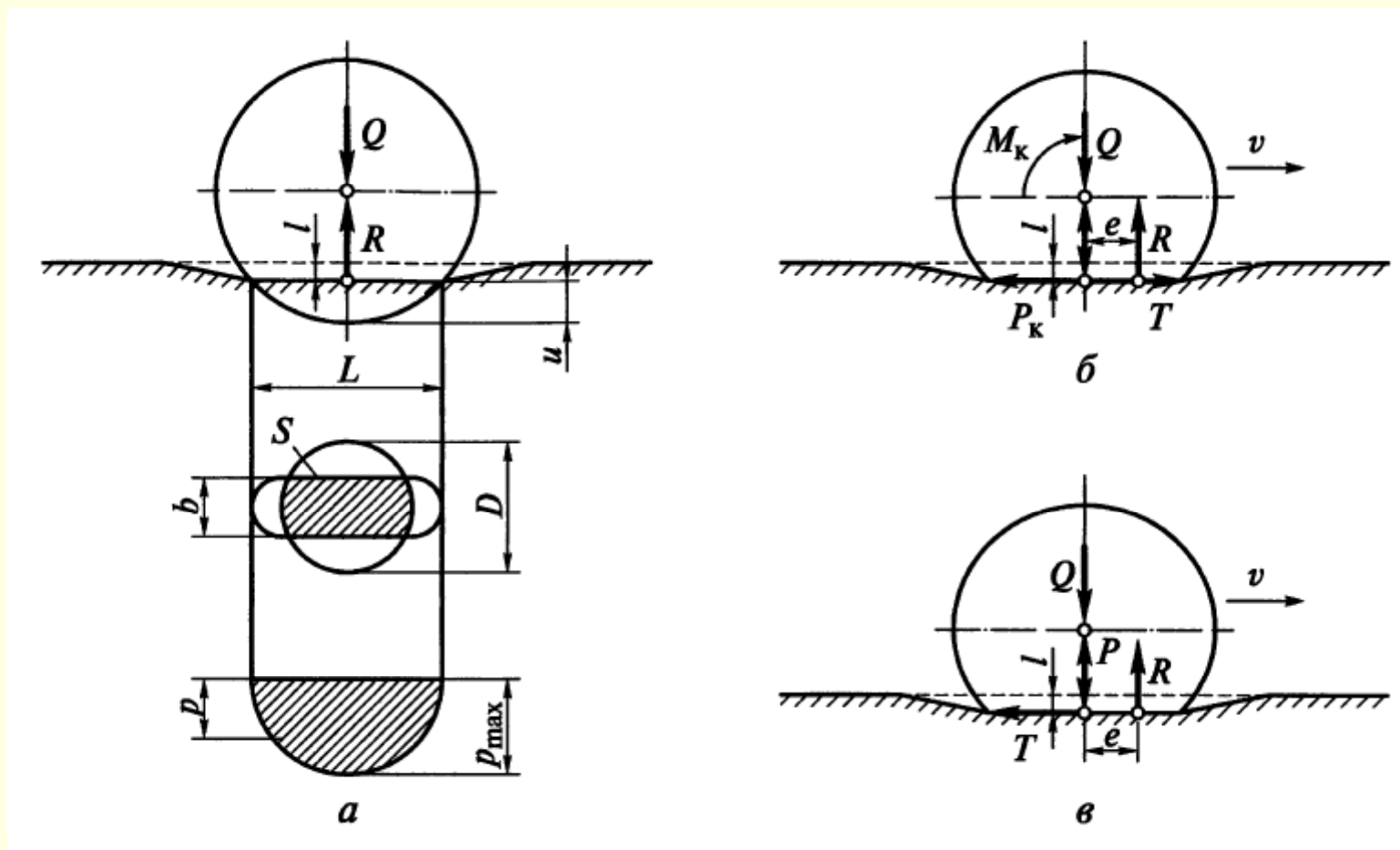


Рисунок 1. Схема сил, передаваемых на дорогу от колес:

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

*a — неподвижного;*

*б — ведущего;*

*в — ведомого;*

*p — удельное давление на покрытие от колеса автомобиля;*

*$p_{max}$  — максимальное удельное давление на покрытие от колеса автомобиля;*

*u — сжатие автомобильной шины;*

*l — прогиб дорожной одежды под колесом автомобиля;*

*e — смещение точки приложения реакции R;*

*D — условный диаметр круга отпечатка, заменяющего эллипс в зоне контакта шины с покрытием;*

*$P_k$  — сила тяги на ободу колеса автомобиля;*

*T — сила трения;*

*P — сила сопротивления качению*

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

При движении ведущего колеса на него, кроме нагрузки  $Q$  и нормальной реакции  $R$ , действует крутящий момент  $M_K$ , вызывающий в плоскости следа окружную силу (силу тяги)  $P_K$ , направленную в сторону, обратную движению:

$$P_K = \frac{M_K}{r_K},$$

где  $r_K$  — радиус качения шины колеса.

Сила  $P_K$  вызывает горизонтальную реакцию  $T = P_K$ , вследствие чего происходит движение. Это реактивная сила, или **сила трения**.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

**Сопротивление качению.** На горизонтальном участке основная часть силы тяги расходуется на преодоление сил сопротивления качению  $R$ , которые оцениваются затратой энергии на деформирование  $L$  дорожной конструкции и сжатие шины колеса  $U$ .

Показателем сопротивления качению считается коэффициент сопротивления качению  $f = F/Q$ . Эту величину можно определить следующим образом:

$$f = \frac{l}{r_k},$$

где  $l$  — смещение точки приложения нормальной реакции.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Величина  $f$  зависит от колесной нагрузки  $Q$ , давления воздуха в шинах  $p_b$ , размеров колес и эластичности шины, скорости движения, прочности одежды, ровности покрытий и является важной характеристикой взаимодействия автомобиля с дорогой.

Кроме того, при увеличении скорости деформации возрастает внутреннее трение в шине. Значение коэффициента сопротивления качению для любой скорости может быть определено по формуле:

$$f_v = f_{20} + K_f(v - 20),$$

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОВОЙ

---

где  $f_{20}$  — коэффициент сопротивления качению при скорости 20 км/ч;

$K_f$  — коэффициент повышения сопротивления качению, зависящий от скорости движения автомобиля.

Для легковых автомобилей  $K_f = 0,00025$ , для грузовых  $K_f = 0,0002$ ;

$v$  — скорость, для которой определяют коэффициент сопротивления качению, км/ч.



## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

---

Поверхность покрытия всегда имеет неровности, которые оказывают большое влияние на условия движения автомобилей и водителей и, как следствие, на скорость движения.

Одна из причин снижения скорости — рост сопротивления качению, которое может возрасти на неровных покрытиях в 2 — 3 раза.

*Увеличение шероховатости покрытия приводит к росту коэффициента сопротивления качению в среднем на 4 % на 1 мм высоты неровностей шероховатости на асфальтобетонных покрытиях и на 13 % на цементобетонных.*

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

По данным А.К. Бируля, коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля по неровной поверхности:

$$f = 0,01 + 1,2 \cdot 10^{-8} S_c v^2,$$

где  $S_c$  — показатель ровности по толчкомеру, см/км;  $v$  — средняя скорость автомобиля, км/ч.

Наличие воды на покрытии приводит к увеличению сопротивления качению примерно на 5 % на каждый миллиметр ее толщины:

$$f = f_0 (1 + 0,05 h_B),$$

где  $f_0$  — коэффициент сопротивления качению сухого покрытия;  $h_B$  — толщина слоя воды и грязи на покрытии, мм.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

**Коэффициент трения и коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием.**

Реализация силы тяги ведущим колесом зависит от значения трения между шиной колеса и поверхностью дороги:

$$T = \varphi_T R \text{ или } T = \varphi_T Q_K,$$

где  $\varphi_T$  — коэффициент трения протектора шины по дорожной поверхности;  $Q_K$  — нагрузка на колесо автомобиля.

Сила трения при торможении колеса может быть определена через площадь контакта шины с покрытием:

$$T = S \varphi_T K_{\text{ж}} \rho_{\text{в}},$$

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

где  $T$  — сила трения колеса с покрытием;  $S$  — площадь контакта колеса с покрытием;  $\varphi_T$  — коэффициент трения протектора шины с покрытием;  $K_{ж}$  — коэффициент жесткости шины;  $p_e$  — давление воздуха в шине.

В дорожной практике вместо понятия силы сцепления применяют понятие коэффициента сцепления:

$$\varphi = \frac{T}{Q_k}.$$

Коэффициентом сцепления называют отношение реактивной силы, действующей на колесо автомобиля в плоскости его контакта с покрытием, к вертикальной нагрузке, передаваемой колесом на покрытие.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

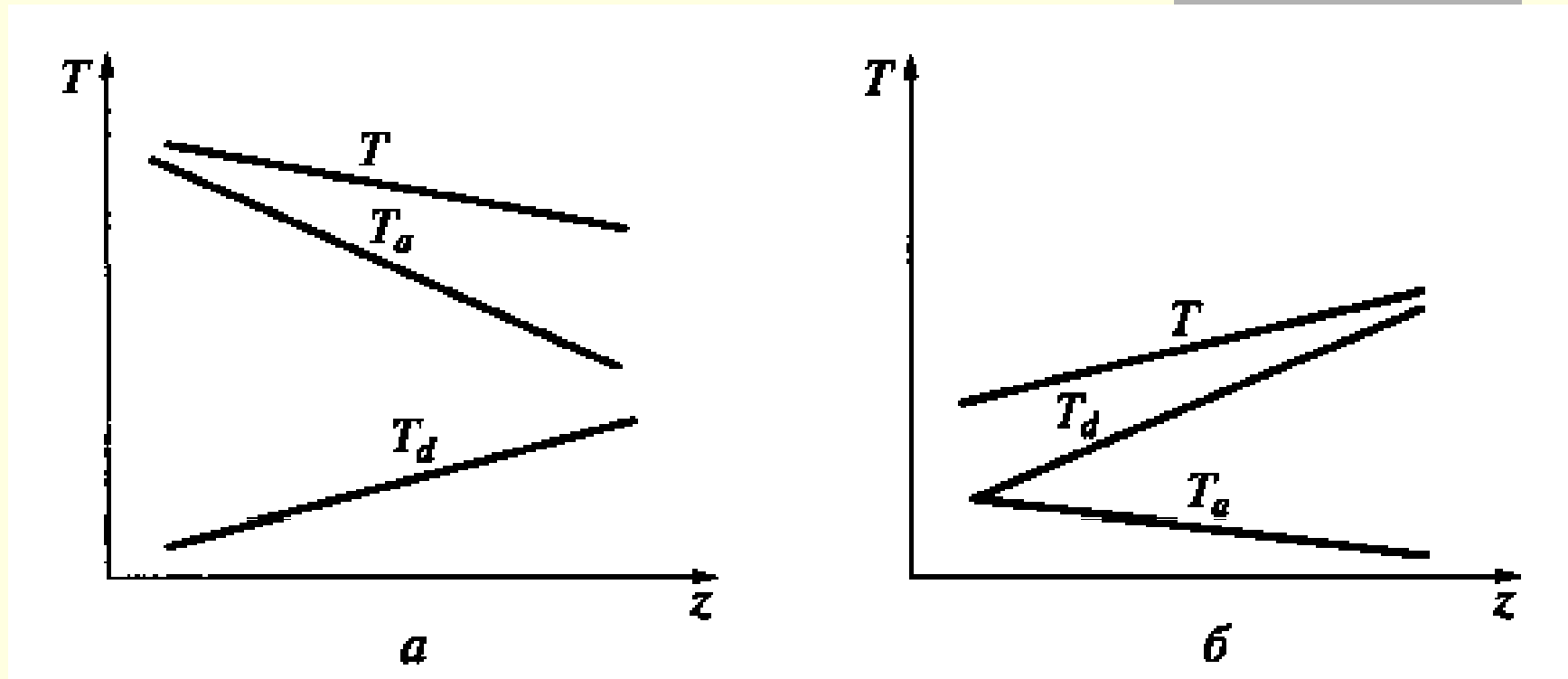


Рисунок. Зависимость адгезионной ( $T_a$ ) и деформационной ( $T_d$ ) долей силы трения ( $T$ ) от шероховатости покрытия:

$a$  — на сухом покрытии;  $б$  — на мокром покрытии;  
 $z$  — высота выступов шероховатости

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

---

**Адгезионные силы** — это силы слипания (склеивания) поверхностей двух разнородных твердых тел, в данном случае поверхности шины колеса и дорожного покрытия.

**Адгезионная составляющая** является результатом молекулярного взаимодействия контактирующих материалов. Ее значение зависит от материала дорожного покрытия (например, асфальтобетон или цементобетон) и продолжительности контакта (т.е. скорости движения взаимодействующей пары относительно друг друга).

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Деформационная составляющая формируется в результате затрат энергии на взаимную деформацию контактирующих тел выступами неровностей, находящимися на их поверхности.

На сухих дорожных покрытиях сила трения в контакте шины формируется в основном за счет молекулярной составляющей.

На покрытиях, имеющих на своей поверхности пленку воды, автомобильного масла или топлива, пыли, сила трения в основном формируется ее деформационной составляющей. Молекулярная составляющая появляется только после разрыва пленки смазки неровностями на поверхности контактирующих тел и вступления их в непосредственное соприкосновение.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

---

При скольжении одного гладкого твердого тела по другому основную роль играют адгезионные силы, т.е. собственно трение.

При движении эластичной шины по дорожному покрытию характер взаимодействия меняется. Дорожная поверхность всегда имеет шероховатости и поэтому доля гистерезисной (деформационной) составляющей значительно больше, чем адгезионной.

Такое взаимодействие характеризуется силой сцепления.



## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Коэффициент сцепления зависит от многих факторов:

- свойств покрытия — микро- и макрошероховатости, качества каменных и вяжущих материалов, качества работ по устройству покрытия, ровности покрытия, однородности свойств покрытия, температуры материала;
- свойств автомобиля — системы тормозов, размеров колес, вида и степени изношенности протектора, давления воздуха в шинах;
- условий взаимодействия — скорости движения, режима движения (разгон, торможение), температуры воздуха, силы ветра, наличие на покрытии влаги, воды, льда, снега.

Наибольшее влияние на коэффициент сцепления оказывают тип, ровность и состояние поверхности покрытия, а также скорость движения.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОВОЙ

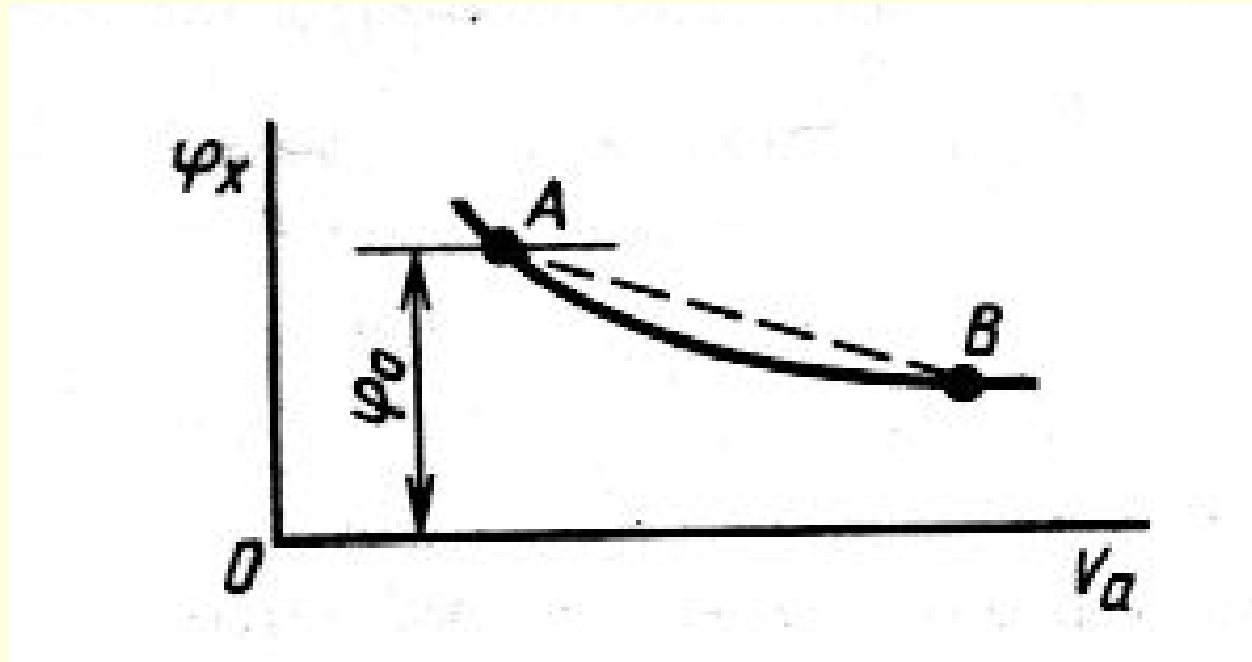


Рисунок. Зависимость коэффициента продольного сцепления от скорости движения автомобиля:

$\varphi_0$  – начальное значение коэффициента

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОВОЙ

При движении автомобиля по неровной поверхности с возрастанием скорости деформация шины происходит не полностью.

Если принять коэффициент сцепления  $\varphi$  при высокой ровности за 100 %, то при увеличении неровности покрытий  $S_c$  сцепление снижается:

$S_c$ по толчкомеру, см/км.....	50	100	200	300
Уменьшение $\varphi$ , %.....	5	10	25	40

Зависимость коэффициента сцепления  $\varphi_v$  от скорости  $v$  может быть выражена формулой:

$$\varphi_v = \varphi_{20} - \beta_{\varphi}(v - 20),$$

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

где  $\varphi_{20}$  — коэффициент сцепления при скорости измерения 20 км/ч;  $\beta_{\varphi}$  — коэффициент изменения сцепных качеств при изменении скорости, зависит от типа и состояния покрытия.

При торможении скорость движения колес замедляется, происходит их проскальзывание, степень которого оценивают соотношением частот вращения колес при свободном качении  $n_1$  и с частичным торможением  $n_2$ ,

$$\alpha = (n_1 - n_2) / n_1.$$

Торможение с проскальзыванием эффективнее, чем с полной блокировкой. Коэффициент сцепления, измеренный при проскальзывании, на 100... 200 % выше, а время до полной остановки автомобиля на 25...30 % меньше, чем при торможении с полной блокировкой колес.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

В настоящее время коэффициент сцепления измеряют на мокром покрытии колесом с гладкой шиной или с шиной, имеющей выступы протектора.

Для мокрого покрытия значения коэффициента сцепления для гладкой шины всегда меньше, чем для шины с протектором.

Между этими значениями коэффициента сцепления существует корреляционная связь:

$$\varphi_{\text{гл}} = 0,7\varphi_{\text{пр}} \text{ или } \varphi_{\text{пр}} = 1,43\varphi_{\text{гл}},$$

где  $\varphi_{\text{гл}}$  — коэффициент сцепления, измеренный гладкой шиной;  $\varphi_{\text{пр}}$  — то же, шиной с протектором.

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Различают два вида коэффициента сцепления: коэффициент продольного сцепления  $\varphi_1$  соответствующий началу пробуксовывания или проскальзывания колеса при его качении в плоскости движения, и коэффициент поперечного сцепления  $\varphi_2$ , возникающий при боковом заносе, когда колесо одновременно вращается и скользит вбок (боковое скольжение).

В большинстве случаев под понятием коэффициента сцепления подразумевают коэффициент продольного сцепления.

Значения поперечного коэффициента сцепления колеблются в пределах  $\varphi_2 = (0,5...0,85)\varphi_1$ .

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Во многих случаях неблагоприятное соотношение сцепных качеств покрытия и сопротивления качению является причиной снижения скорости движения.

Это следует из анализа уравнения тягового баланса автомобиля и уравнения основного условия движения. Уравнение тягового баланса автомобиля может быть записано в виде:

$$P_k = G_a f \pm G_a i \pm \frac{\delta G_a j_a}{g} + \frac{KFv^2}{3,6^2},$$

## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

---

где  $P_k$  — сила тяги на ведущих колесах автомобиля;  $G_a$  — полная масса автомобиля;  $f$  — коэффициент сопротивления качению;  $i$  — продольный уклон;  $\delta$  — коэффициент инерции вращающихся масс;  $j_a$  — ускорение автомобиля;  $g$  — ускорение свободного падения;  $K$  — коэффициент обтекаемости;  $F$  — лобовая площадь автомобиля;  $v$  — скорость движения автомобиля.



## Лекция №4 – ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ДОРОГОЙ

Правая часть этого уравнения представляет собой сумму дорожных сопротивлений  $\sum P_d$ . Тогда все уравнение может быть записано в виде

$$P_k \geq \sum P_d.$$

Это уравнение называют **основным уравнением движения**. Оно может быть сформулировано так: *для того чтобы движение автомобиля было возможным, необходимо, чтобы сила тяги, образуемая на ободу колеса, была больше суммы дорожных сопротивлений.*

Это условие является главным, но не достаточным для того, чтобы автомобиль мог двигаться. Для этого нужно соблюдать второе условие: необходимо, чтобы сила сцепления ведущих колес в зоне контакта была равна или больше силы тяги:

$$T_{\max} \geq P_k.$$

Это условие называют **основным условием движения**.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

***Шероховатость поверхности*** (в теории трения — *текстура*) дорожного покрытия представляет собой совокупность неровностей, не вызывающих низкочастотных колебаний автомобиля на подвеске и не влияющих на работу его двигателя.

Шероховатость подразделяют на две группы: макро- и микрошероховатость.

К макрошероховатости относят неровности длиной более 2 мм и высотой более 0,2 мм, обычно формируемые частицами (зернами) щебня, используемого при строительстве покрытий дороги или в результате специальной его обработки.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

К микрошероховатости относят меньшие неровности, как правило, обусловленные собственной шероховатостью поверхности зерен щебня.

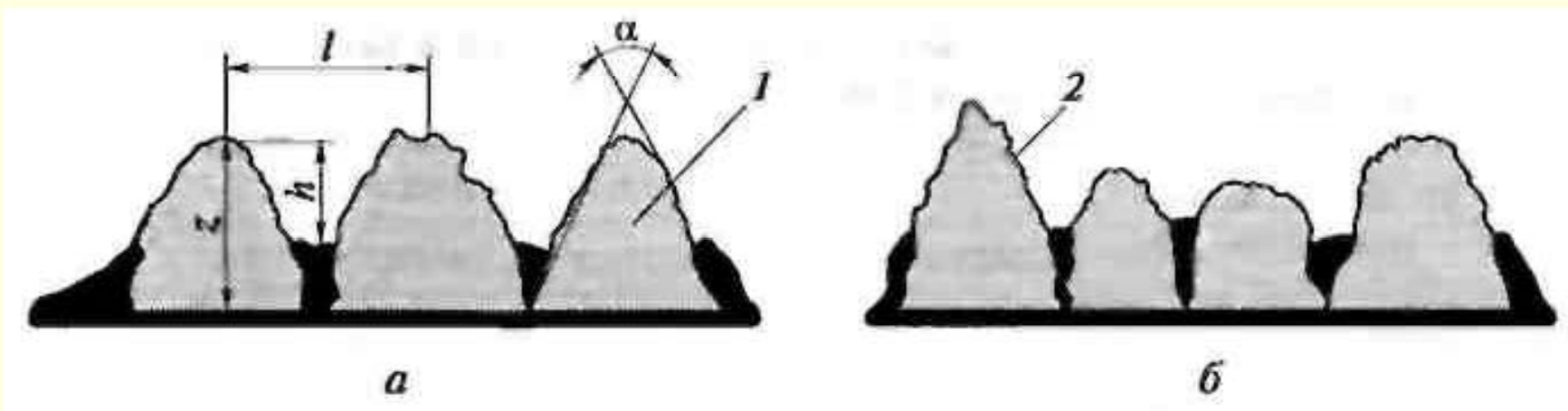


Рисунок. Типы шероховатости покрытия и ее параметры:  
а — равномерная; б — шипованная; 1 —  
макрошероховатость; 2 — микрошероховатость;  
z — высота выступов; h — глубина впадин;  
l — шаг шероховатости; α — угол при вершине

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

На мокрых покрытиях наибольшую роль в обеспечении сцепных качеств имеет макрошероховатость.

**Поэтому практически макрошероховатость принимают за всю шероховатость дорожного покрытия.**

Макрошероховатость (шероховатость) покрытия характеризуют тремя основными параметрами:

средней высотой выступов, мм:  $Rz = \frac{\sum z}{n}$ ;

средней глубиной впадин, мм:  $H_{\text{cp}} = \frac{\sum h}{n}$ ;

коэффициентом шага шероховатости  $K_{\text{ш}} = \frac{H_{\text{cp}}}{Rz}$ .

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

Таблица. Классификация дорожных покрытий в зависимости от параметров шероховатости поверхности

Тип шероховатых покрытий	Параметры шероховатости, мм	
	Средняя высота выступов	Средняя глубина впадин
Гладкие	0,1 ... 0,5	0,02 ... 0,25
Мелкошероховатые	0,5 ... 3,0	0,25 ... 2,5
Среднешероховатые	3,0 ... 6,0	1,0 ... 5,0
Крупношероховатые	6,0 ... 9,0	2,0 ... 7,0

В таблице приведена подробная классификация дорожных покрытий в зависимости от параметров шероховатости, впервые предложенная Л. Г. Паниной, Л. Г. Марьяхиным, А. Я. Эрастовым и А. П. Васильевым

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

**Роль шероховатости в обеспечении сцепных качеств сухого покрытия.**

**Контурная площадь** — это площадь контакта по выступам протектора шины.

*Она зависит от конструкции шины, ее жесткости, давления воздуха в шинах и нагрузки на колесо:*

$$S = \frac{Q}{K_0 K_{\text{ж}} P_{\text{в}}},$$

где  $K_0$  — коэффициент контактности, учитывающий конструкцию шины, для легковых автомобилей  $K_0 = 1,3 \dots 1,8$ , для грузовых —  $K_0 = 0,9 \dots 1,7$ ;  $K_{\text{ж}}$  — коэффициент жесткости шины.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

**Фактическая площадь контакта** меньше контурной и тем в большей степени, чем больше неровности макрошероховатости, из-за которых резина выступов протектора не везде касается материала покрытия.

При небольших значениях высоты выступов наблюдается «чистое» внедрение неровностей макрошероховатости в резину без их воздействия на каркас шины.

Начиная с некоторой высоты неровности, внедряющиеся в шину, начинают воздействовать на ее каркас.

При большой высоте неровности уже не вдавливаются в резину протектора и шина перекачивается по ним.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

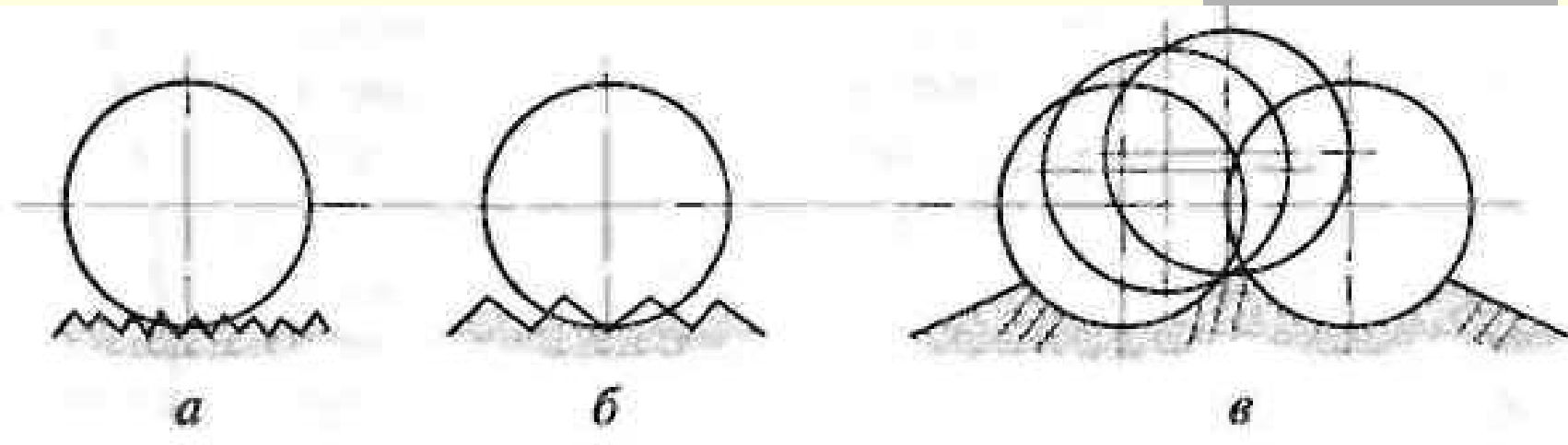


Рисунок. Роль шероховатости поверхности покрытий в обеспечении сцепных качеств:

- а — мелкошероховатое покрытие;*
- б — среднешероховатое покрытие;*
- в — крупношероховатое покрытие*



## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

При увеличении высоты выступов шероховатости уменьшается площадь контакта и происходит уменьшение абсолютного значения адгезионной составляющей.

Одновременно увеличивается гистерезисная составляющая вследствие возрастания потерь энергии на деформацию шины.

Поскольку снижение адгезии опережает рост гистерезисной составляющей **происходит уменьшение суммарной силы трения, т.е. уменьшение коэффициента сцепления.**

Однако на сухих чистых покрытиях суммарная сила трения (сцепления) практически всегда достаточна для безопасного движения автомобилей.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

---

Увеличение шероховатости приводит к росту коэффициента сопротивления качению в среднем на 4 % на 1 мм высоты неровностей шероховатости на асфальтобетонных покрытиях и на 13 % на цементобетонных покрытиях, а также к увеличению шума, повышению износа шин и расхода топлива на движение.

В процессе эксплуатации покрытия происходит уменьшение — износ шероховатости его поверхности.

Износ проявляется в уменьшении высоты и шлифовке неровностей шероховатости.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

---

### **Первый этап.**

На асфальтобетонных покрытиях после открытия движения транспорта макрошероховатость быстро уменьшается в результате погружения щебня, формирующего неровности макрошероховатости.

### **Второй этап.**

Характеризуется замедлением, а затем и прекращением погружения щебня, основной причиной уменьшения шероховатости покрытия становится шлифовка неровностей макрошероховатости, в результате которой объем выступающей части зерен щебня постепенно уменьшается, а сами они приобретают окатанную форму.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

---

Твердость покрытия характеризует сопротивление покрытия погружению щебня, формирующего неровности макрошероховатости, и оценивается по глубине погружения иглы специального прибора — **твердомера**.

Твердомер предназначен для определения твердости дорожного покрытия на всех типах дорог, устроенных с использованием органических вяжущих согласно указаниям ВСН 38-90 - ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ



### Твердомер динамический ТД-2С

#### Технические характеристики:

Диапазон измерений  
погружения конуса 0...50 мм;  
Погрешность измерения  $\pm 1$  мм;  
Масса груза ударника 2 кг;  
Высота падения груза 290 мм;  
Габариты твердомера  
170x230x600 мм;  
Общая масса твердомера  
не более 7 кг;

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ



### Твердомер дорожный ТК-1

**Технические характеристики:**

**Диапазон измерения  
погружения конуса**

**0...48 мм;**

**Погрешность измерения  $\pm 1$  мм;**

**Масса груза ударника 2 кг;**

**Высота падения груза 290 мм;**

**Габариты твердомера  
200 x 200 x 570 мм;**

**Общая масса твердомера  
не более 5 кг;**

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

---

Установлено, что уменьшение макрошероховатости слоя износа в результате погружения щебня линейно связано с глубиной погружения иглы твердомера.

В зависимости от твердости асфальтобетонные покрытия подразделяют на пять групп:

- очень твердые — с глубиной погружения иглы твердомера 0...2 мм,
- твердые — 2...5 мм,
- нормальные — 5...8 мм,
- мягкие — 8... 12 мм,
- очень мягкие — 12...21 мм.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

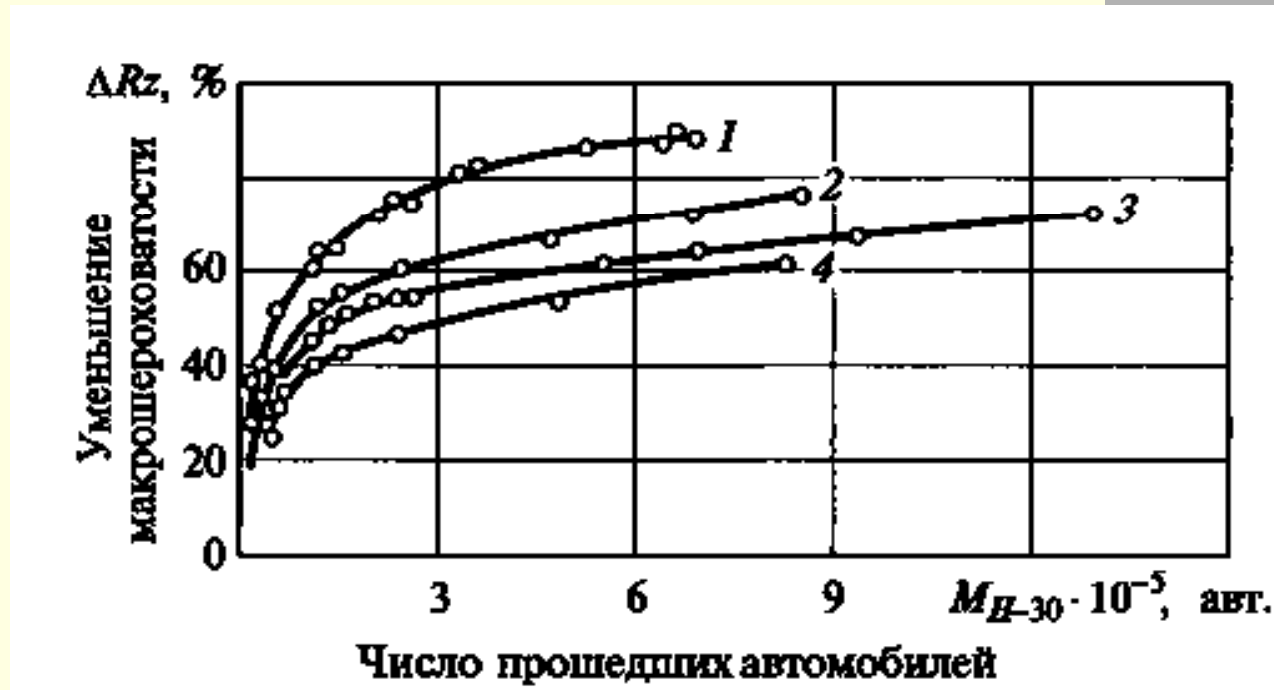


Рисунок. Зависимость уменьшения макрошероховатости  $\Delta R_z$  от числа прошедших автомобилей грузоподъемностью 30 т при различной крупности щебня (данные проф. М.В.Немчинова):

1 — 5... 10 мм (втапливание щебня, начальная глубина впадин макрошероховатости 2,3 мм); 2 — 15...20 мм; 3 — 20...25 мм; 4 — 25...35 мм (поз. 2— 4 — поверхностная обработка с начальной глубиной впадин макрошероховатости 7,5 мм)



## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

### **Роль равномерного распределения шероховатости по ширине покрытия.**

Угол поворота увеличивается с ростом скорости движения перед торможением и разности коэффициента сцепления под правыми и левыми колесами.

Так, при  $\Delta\varphi = 0,25...0,30$  угол поворота возрастает от  $5^\circ$  при  $v = 20... 25$  км/ч до  $30^\circ$  при  $v = 50$  км/ч. При торможении со скоростью 120 км/ч уже при  $\Delta\varphi = 0,1$  угол поворота может составить  $100^\circ$  и более, а при  $\Delta\varphi = 0,3$  автомобиль разворачивает на  $360^\circ$  и более. В связи с этим очень важно иметь однородную по шероховатости проезжую часть и укрепленную обочину.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

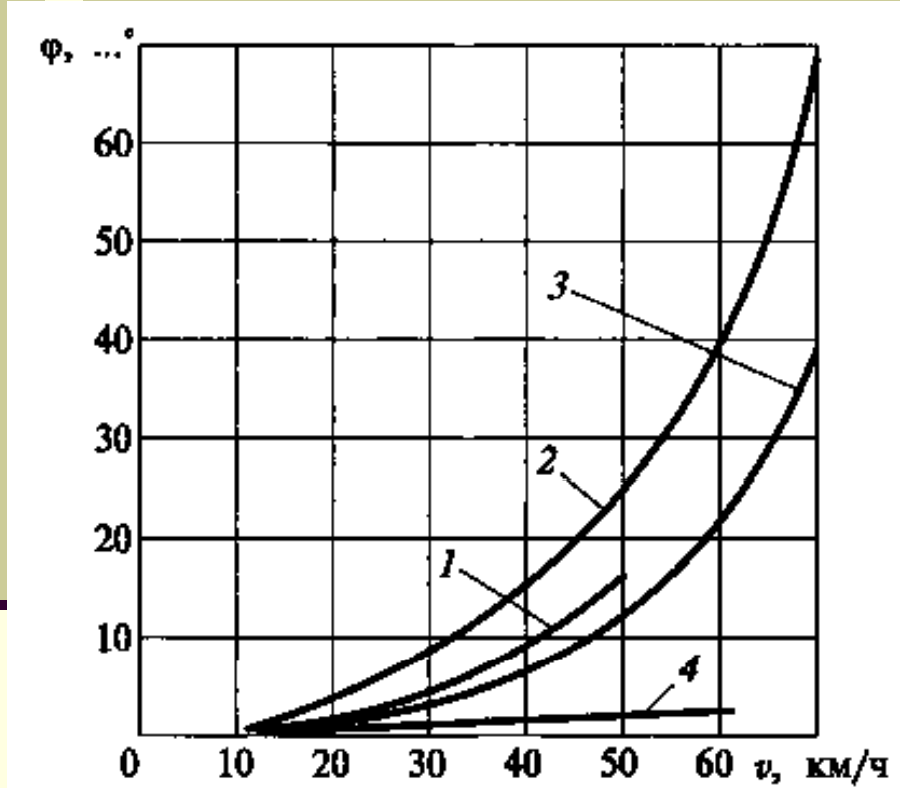


Рисунок. Углы поворота автомобиля при развороте:

1 — экспериментальные данные, полученные В.В. Алексеевым ( $\varphi_p = 0,3$ ,  $\varphi_l = 0,55$ ); 2,3 — экспериментальные данные при торможении только задних колес автомобиля, полученные в США (2—  $\varphi_p = 0,2$ ,  $\varphi_l = 0,4$ ; 3 —  $\varphi_p = 0,2$ ;  $\varphi_l = 0,6$ ); 4 — то же, при применении антиблокировочных устройств;  $\varphi_p > \varphi_l$  — коэффициент сцепления под правыми и левыми колесами в момент начала торможения

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

### **Обоснование требований к допускаемой разнице коэффициентов сцепления по ширине покрытия и обочин.**

Плавное изменение сцепных качеств по ширине покрытия и обочин предотвратит многие ДТП, связанные с заносом автомобилей при резком торможении. За критерий при определении допускаемого соотношения коэффициентов сцепления по ширине предлагается принять угол разворота автомобиля на проезжей части, при котором он не выходит за пределы полосы движения. Для двухполосных дорог необходимо рассматривать также случай заезда правого колеса автомобиля на обочину.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

---

Расчеты показывают, что допустимый угол разворота

- для автобусов составляет всего 6... 11°,
- для грузовых типа ЗИЛ-130 9... 16°,
- для легковых 23...33°.

При возможности безопасного выезда на обочину эти углы для автобусов и грузовых автомобилей несколько возрастают.

Чем длиннее автомобиль, тем меньше можно допустить угол разворота. Легковые автомобили при смещении траектории движения к кромке покрытия могут вращаться вокруг центра тяжести, не выходя на полосу встречного движения.

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

Однако при большом угле разворота автомобиль может легко опрокинуться. Поэтому исходя из обеспечения устойчивости допускаемый угол разворота легковых автомобилей целесообразно ограничить углом  $60^\circ$ .

При проверках на стендах допускается относительная разность тормозных сил колес оси (в процентах от наибольшего значения) для осей АТС с дисковыми колесными тормозными механизмами не более 20 % и для осей с барабанными колесными тормозными механизмами не более 25 %. (ГОСТ Р 51709-2001)

## Лекция №5 – ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ

Таблица. Углы разворота автомобилей при резком торможении

Тип автомобиля	Ширина проезжей части, м			
	7,0	7,5	7,0	7,5
	Угол разворота без заезда на обочину, ...°		Угол разворота с заездом на обочину, ...°	
Автобус	6	11	10	13
Грузовой автомобиль	9	16	14	20
Легковой автомобиль среднего класса	23	29	90 и более	
Легковой автомобиль малого класса	27	33	90 и более	

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

### Характерные виды неровностей

**Ровность дороги** — это характеристика поверхности дороги, определенная наличием неровностей или отклонений фактической поверхности от проектной, вызывающих при проезде автомобиля колебания его колес и кузова. *Различают продольную и поперечную ровность.*

К основным причинам образования неровностей покрытия относят:

- высокую транспортную нагрузку;
- недостаточную прочность и сдвигоустойчивость дорожных одежд, применение слабопрочных материалов в конструктивных слоях покрытия;

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

- нарушение требований к ровности покрытий при строительстве и низкое качество работ по возведению земляного полотна и дорожной одежды;
- необеспеченный водоотвод и пучинообразование;
- износ, деформации и разрушения покрытия под действием транспорта и климатических факторов и несвоевременные работы по устранению этих дефектов.



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

По влиянию на колебания автомобиля неровности можно разделить на три группы: **макронеровности, микронеровности и шероховатость.**

**Макронеровности** состоят из длинных плавных неровностей с длиной волны 5 м и более. Макронеровности влияют на работу двигателя автомобиля и режим его движения, но практически не вызывают колебаний автомобиля на подвеске. Фактически это продольный профиль дороги и при анализе ровности его не рассматривают.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

**Микронеровности** формируют микропрофиль поверхности, состоят из неровностей длиной от 10 см до 50 м, которые вызывают значительные колебания автомобиля на подвеске. Это и есть собственно характеристики ровности.

**Шероховатость** — это совокупность неровностей с длиной волны до 10 см, которые не вызывают низкочастотных колебаний автомобиля на подвеске, так как их воздействие поглощают шины. Поэтому при анализе ровности шероховатость не учитывают.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Таким образом все основные неровности относятся к микропрофилю поверхности покрытия - это выбоины, выступы, впадины, сдвиги, волны, наплывы, трещины и т.д.

Значительная часть этих неровностей формируется уже на стадии строительства, когда фактический профиль поверхности покрытия отличается от проектного на величину допустимых просветов под рейкой длиной 3 м.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

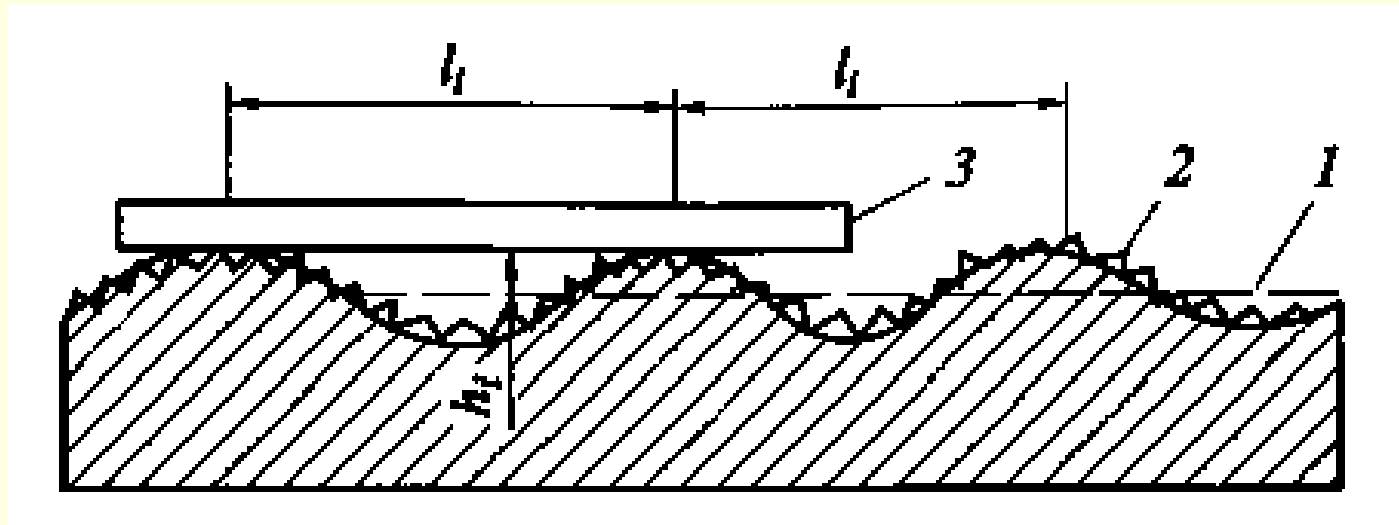


Рисунок 1. Параметры ровности покрытий:

1 — шероховатость покрытия;

2 — микронеровности;

3 — измерительная планка;

$l_i$  — расстояния между неровностями или длина волны;

$h_i$  — глубина впадин или высота неровностей

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Каждому покрытию характерны определенные виды неровностей.

Для асфальтобетонных и покрытий из битумоминеральных смесей характерными неровностями являются выкрашивание, выбоины, волнистость, колеи;

для цементобетонных — шелушение, выкрашивание, выбоины, разрушения стыков, разрушения плит;

для щебеночных и гравийных, не укрепленных вяжущими, — волнистость (гребенка), выбоины, просадки, колеи.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Микропрофиль покрытий может быть оценен статистическими характеристиками:

- числом  $m$  выступов или впадин на 1 км;
- суммарной высотой выступов и глубиной впадин на 1 км  $\Sigma h_i$ ;
- средней величиной выступов и впадин на 1 км —  $h_{cp}$ ;
- среднеквадратичным отклонением  $\sigma$  величин выступов и впадин;
- коэффициентом вариации ровности  $\mu$ .

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Значения средней величины выступов и впадин на 1 км определяют по формуле:

$$h_{\text{cp}} = \frac{\sum h_i}{m}.$$

Среднеквадратичное отклонение

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (h_{\text{cp}} - h_i)^2}{m - 1}}.$$

Коэффициент вариации ровности

$$\mu = \frac{\delta}{h_{\text{cp}}}.$$

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Продольный профиль дорожного покрытия математически можно представить в виде непрерывной функции, содержащей целый спектр синусоидальных волн.

Неровности дорожного покрытия распределяются по нормальному закону распределения (закону Гаусса). Впадины и выступы этих неровностей равновероятны.

Автомобиль, движущийся с некоторой скоростью по неровной поверхности покрытия, можно представить в виде механической динамической системы, которая подвергается случайным воздействиям неровностей как возмущающей функции во времени, преобразуясь в другую выходную функцию времени — колебания автомобиля, характеризуемую определенной передаточной функцией.

**По относительным перемещениям системы можно судить о микропрофиле автомобильной дороги, т. е. о ее ровности.**



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

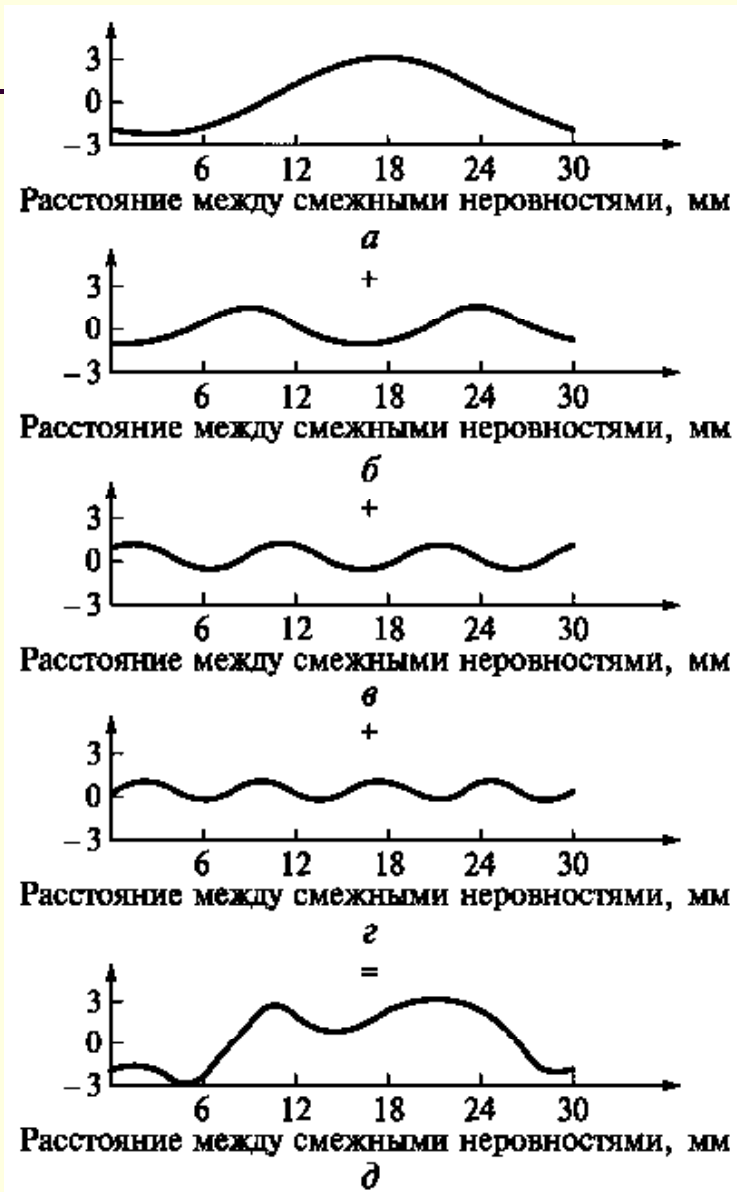


Рисунок 2. Математическое разложение профиля на составляющие синусоиды:  
а — вертикальная проекция неровностей с длиной волны 30 мм;  
б — вертикальная проекция неровностей с длиной волны 15 мм;  
в — вертикальная проекция неровностей с длиной волны 10 м;  
г — вертикальная проекция неровностей с длиной волны 7,5 мм;  
д — суммарная вертикальная проекция; по вертикальной оси откладываются вертикальные проекции неровностей в миллиметрах

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Статистические свойства стационарных случайных процессов, рассматриваемых в теории вероятности, характеризуются корреляционной функцией  $R(\tau)$  и спектральной плотностью  $s(\omega)$ .

Корреляционная функция является основной характеристикой микропрофиля дороги и отражает характер неровностей (их высоту, форму, длину) и скорость движения автомобиля:

$$R(\tau) = 2 \int_0^{\infty} s(\omega) \cos \omega \tau d\omega; \quad s(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

где  $\omega$  — частота;  $\tau$  — время корреляционной связи.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

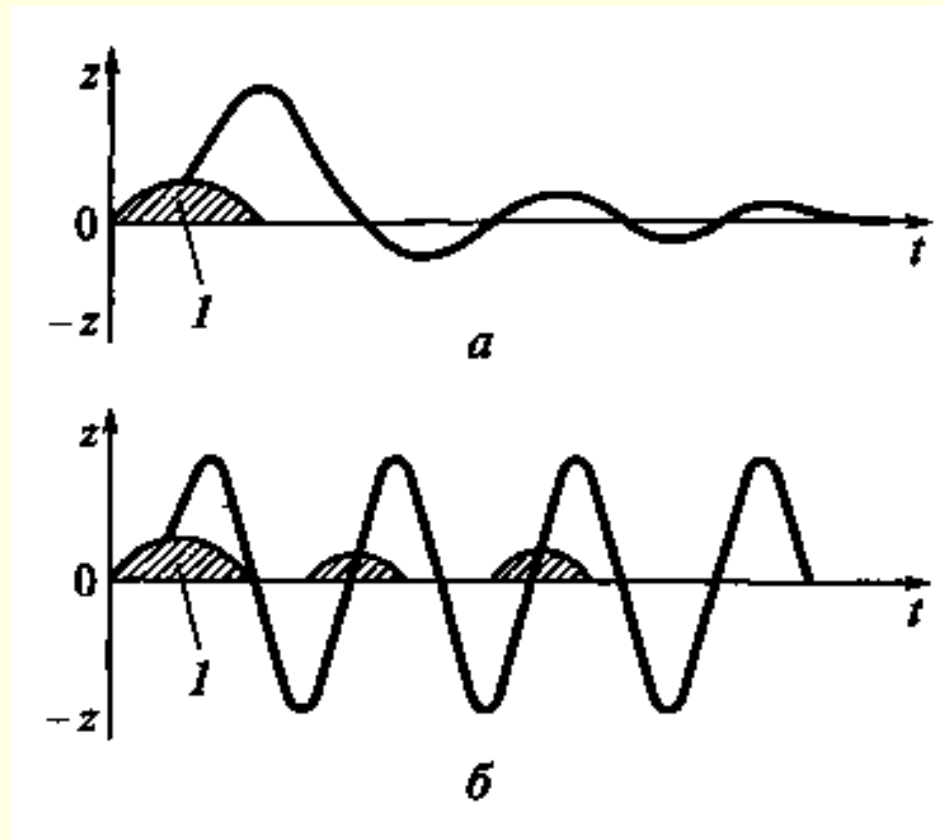


Рисунок 3. Колебания автомобиля при взаимодействии с дорогой: а — неустановившиеся; б — установившиеся; 1 — неровности дороги;  $z$  — амплитуда колебаний;  $t$  — время

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Колебания автомобиля, возникающие при движении по неровной поверхности, разделяют на неустановившиеся и установившиеся.

**Неустановившиеся колебания** возникают при наезде на единичные неровности или повторяющиеся неровности различных размеров и очертаний. Это наиболее распространенный случай.

**Установившиеся колебания** возникают при наезде на регулярно повторяющиеся неровности (волны, гребенка, стыки бетонных плит и т.д.).

Колебания автомобиля характеризуются амплитудой колебаний  $z$ , частотой колебаний  $\eta$ , ускорением колебаний  $\ddot{z}$  и суммарной амплитудой колебаний  $S_c$ . С увеличением скорости автомобиля все эти показатели увеличиваются.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Ровность покрытия эксплуатируемых дорог чаще всего измеряют суммой амплитуд колебания подпрессоренной массы или массы автомобиля при проезде неровностей на участке дороги и измеряют в сантиметрах на километр.

В этом случае применяют толчкомеры различных конструкций типа **ТХК-2** и его модификаций, которые устанавливают в кузове различных автомобилей.

В России широкое распространение получил метод измерения суммарной величины амплитуд подпрессоренной массы специального прицепа к автомобилю **ПКРС-2У**.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

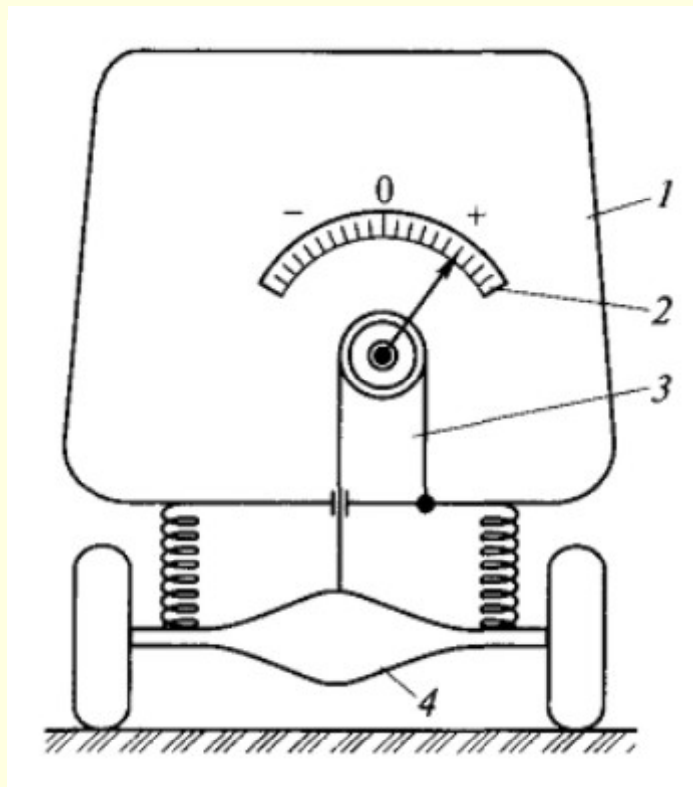


Рисунок 4. Толчкомер ТХК-2:

1 - кузов автомобиля; 2 - шкала замера неровностей; 3 - трос; 4 - задний мост автомобиля.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Толчкомер конструкции ТХК-2 устанавливают в кузове автомобиля над его задним мостом.

Колебания рессор через гибкий трос передаются на барабан счетного механизма толчкомера. Ровность дорожного покрытия оценивают суммарным сжатием рессор автомобиля на участке дороги длиной 1 км при постоянной скорости движения 50 км/ч. Регистрация показаний толчкомера осуществляется на бумажной ленте печатающего устройства счетного механизма, включаемого в нужный момент времени. Производительность толчкомера ТХК-2 составляет 170 км/смена.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ



Рисунок 5. Динамометрический прицеп типа ПКРС-2У

Технические характеристики: Подвеска и система торможения автомобиль ВАЗ-2101; Шина 6.45x13; Скорость буксировки, км/ч 60; Ход подвески, мм 150.



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Прибор контроля ровности и сцепления представляет собой одноколесный прицеп, буксируемый автомобилем с установленным на нем специальным сцепным устройством. Благодаря параллелограммной сцепке, наружная рама постоянно сохраняет положение параллельное поверхности дорожного полотна.

Измеряется коэффициент сцепления при полной блокировке колеса с принудительной подачей воды для создания на покрытии автодороги водяной пленки толщиной 1 мм.

Регистрация показаний первичных датчиков производится бортовым вычислительным комплексом с выводом данных измерения на дисплее.

Показатель ровности покрытия дорог определяется по суммарной величине перемещения колеса прицепа относительно инерционной массы его корпуса на единицу длины дороги.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Максимально возможную скорость  $v_{\text{доп}}$ , км/ч, в зависимости от ровности по толчкомеру ТХК-2 определяют по формуле А. И. Бируля:

$$v_{\text{доп}} = \frac{850}{\sqrt{S_c}};$$

где  $S_c$  - ровность покрытия, см/км.

При измерении ровности установкой ПКРС-2У максимально возможную скорость  $v_{\text{доп}}$ , км/ч, определяют по формуле А.П.Васильева:

$$v_{\text{доп}} = \frac{7500}{\sqrt{S_c} + 0,15S_c},$$

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Во многих странах мира принят международный индекс ровности **IRI** (International Roughness Index), в котором показатели ровности оценивают расчетной суммой амплитуд колебаний поддрессоренной массы, выраженной в метрах на 1 км.

Этот показатель является интегральным, поскольку он оценивает ровность во всем диапазоне длин неровностей, на которое реагирует автомобиль при определенной скорости движения. Показатель **IRI** является косвенным, так как непосредственно не связан с данными измерения продольного микропрофиля дороги, а вычисляется по относительному перемещению масс эталонного автомобиля.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

### **Требования к ровности дорожных покрытий.**

При разработке требований к ровности покрытий исходят из допустимых амплитуд и ускорений колебаний автомобилей при расчетной скорости движения.

Выделяют четыре критерия, по которым оценивают допустимость тех или иных колебаний автомобиля:

- удобство езды и комфортность для водителя и пассажиров;
- устойчивость грузов в кузове автомобиля;
- надежность и долговечность работы рессор, шин и других частей автомобиля;
- надежность и долговечность работы дорожной конструкции.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Исследованиями Р. В. Ротенберга и другими учеными установлено, что при движении по неровной поверхности ощущение колебаний водителем начинается с момента, когда ускорения колебаний достигнут  $\ddot{z} = 0,5 \text{ м/с}^2$ . По мере возрастания скорости движения автомобиля и неровностей ездового профиля возникают беспокоящие колебания. Этому состоянию ориентировочно соответствуют ускорения  $\ddot{z} = 2,5...3 \text{ м/с}^2$ . При длительном действии  $\ddot{z} = 3... 5 \text{ м/с}^2$  колебания переходят в неприятные и непереносимые. Единичные большие и длительные среднего значения колебания влияют на функциональное состояние водителя, снижают его работоспособность.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Существенное влияние на состояние человека оказывает и частота колебаний автомобиля. Установлено, что при колебании кузова автомобиля с частотой 0,7...4 Гц пассажиры испытывают неприятные ощущения, а при 5... 20 Гц создается критическое состояние для человека.

Частота возмущающей силы при периодическом воздействии неровностей дороги на колеса автомобиля

$$n_{\text{в}} = \frac{2\pi v}{3,6S},$$

где  $v$  — скорость движения, км/ч;  $S$  — длина неровности, м.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

С учетом влияния ускорения и частоты колебаний автомобиля на функциональное состояние водителей разработаны нормативные требования к продольной ровности эксплуатируемых дорог с учетом интенсивности движения, категории дороги и типа покрытия для каждого метода и измерительного прибора.

В табл. 1 приведены требования к ровности при проведении измерений динамометрическим прицепом ПКРС-2У и толчкомером ТХК-2.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Таблица 1 - Требования к ровности при проведении измерений динамометрическим прицепом ПКРС-2У и толчкоммером ТХК-2

Интенсивность движения, авт./сут	Категория дороги	Тип дорожной одежды	Предельно допустимые показатели продольной ровности, см/км		
			по прибору ПКРС-2У	по толчкоммеру ТХК-2 на УАЗ-2206	по толчкоммеру ТХК-2 на ГАЗ-31022 «ГАЗель»
Более 7000	I	Капитальный	540	100	220
3000 — 7000	II	»	660	120	270
1000 — 3000	III	»	860	170	350
		Облегченный		240	460
500 — 1000	IV	»	1100	265	500
200 — 500	IV	Переходной	1200	340	510
До 200	V	Низший	—	510	720



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Таблица 2 - Система оценки ровности дорожного покрытия по международному индексу ровности IRI

Оценка состояния	Значения IRI, м/км	Характеристика состояния покрытия
Отличное	До 1,5	Дефекты покрытия отсутствуют, требуется лишь содержание
Хорошее	1,5...4,0	В основном дефектов нет, требуется лишь содержание и текущий ремонт
Удовлетворительное	3,0...6,0	Существенные дефекты, срочно требуется замена покрытия или его усиление во избежание выхода из строя
Плохое	Более 6,0	Крупные дефекты, дорожная одежда вышла и выходит из строя, требуется реконструкция

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

*Поперечная ровность* определяется наличием неровностей или отклонений фактической поверхности от проектной в поперечном сечении дороги.

К неровностям и отклонениям, формирующим характеристики продольной ровности в поперечном направлении добавляется еще один специфический вид дефектов — ***колеяность***.

***Колея*** — это особый вид деформирования дорожной конструкции (земляного полотна, дорожной одежды с покрытием), в результате которого на поверхности проезжей части образуются углубления вдоль дороги по полосам наката без гребней выпирания или с гребнями выпирания по одной или обеим сторонам этих углублений.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

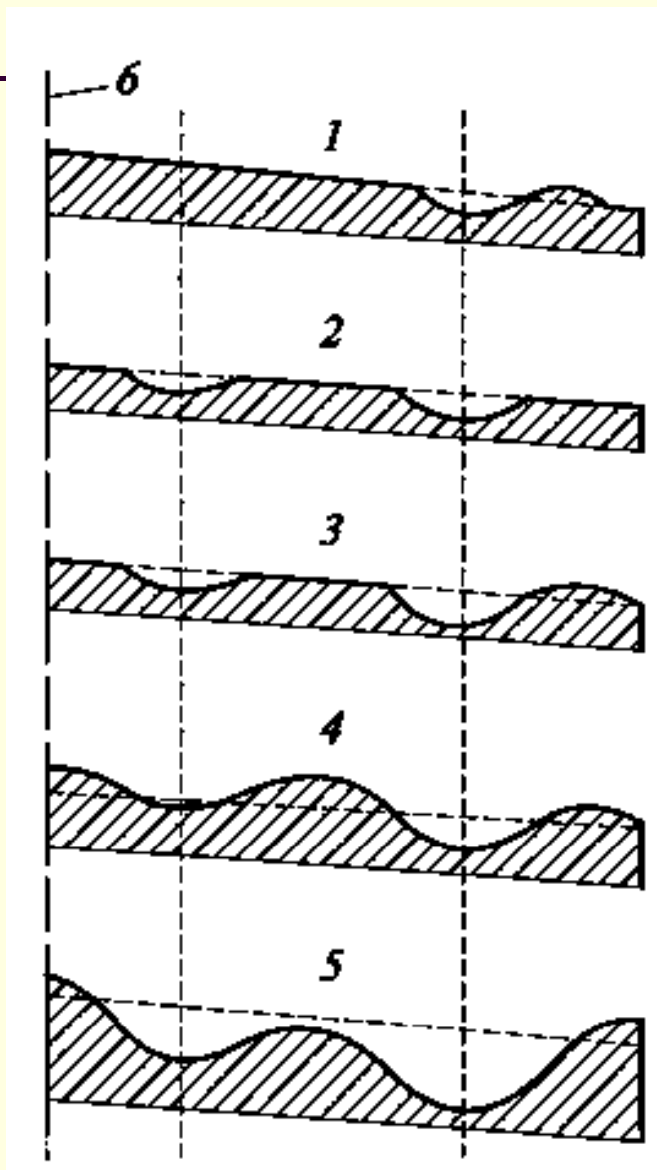


Рис. 6. Виды колеи:  
1,2 — углубления по полосам наката;  
3, 4 — углубления с одним и двумя гребнями выпирания;  
5 — углубления с общим проседанием поверхности проезжей части;  
6 — ось дороги

Общая глубина колеи может колебаться в широких пределах — 2... 150 мм и более.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Как и большинство других деформаций, колея образуется при неблагоприятном сочетании двух групп факторов:

- внешние факторы — воздействия нагрузки, климатические факторы, особенно температура воздуха и солнечная радиация, а также условия увлажнения грунта земляного полотна;
- внутренние факторы — физико-механические характеристики дорожной конструкции: сдвигоустойчивость, структурное состояние, прочность и степень уплотнения дорожной одежды и земляного полотна, тип грунта и его свойства. Самым важным из всех факторов образования колеи является воздействие тяжелых многоосных автомобилей.

## Лекция №7 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Процесс образования колеи начинается одновременно с открытием движения по дороге. Вначале он идет медленно, затрагивая только верхний слой покрытия, а затем распространяется на другие слои дорожной одежды и на земляное полотно.

Основной характеристикой колеи является ее глубина  $h_k$ . Общая глубина колеи может быть определена исходя из схемы, приведенной на рис.1.

$$h_k = h_{y.k} + h_{в.з.}$$

где  $h_{y.k}$  — углубление на поверхности дорожной одежды за счет накопления остаточной деформации в слоях дорожной одежды и в земляном полотне, мм;

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

$$h_{\text{в}} = \frac{h_{\text{л}} + h_{\text{п}}}{2}$$

средняя высота гребней выпора ( $h_{\text{л}}$  — высота выпора с левой и  $h_{\text{п}}$  — правой сторон), образующихся за счет пластических деформаций в слое асфальтобетона и земляном полотне, мм.

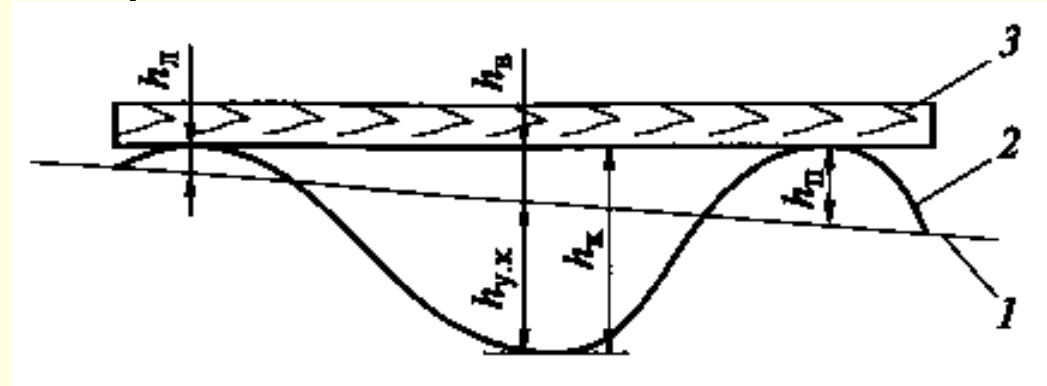


Рис.1. Основные параметры колеи:

*1 и 2 — линия поверхности покрытия после строительства и после образования колеи соответственно; 3 — измерительная рейка*

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Значение углубления в общем случае составляет:

$$h_{у.к} = h_{ду} + h_{и} + h_{аб} + h_{о} + h_{г},$$

где  $h_{ду}$  — глубина колеи за счет доуплотнения дорожной одежды и грунта земляного полотна, мм;  $h_{и}$  — глубина колеи за счет износа (истирания), мм;  $h_{аб}$  — глубина колеи за счет пластических деформаций в слоях асфальтобетона, мм;  $h_{о}$  — глубина колеи за счет структурных деформаций в слоях основания, мм;  $h_{г}$  — глубина колеи за счет накопления остаточных деформаций в земляном полотне, мм.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Глубокая колея затрудняет маневры автомобиля при обгоне, вызывает поперечное скольжение, боковые колебания и потерю устойчивости при выезде из колеи, что приводит к снижению скорости движения и повышению аварийности.

Исследования А. Н. Нарбутова и Ю. В. Кузнецова показывают, что опасным является смена полос движения автомобилей с переездом колеи в момент наезда колеса автомобиля на боковые стенки и гребни выпоров колеи.



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

Особенно опасен момент, когда при высокой скорости движения передние колеса переезжают гребни выпора и движутся по одним стенкам колеи, а задние — наезжают на другие стенки, имеющие противоположный поперечный уклон (рис. 2). При этом передняя и задняя оси автомобиля движутся под углами к вектору скорости поступательного движения, направленными в разные стороны, а продольная ось автомобиля смещается на некоторый угол относительно продольной оси полосы движения дороги.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

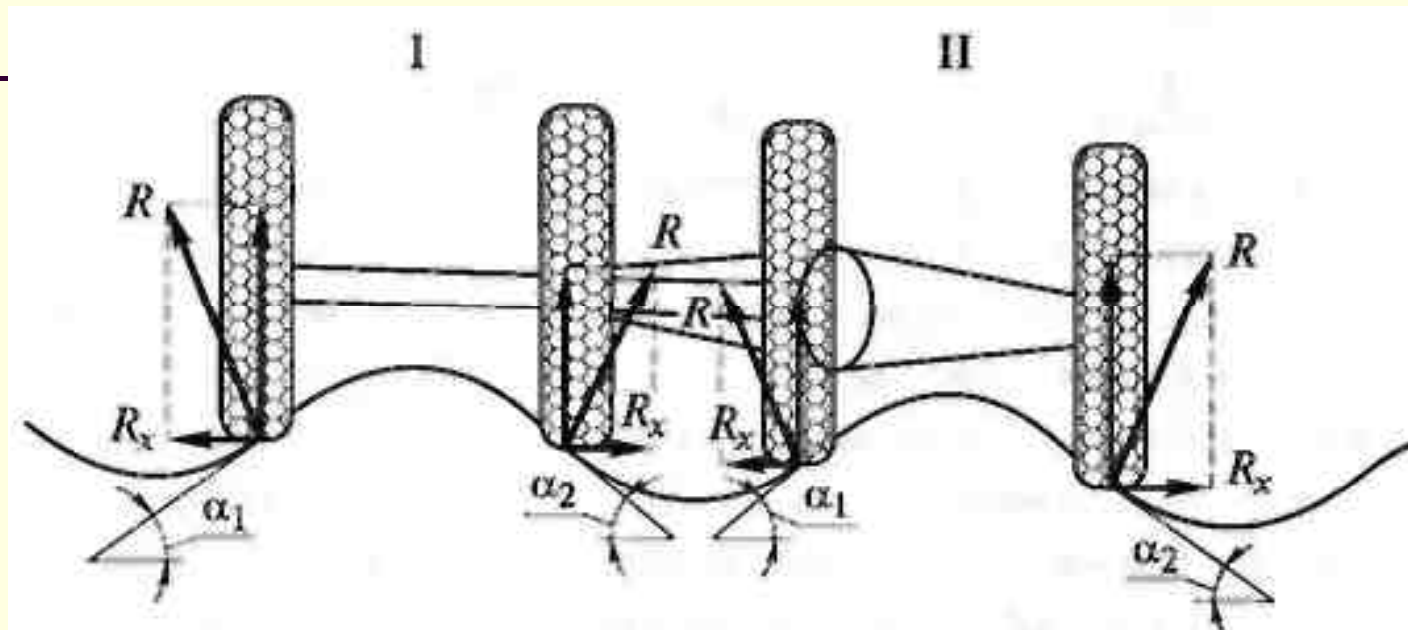


Рис. 2. Движение автомобиля с переездом гребней выпоров колеи передними колесами:

I, II — положение колес автомобиля перед переездом выпора колеи и после переезда выпора колеи соответственно;  $R$  — равнодействующая сил, действующих на колеса автомобиля до и после переезда через выпоры колеи;  $R_x$  — направление горизонтальных сил, действующих на колесо автомобиля до и после переезда выпоров колеи;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы наклона граней колеи

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

### **Влияние состояния покрытия на взаимодействие автомобиля с дорогой**

Под воздействием влажности воздуха, осадков в виде дождя или снега, тумана, мороси и других метеорологических факторов, а также в зависимости от вида покрытия, интенсивности движения и уровня дорожное покрытие может находиться в различном состоянии.

Сухим считают покрытие, микроповерхность материала которого не имеет сплошной пленки воды. Это состояние наблюдается при относительной влажности воздуха до 90 %.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Влажным считают покрытие, микроповерхность материала которого покрыта сплошной пленкой связанной воды. Такое состояние покрытия наблюдается при относительной влажности воздуха 90... 100% и положительной температуре покрытия. При отрицательной температуре в этих условиях образуется микрогололед.

Мокрым считают покрытие, на микроповерхности материала которого имеется слой свободной воды.

Заснеженным считают покрытие с наличием рыхлого снега на поверхности.

Снежный накат - наличие слоя снега, уплотненного движением автомобилей.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

### **Аквапланирование или глиссирование автомобиля на мокром покрытии.**

При наличии слоя воды на поверхности покрытия и высокой скорости движения процесс взаимодействия колеса автомобиля с покрытием принципиально изменяется из-за возникновения явления глиссирования, или аквапланирования. При этом существенно повышается роль шероховатости покрытия.

В этом случае в плоскости контакта колеса с мокрым покрытием можно выделить три зоны:

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

- зона неразорванной пленки воды, где образуется гидродинамическое давление воды на колеса;
- зона частично разорванной пленки жидкости, где наблюдаются отдельные соприкосновения протектора шины с покрытием;
- зона непосредственного контакта шины с дорогой, где свободная вода полностью удалена и осуществляется сухой контакт шины с покрытием.

Физическая сущность аквапланирования состоит в том, что при движении колеса при наличии на покрытии сплошного слоя жидкости (вода, слякоть) глубиной не менее критической величины  $h_{кр}$  под колесами в зоне расположения головной волны

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

(рис.3.) возникает жидкостный клин, оказывающий гидродинамическое давление  $R$  на колесо. С увеличением скорости движения это давление возрастает и при определенной скорости, называемой критической скоростью аквапланирования  $v_{акв}$ , вертикальная составляющая  $Y$  давления сравнивается по величине с вертикальной нагрузкой на колесо  $P$ .

С этого момента колеса как бы «всплывают» и начинают скользить по слою жидкости. Это и есть явления *глиссирования*, или *аквапланирования*.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

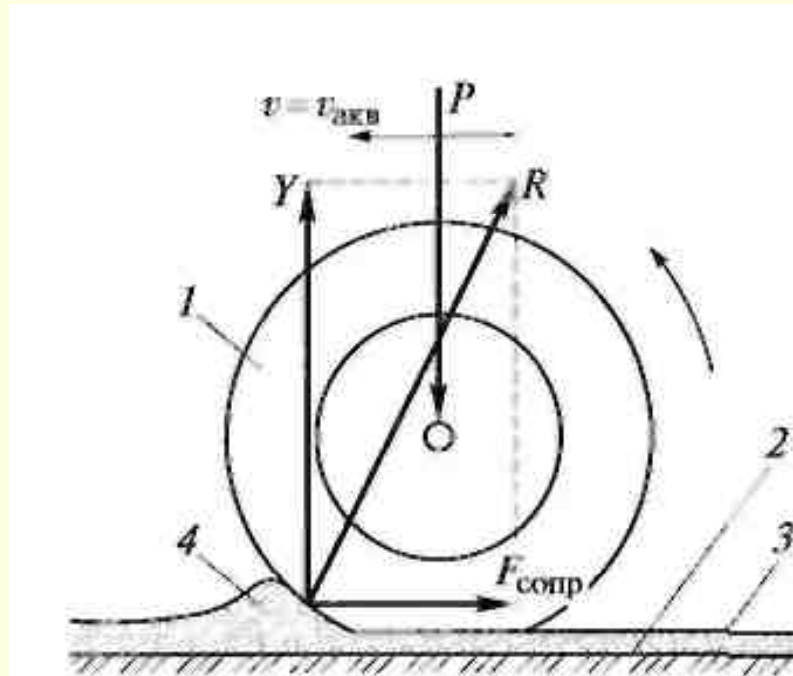


Рис. 3. Схема действия сил на колесо автомобиля при динамическом аквапланировании: 1 — колесо; 2 — покрытие; 3 — слой жидкости; 4 — головная волна жидкости;  $P$  — нагрузка на колесо автомобиля;  $Y$  — вертикальная реакция, или подъемная сила, действующая на колесо;  $R$  — суммарная реакция, действующая на колесо;  $F_{\text{сопр}}$  — горизонтальная реакция, действующая на колесо (сила сопротивления движению)



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

На возникновение аквапланирования влияют глубина слоя и плотность жидкости, давление в шинах колес, рисунок и степень износа протектора пневматиков, а также структура поверхности покрытия.

Выступы шероховатости уменьшают активную толщину слоя воды  $h_{\text{акт}}$ , которая действует на колесо автомобиля и тем самым снижает гидродинамическую подъемную силу. Активная толщина слоя воды (рис. 4) вычисляется как

$$h_{\text{акт}} = h_{\text{ст}} - R_z + h_{\text{вд}}$$

где  $h_{\text{ст}}$  — толщина слоя воды на поверхности, мм;  
 $R_z$  — средняя высота выступов, мм;  $h_{\text{вд}}$  — глубина вдавливания выступов шероховатости в шину, мм.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

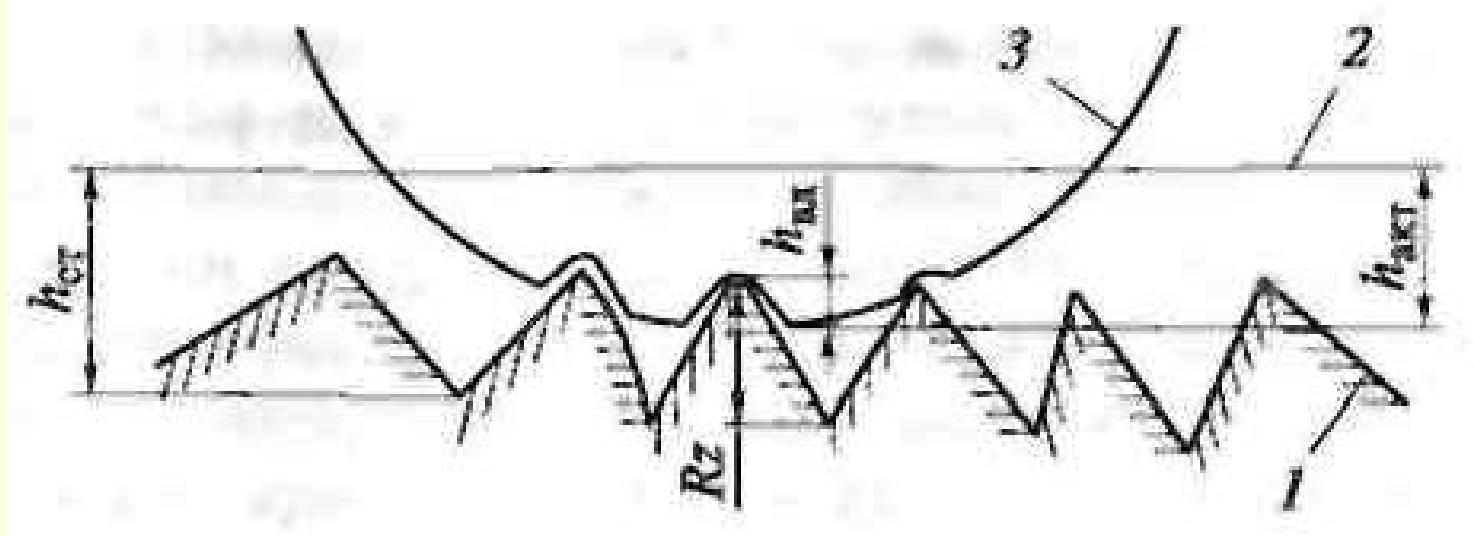


Рис. 4. Шероховатость и взаимодействие колеса автомобиля с мокрым покрытием:

1 — шероховатая поверхность; 2 — слой воды; 3 — колесо автомобиля;  $h_{ст}$  — толщина слоя воды на поверхности покрытия;  $h_{вд}$  — глубина вдавливания выступа шероховатости в шину;  $h_{акт}$  — активная толщина слоя воды;  $R_z$  — шероховатость покрытия

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

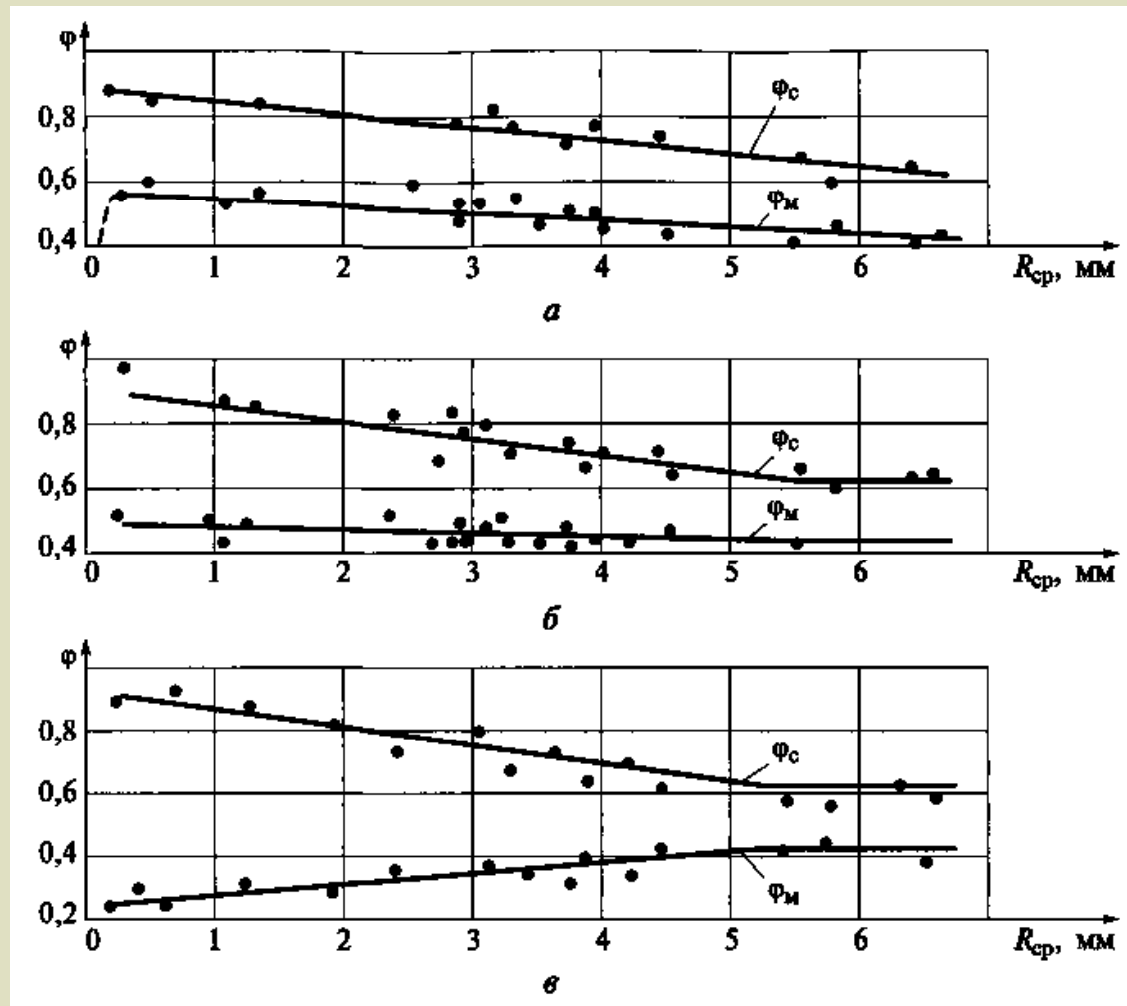


Рис. 5. Зависимость коэффициента продольного сцепления  $\phi$  от макрошероховатости  $R_{cp}$  асфальтобетонного покрытия при сухом ( $\phi_c$ ) и мокром ( $\phi_m$ ) его состоянии, температуре воздуха  $+20...+22^\circ\text{C}$  и разной скорости скольжения заблокированного колеса (шина с новым рисунком протектора): а — 40 км/ч; б — 60 км/ч; в — 80 км/ч

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

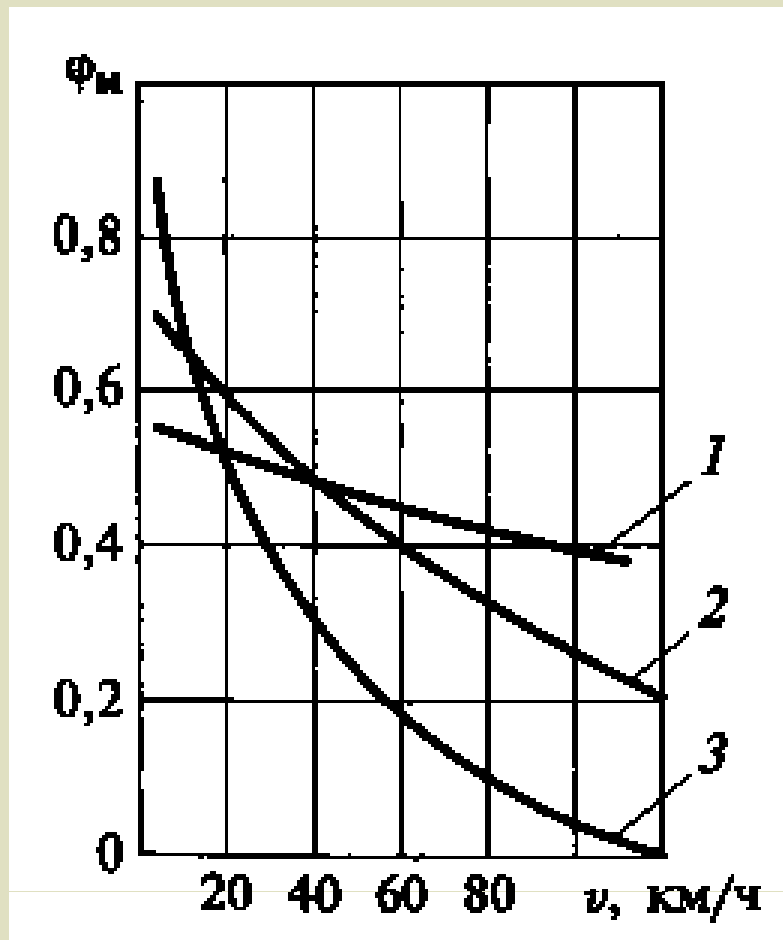


Рис. 6.  
Зависимость коэффициента сцепления  $\varphi_m$  от скорости движения  $v$  (шина с протектором):  
1, 2, 3 — средняя высота выступов 1,41; 0,71 и 0,19 мм соответственно

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Критическую глубину слоя жидкости на поверхности  $h_{кр}$ , мм, и скорость аквапланирования  $v_{акв}$ , км/ч, вычисляют по формулам, предложенным А. П. Васильевым с поправками Б. Соловчук:

$$h_{кр} = \frac{0,72Rz}{\sqrt{1 - \frac{2,35\rho}{\rho} \left(\frac{36}{v}\right)^2}} + 0,7L_n(g) + 7,6;$$

$$v_{акв} = 300 \sqrt{\frac{P_B}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{0,72Rz}{h_{акт} - g} \right)^2 \right]}}$$

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

где  $h_{кр}$  — критическая толщина слоя воды, мм;  $R_z$  — шероховатость асфальтобетонного покрытия,  $R_z = 0,1... 3$  мм;  $p$  — давление в шинах колес легковых автомобилей,  $p = 0,127...0,196$  МПа;  $\rho$  — плотность жидкости на покрытии,  $\rho = 1,002$  г/см<sup>3</sup> для жидкости в первые минуты дождя, когда частицы резины, пыли и изношенного покрытия уже удалены;  $v$  — скорость движения, км/ч;  $g$  — глубина рисунка протектора,  $g = 2...8$  мм.

Аквапланирование может возникнуть при глубине слоя воды или слякоти более 2 мм уже при скорости движения более 100 км/ч. При глубине слоя свыше 10 мм и скорости движения более 120 км/ч его трудно избежать даже на шероховатом покрытии и при шинах с хорошим протектором.

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

### **Роль колеи в формировании критической глубины слоя воды.**

Во время дождя слой воды образуется даже на идеально ровной поверхности дороги, а при небольших деформациях дорожной одежды, как в продольном так и в поперечном сечении вода собирается в любых впадинах, и в первую очередь в колеях.

Установлено, что вода, собираясь в колеях, создает узкий или широкий поток, который зависит:

- от интенсивности и продолжительности дождя;
- формы (глубины колеи, ширины между гребнями) и типа колеи — одиночная, двойная или тройная;

• продольного и поперечного уклона дороги;

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

---

- продольного и поперечного уклона дороги;
- шероховатости покрытия и типа укрепления, состояния неукрепленных обочин.

Осадки в виде дождя могут вызвать критическое наполнение водой внешней колеи при определенных соотношениях интенсивности и продолжительности дождя, а также глубины колеи (табл. 1).

Анализ показывает, что проливной дождь может наполнить водой внешние колеи уже в течение 1,5... 3 мин, а внутренние колеи — в течение 5 мин.



## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Таблица 1. Время наполнения водой внешней колеи до критической глубины в зависимости от интенсивности дождя

Интенсивность дождя, л/(с · га)	Глубина колеи, мм	Время наполнения водой колеи до критической глубины, мин
54	15	5
	20	4
	30	3,5
	40	3
46	15	6
	20	5
	30	4
	40	3,5

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Сцепные качества уплотненного слоя снега на покрытии также зависят от прочности снега, которая в свою очередь зависит от его плотности и температуры. Ориентировочные значения коэффициента сцепления при скоростях измерения 40... 60 км/ч и температуре воздуха -10...-20 °С составляют:

Прочность снега, МПа .....	0,2	0,4	0,6
Коэффициент сцепления .....	0,30 ... 0,45	0,25 ... 0,35	0,20 ... 0,30
Прочность снега, МПа .....	0,8	1,2	
Коэффициент сцепления .....	0,17 ... 0,25	0,15 ... 0,21	

## Лекция №6 – РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

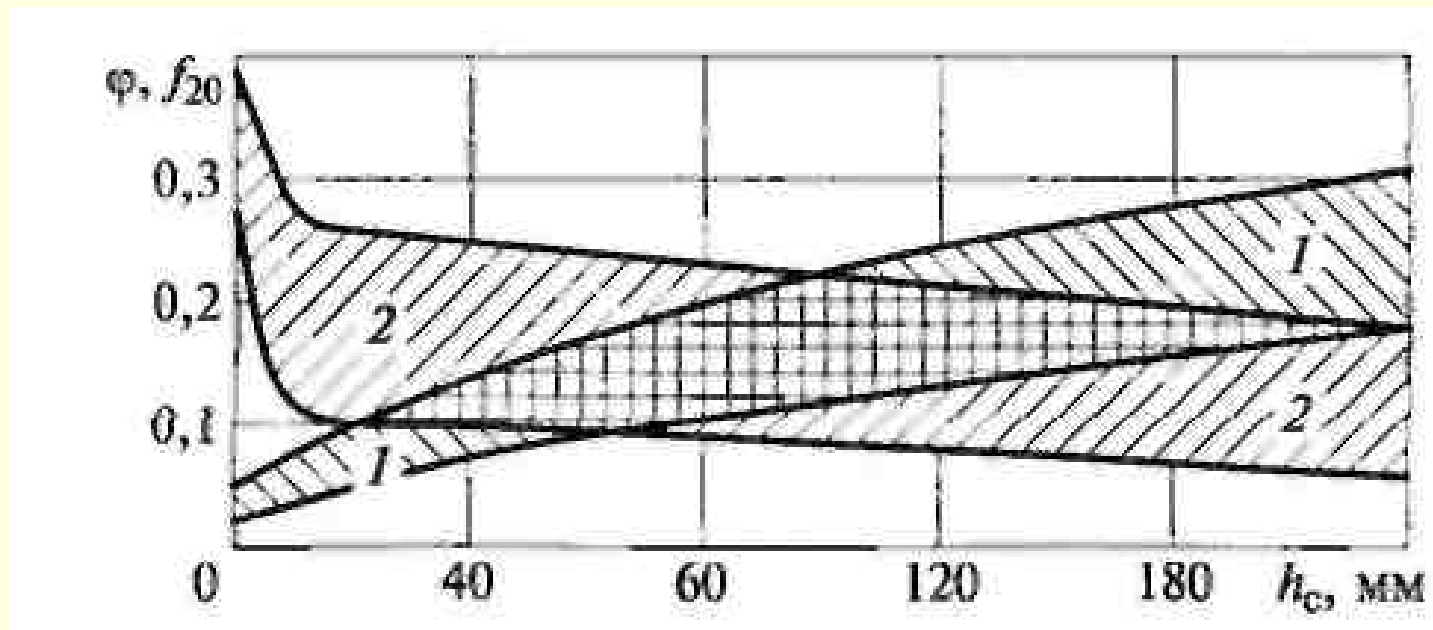


Рис.7. Зависимость коэффициентов сцепления  $\varphi$  (2) и сопротивления качению снега  $f_{20}$  (1) от толщины снежных отложений  $h_c$