

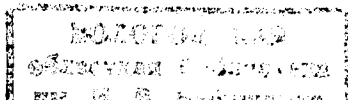
В.М.Трибунский

ИЗОЛИРУЮЩИЕ ПРОСЛОЙКИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

K1046714



МОСКВА
"ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ"
1986



6П6 6П6. 105.0
Т67 УДК 630* 625.731.7/3
43.905.0

Трибунский В.М. Изолирующие прослойки лесовозных дорог. — М.: Лесн. пром-сть, 1986. — 72 с.

Приведены основные сведения о нетканых материалах армированной битумированной бумаге, отработанных синтетических прессовых сукнах и сетках, а также других отходах целлюлозно-бумажной промышленности, пригодных для строительства, ремонта и содержания дорог. Обобщены технико-экономические показатели дорог с полимерными материалами и приведена оценка эффективности их строительства и эксплуатации.

Для инженерно-технических работников.

Табл. 19, ил. 21, библиогр. — 28 назв.

Рецензент А.С. ВИШНЯКОВ (СевНИИП)

3905010000 — 007
Т ————— 21—86
037 (01) — 86

© Издательство "Лесная промышленность", 1986 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На апрельском (1985 г.) Пленуме ЦК партии, июньском (1985 г.) совещании в ЦК КПСС было подчеркнуто, что ускорение научно-технического прогресса партия рассматривает как главное направление своей экономической стратегии, основным рычагом интенсификации народного хозяйства и повышения его эффективности.

Анализ информации и проведенных исследований показывает, что одним из основных направлений научно-технического прогресса в строительстве автомобильных дорог является разработка и внедрение новых технических решений и новых эффективных материалов, повышающих прочность и надежность дорог, снижающих затраты на их строительство и эксплуатацию.

Одним из таких решений является применение полимерных материалов в виде изолирующих прослоек, предотвращающих перемешивание переувлажненного глинистого грунта с материалами дорожной одежды, распределяющих нагрузки от колес автомобилей на большую площадь подстилающего грунта, снижающих неравномерность деформаций дорожной одежды и позволяющих более полно реализовать прочность грунтов и дорожно-строительных материалов, снизить их расход и объем работ по транспортировке, укладке и уплотнению привозных материалов. Перенесение работ со строительной площадки в сферу промышленного производства позволяет повысить производительность труда, снизить стоимость и ускорить сроки строительства дорог.

В качестве прослоек могут использоваться тканые и нетканые синтетические материалы, армированная битумированная бумага, отработанные синтетические сукна и сетки бумагоделательных машин и другие материалы.

С начала экспериментального применения прослоек на лесовозных дорогах прошло более десяти лет и полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности этого направления в совершенствовании дорожных конструкций.

В работе даны практические рекомендации по проектированию, строительству и ремонту дорог с применением изолирующих прослоек.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Влияние транспортных средств и природных факторов на состояние автомобильных лесовозных дорог. Лесосырьевая база Минлесбумпрома СССР располагается в первой и второй дорожно-климатических зонах, характеризующихся избыточным увлажнением грунтов вследствие превышения осадков над испарением и высокого уровня грунтовых вод. Свыше 30 % протяжения дорог приходится на мокрые места (3-й тип местности по условиям увлажнения), что связано с усложнением технологии строительства.

Для обеспечения установленного объема лесозаготовок необходимо постоянное освоение новых площадей, что требует опережающего строительства сети лесовозных дорог, работоспособных при любых погодных условиях.

В среднем за последний период ежегодно строится около 7 тыс. км дорог постоянного действия (срок эксплуатации 5 и более лет) и 3,5 тыс. км реконструируется. Строительство временных лесовозных дорог (усов) сроком действия до одного года составляет около 30 тыс. км [16].

Средний объем вывозки по 1 км временной дороги колеблется в пределах 3...10 тыс. м³, постоянной — 250...5000 тыс. м³. Независимо от категории дороги вывозка леса осуществляется одними и теми же типами автопоездов.

В последние годы повышение производительности труда на вывозке леса обеспечивается благодаря изменению структуры парка лесовозных автопоездов в пользу автопоездов на базе автомобилей МАЗ и КрАЗ (полной массой до 40 т) с высокими осевыми нагрузками до 100 кН и давлением шин на покрытие до 0,55 МПа.

В практике эксплуатации лесовозных автопоездов нередко отмечается их перегрузка, приводящая к значительному повышению осевых нагрузок, вызванных неправильным распределением нагрузок на коники тягача и роспуска из-за изменчивости длины и объема хлыстов, неравномерного распределения хлыстов по ширине коников, наличия поперечного уклона покрытия, продольных и поперечных неровностей. Недооценка влияния перегрузки осей автопоездов при проектировании лесовозных дорог и расчете толщины дорожных одежд увеличивает затраты на эксплуатацию и ремонт дорог.

Протяженность эксплуатируемых пять и более лет автомобильных лесовозных дорог Минлесбумпрома СССР превышает 90 тыс. км. Из них дороги с твердым покрытием составляют 55 %, грунтовые — 30 % и зимние — 15 %. Основу сети лесовозных дорог составляют дороги с гравийными дорожными одеждами. Их протяженность составляет около 43 тыс. км, по ним вывозится свыше 85 млн. м³ древесины. Средний годовой грузооборот лесовозных гравийных дорог 150 тыс. м³.

Гравийные дорожные одежды проектируются, как правило, двухслойными. Верхний слой для улучшения эксплуатационных показателей устраивают из гравийных смесей оптимального состава с относительно высоким содержанием мелких фракций, что повышает связность и водонепроницаемость покрытия. Нижний слой (основание), не подвергающийся непосредственному воздействию природных факторов и колес автомобилей, устраивают из оптимальных смесей с относительно низким содержанием мелких фракций, что обеспечивает более высокую прочность дорожной одежды. Расход гравийного материала на 1 км дороги в зависимости от ее категории и толщины дорожной одежды колеблется от 1000 тыс. м³ до 7000 м³ [17].

Протяжение дорог с колейными железобетонными плитами около 3 тыс. км. Железобетонные плиты шириной 1 м укладываются на песчаный или гравийно-песчаный подстилающий слой толщиной 15–40 см в зависимости от типа местности и грунтов земляного полотна.

На магистралах с двумя полосами движения порожняковая полоса устраивается из гравийно-песчаной смеси. Межколейное пространство и обочины отсыпаются из песка или гравийно-песчаной смеси. На 1 км дороги требуется около 300 м³ железобетона и 1000 . . . 2000 м³ гравийно-песчаной смеси или песка.

В отрасли имеется небольшое протяжение дорог с дорожными одедами, включающими слои из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Для строительства 1 км такой дороги требуется 120 . . . 180 т цемента для укрепления грунта и 10 . . . 40 т битума для устройства слоя износа из битумоминеральной смеси.

Протяжение лежневых и грунтолежневых дорог около 3 тыс. км. Расход древесины на 1 км дороги составляет в зависимости от грунтово-гидрологических условий 600 . . . 1200 м³. Грунтовых дорог, наименее пригодных для обеспечения устойчивости работы предприятий, в отрасли около 32 тыс. км.

На предприятиях отрасли ежегодно строится 15–20 тыс. км усов летнего действия. В сложных грунтовых условиях на них устраиваются покрытия с применением древесины. На покрытия усов расходуется до 7–15 % заготовленной древесины [17].

Высокий расход древесины вызывается необходимостью обеспечить надежный проезд лесовозных автопоездов большой грузоподъемности. Наиболее распространены в настоящее время деревянно-лежневые усы.

Для снижения расхода древесины некоторые леспромхозы переходят на многократное использование лежней колесопроводов и шпал. Однако трудоемкость работ при этом не снижается. В ряде случаев повторное использование древесины колесопроводов нецелесообразно из-за значительного износа при проходе тяжелых многооперационных машин на гусеничном ходу, которые имеют низкую проходимость и на слабых грунтах их приходится пропускать по усам.

В последние годы началось применение сборно-разборных щитовых покрытий различных типов. Они отличаются способами скрепления брусьев (металлическими шпильками или деревянными нагелями) и соединения щитов в колесопроводы (прямой стык, различные вы-

резы и уступы, металлические оголовники, укладка под стык сдвоенных и утолщенных шпал). Многократное использование щитовых покрытий позволяет механизировать работы, снизить трудоемкость и расход древесины. Для изготовления щитов на 1 км дороги требуется 350 . . . 450 м³ древесины.

К эксплуатационным недостаткам колежных покрытий (лежневых и щитовых) следует отнести: низкие скорости движения и сложность управления автопоездами, необходимость в высококвалифицированных водителях, длительные перерывы в движении при сходе груженых автопоездов с колесопроводов, невозможность проезда после снятия щитов, разборки или разрушения лежневых покрытий.

Поэтому понятно стремление лесозаготовителей максимально использовать грунтовые и гравийные усы, хворостяную подушку и зимние дороги.

Грунтовые дороги наиболее дешевые и обладают удовлетворительными эксплуатационными качествами в сухие периоды года. Однако в большинстве лесозаготовительных районов из-за сложных грунтово-гидрологических условий и высоких давлений от колес автопоездов использование грунтовых дорог не эффективно. Более широкое распространение грунтовых дорог возможно только в случае использования автопоездов с широкопрофильными шинами низкого давления.

Хворостяные усы при невысокой стоимости строительства без постоянного, тщательного содержания и ремонта ненадежны в эксплуатации из-за образования глубоких выбоин.

Работоспособность хворостяных усов повышают отсыпкой гравийно-песчаной смеси на хворостяную подушку. Однако требуется относительно высокий расход привозного материала для обеспечения достаточной работоспособности дороги. Это связано со значительными вертикальными деформациями хворостяной подушки при проходе колес автопоездов. Из-за деформаций песок проходит через сучья и перемешивается с грунтом, кроме того, гравийно-песчаная смесь в тонком слое на хворостяной подушке не уплотняется, что снижает ее прочность и приводит к колееобразованию.

Усы с покрытиями из гравийно-песчаных смесей имеют хорошие эксплуатационные показатели и строятся при наличии близко расположенных карьеров. На мокрых местах, при невозможности возведения земляного полотна из резервов, требуется до 1500 . . . 2000 м³ гравийно-песчаной смеси на 1 км.

Рассмотрение существующих конструкций дорог_г показало, что для их строительства необходимо значительное количество материалов (железобетона, цемента, щебня, гравийно-песчаной смеси, лесоматериалов и т.д.), большие трудозатраты, специальная дорожно-строительная техника и транспортные средства. И все же устойчивая, ритмичная работа лесовозного транспорта в теплый период года не всегда четко обеспечивается из-за низких эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог.

Деформации и разрушения лесовозных дорог и их основные причины. Под действием многократных проходов лесовозных автопоездов и при-

родных факторов при неблагоприятных обстоятельствах происходит постепенное накопление деформаций и частичных разрушений дорожной одежды, приводящее к снижению скоростей движения транспортных средств и в некоторых случаях к невозможности проезда.

Результаты ежегодных обследований и испытаний автомобильных лесовозных дорог штампом и статическим нагружением колеса расчетного автомобиля, устройства поперечных разрезов, лабораторных исследований взятых при этом образцов грунтов и материалов дорожной одежды, анализ литературных источников [9, 21] позволяют достаточно полно представить характерные деформации и разрушения лесовозных дорог и выявить их причины. Только в отдельных случаях деформации и разрушения дорог можно объяснить одной причиной, но, как правило, они возникают из-за одновременного действия нескольких факторов. Рассмотрим влияние некоторых из них на основание, земляное полотно и дорожную одежду. Слабыми считаются естественные мокрые основания, сложенные торфом, илами и глинистыми грунтами с высокой влажностью, деформация которых может привести к значительным и неравномерным осадкам или нарушениям устойчивости земляного полотна [24].

К недостаточно прочным относятся естественные основания из переувлажненных (тугопластичных и мягкопластичных) глинистых грунтов в случаях, когда общая осадка основания превышает 0,1 м [24].

Ориентировочно к слабым и недостаточно прочным можно отнести грунты с модулем деформации ниже 5 МПа. Насыпи, возведенные на этих основаниях, проседают из-за уплотнения грунта или выжимания его в стороны (рис. 1).

Неравномерная осадка подошвы насыпи происходит преимущественно при возведении земляного полотна и в первый период эксплуатации. Очертание подошвы насыпи в первом приближении можно представить дугой окружности с радиусом равным

$$R = (a^2 + 2b^2) / 8b, \quad (1)$$

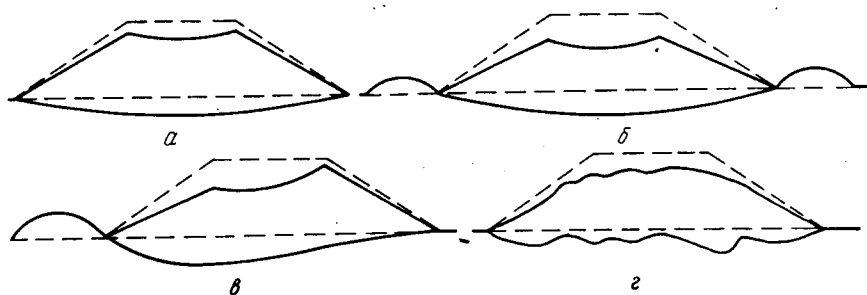


Рис. 1. Деформации грунтового основания:

а — равномерная деформация; *б* — двухстороннее выжимание грунта; *в* — одностороннее выжимание грунта; *г* — неравномерная деформация

где a — ширина земляного полотна понизу; b — наибольшая величина осадки под центром насыпи.

Осадка подошвы насыпи на торфе зависит от его мощности и физико-механических характеристик. Осадка подошвы насыпи средней высотой 1 м на переувлажненных глинистых грунтах может составлять 0,2 м и более. При осадке основания происходит неравномерная деформация земляного полотна и расположенной на нем дорожной одежды. В результате на поверхности дорожной одежды появляются неровности. Их величину можно приближенно оценить исходя из предположения, что неравномерная часть осадки, проявляющаяся на поверхности покрытия, составляет 0,2 . . . 0,3 общей ее величины [1]. Например, в случае осадки 0,15 м величина неровностей на покрытии только по одной этой причине составит 3—4 см, что неблагоприятно скажется на эксплуатационных качествах дороги.

Деформации земляного полотна являются одной из причин, вызывающих снижение эксплуатационных показателей лесовозных дорог. Основные виды деформации земляного полотна приведены на рис. 2.

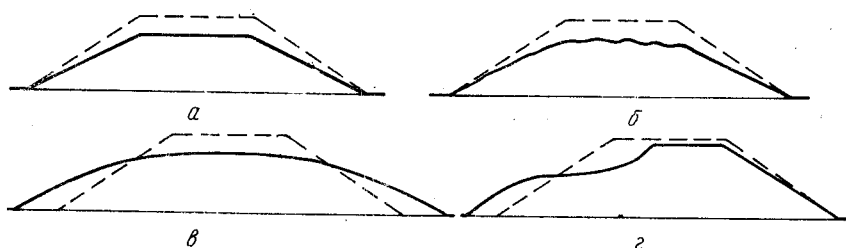


Рис. 2. Деформации земляного полотна:

a — равномерная осадка уплотнения во время эксплуатации; $б$ — неравномерная осадка; $в$ — расползание насыпи; $г$ — сползание откосов

Осадки земляного полотна могут происходить из-за переувлажнения или недостаточного уплотнения грунтов, использования непригодных в данных условиях грунтов и других причин.

Расползание земляного полотна вызывается недоуплотнением грунтов и особенно в нижних слоях насыпи, переувлажнением земляного полотна, беспорядочной отсыпкой разнородных грунтов и наличием в основании слабых грунтов.

Сползание откосов происходит при их излишней крутизне, применении слабых грунтов, недоуплотнении и переувлажнении.

В зоне контакта земляного полотна и дорожной одежды происходят процессы, влияющие на прочность дорожной конструкции. Важнейшие из них: взаимопроникание глинистых грунтов и гравийно-песчаных материалов и неравномерная деформация подстилающего грунта, связанная с неоднородностью его физико-механических свойств. Песчаный слой, укладываемый на поверхность земляного полотна из глинистых грунтов, должен обеспечивать отвод воды, прерывание капиллярного

поднятия воды из земляного полотна, снижение морозного пучения за счет теплоизоляции и поглощения части воды.

Однако в некоторых условиях во время эксплуатации дороги происходит снижение толщины песчаного слоя из-за взаимопроникания глинистых грунтов и песчаных частиц. Исследования, проведенные проф. Г.И. Покровским [19], показали следующее. При статических нагрузках проникание глины в песок не имеет практического значения. При динамических нагрузках за счет передачи части давления на воду происходит снижение внутреннего трения и даже переход в некоторых случаях грунта в текучее состояние. В результате уменьшения связности более подвижный грунт проникает в менее подвижный.

Для учета влияния времени эксплуатации или грузооборота дороги на глубину взаимопроникания грунтов проф. Г.И. Покровским была разработана теория диффузии песка и грунта основания. Проведенные обследования дорог, лабораторные и полевые испытания и расчеты позволили сделать следующие выводы:

- толщина дренирующего песчаного слоя на одном километре колеблется от 0 до 20 см;

- проникание песка в грунт почти всегда происходит в насыпях и только в редких случаях в выемках;

- под влиянием проникания происходит изменение свойств смежных грунтов;

- наибольшая интенсивность взаимопроникания отмечена при избыточной влажности и недостаточном уплотнении подстилающего грунта;

- при использовании супеси в качестве изолирующего материала достаточна толщина слоя 5 см.

По данным проф. А.Я. Тулаева, на дорогах с асфальтобетонными покрытиями и песчаными дренирующими слоями на насыпях высотой 0,3 . . . 0,6 м из пылеватых суглинков средняя скорость взаимопроникания достигала 6,5 — 8 мм/год в первые 10 . . . 12 лет, снижаясь в последующие годы до 3 мм/год. Толщина слоя взаимопроникания при усовершенствованных покрытиях может составлять 5 . . . 15 см в зависимости от влажности и плотности глинистых грунтов и зернового состава песка [20].

В нормативных документах указывается, что при укладке крупнопористого материала на глинистый грунт должна устраиваться изолирующая прослойка, препятствующая взаимопрониканию пористого материала и увлажненного грунта, толщиной не менее 5 см. Однако эта рекомендация практически невыполнима, так как планировка тонкого слоя приводит к деформациям земляного полотна и выдавливанию переувлажненного глинистого грунта на поверхность песчаного слоя и, кроме того, даже в благоприятных условиях невозможно обеспечить одинаковую толщину слоя. Аналогичные явления могут происходить при укладке и уплотнении слабосвязанного зернистого материала насыпи на мокрых основаниях, сложенных илами и переувлажненными глинистыми грунтами.

Вероятность проникания переувлажненного глинистого грунта в зернистый материал дорожной конструкции очень высока и недооценка

этого обстоятельства при проектировании и расчете дорожной конструкции приводит к снижению реальной прочности дорожных одежд.

В ряде случаев земляное полотно автомобильных лесовозных дорог сооружается из переувлажненных глинистых грунтов, увлажнение грунтов происходит также в весенний период, кроме того, во время дождей, чтобы не простаивала дорожно-строительная техника, нередко производят отсыпку зернистого материала на переувлажненный грунт.

В результате в период строительства и эксплуатации происходит проникание в нижние слои дорожной одежды переувлажненных глинистых грунтов, что приводит к снижению или потере прочности дорожной конструкции. Обследование участков автомобильных лесовозных дорог, находящихся весной в неудовлетворительном состоянии, показало, что толщина загрязненного слоя гравийной дорожной одежды может доходить до 0,4—0,5 м и под колеяным железобетонным покрытием до 0,1 — 0,15 м, или до 50 . . . 100 % толщины дорожной одежды.

Кроме того, было отмечено выдавливание переувлажненного грунта через неявно выраженные по глубине трещины на поверхности покрытия. Гравийно-песчаный материал в этих случаях был рыхлым и поддавался разработке лопатой. При движении автомобилей происходило перемешивание выдавливаемого грунта с гравийно-песчаным материалом и быстро прогрессирующее разрушение дорожной одежды. Колеи заполнялись смесью в текучем состоянии, движение транспорта затруднялось или становилось невозможным. Ремонт путем досыпки нового гравийно-песчаного материала положительных результатов не давал. Разрушение дороги в этом случае объясняется целым рядом причин, из которых следует выделить наличие переувлажненного грунта, проникающего через дорожную одежду.

Наиболее характерными деформациями и разрушениями гравийных дорожных одежд являются: волны, колеи, выбоины, просадки.

При существующих дорожных конструкциях материал дорожной одежды теряется в основном за счет его выдавливания в стороны при изменении первоначального продольного и поперечного профиля дороги, а также из-за перемешивания с грунтом. Во время работ по содержанию и ремонту дороги грейдер перемещает гравийно-песчаный (щебеночный) материал и восстанавливает первоначальный профиль, но обеспечить проектную прочность уже невозможно, так как слой гравийно-песчаного (щебеночного) материала в смеси с переувлажненным грунтом имеет низкую прочность.

Таким образом, деформация и разрушение дорожной одежды являются итогом целого ряда причин. Основные из них: неоднородность свойств и недоуплотнение грунтов земляного полотна, избыточное увлажнение, низкое качество материалов и несоответствующая нагрузкам толщина дорожной одежды, недостаточная обоснованность и точность методов расчета лесовозных автомобильных дорог с переходными и низшими типами покрытий. Последняя причина связана с устройством дорожных одежд, как правило, из местных гравийно-песчаных материалов, укладываемых на земляное полотно из местных грунтов. Применение

относительно тонких дорожных одежд резко повышает роль земляного полотна в обеспечении прочности дорожной конструкции. Существующие методы учета реальных свойств применяемых местных материалов не могут полностью обеспечить высокое качество лесовозных дорог.

Поэтому для сохранения эксплуатационных качеств дорог, снижения расходов на их содержание и ремонт приходится прибегать к весеннему (осеннему) закрытию дорог в некоторых случаях на довольно длительные периоды, что приводит к нарушению ритмичности работы лесозаготовительных предприятий и снижению экономических показателей.

В настоящее время, чтобы избежать этих неблагоприятных последствий, при строительстве лесовозных дорог используют два способа. Первый: на слабых или недостаточно прочных основаниях укладывают поперечный настил и на нем устраивают земляное полотно. При этом расходуется значительное количество древесины 600 м³ и более на 1 км. Второй: увеличение толщины дорожной одежды для компенсации влияния неучтенных при проектировании дороги факторов, так как в случае разрушения дорожной одежды для ее ремонта требуется в 2–3 раза больше гравийно-песчаных материалов, чем для предотвращения разрушения.

В последние годы благодаря развитию химии и текстильной промышленности появились новые материалы, позволяющие принципиально изменить подход к проблеме повышения прочности и совершенствования лесовозных дорог.

Функции полимерных материалов в дорожных конструкциях. Проектирование и расчет дорожной конструкции — сложная технико-экономическая задача. При ее решении требуется учитывать, с одной стороны, экономичность и устойчивость работы автомобильного транспорта, а с другой, — необходимость максимального снижения стоимости строительства за счет устранения избыточного запаса прочности. В период вывозки леса дорога должна быть ровной и прочной, несмотря на промерзание и оттаивание, увлажнение осадками и грунтовыми водами, воздействие динамических нагрузок и другие неблагоприятные факторы.

Точность расчета толщин дорожной одежды ограничена из-за неизбежности колебаний состава и свойств гравийно-песчаных смесей и местных грунтов, используемых для строительства лесовозных дорог.

Неоднородность прочностных показателей грунта по площади общеизвестна и ее наличие не требует особых доказательств. Выбоины, ямы, неровная поверхность на эксплуатируемой грунтовой дороге наглядно демонстрируют неравнопрочность грунта. При испытаниях поверхности грунта ударником Союздорнии в большинстве случаев количество ударов в соседних точках различно и это различие может быть значительным.

Для учета неоднородности показателей грунтов были предложены графики рассеяния Маслова Н.Н. [15]. Анализ графиков показывает значительную изменчивость (в 2–3 раза) показателей грунтов от точки к точке.

Важнейшими причинами неоднородности грунтов земляного полотна по прочности являются:

специфические условия накопления осадков, их последующее формирование и видоизменение;

деятельность биосферы (флоры и фауны);

различия в плотности, влажности и деформативности грунта по глубине и площади;

нарушения технологии при возведении земляного полотна и устройстве дорожных одежд;

различная величина напряжений, передаваемых на грунт колесами автомобилей при движении по неровной поверхности дорожной одежды.

Все используемые в дорожной практике расчетные методы основываются на полуэмпирических зависимостях или теории упругости, где формулы выводятся для многослойных систем с одинаковыми по площади показателями.

В реальных условиях грунт в соседних объемах может находиться в упругом и пластичном состояниях. При воздействии нагрузки на такой подстилающий грунт в одних точках происходят обратимые, а в других необратимые деформации, поверхность грунта получает другие очертания, в расположенных выше зернистых материалах, как следствие, возникают неравномерные деформации. Могут происходить изменения первоначальной толщины дорожной одежды и, как следствие, появятся неровности, которые приведут к ускорению разрушения дорожной одежды.

Теория неравнопрочных по площади грунтов, позволяющая учесть их неоднородность, практически не разрабатывалась из-за значительных математических трудностей, связанных с резким изменением прочностных и деформативных показателей близко расположенных объемов грунта, а также из-за отсутствия эффективных методов и материалов для повышения равнопрочности подстилающего грунта.

Расчетные показатели грунтов, включающие сведения о неоднородности грунтов, определяют параметры дорожной конструкции, объемы и стоимости работ, поэтому необходима разработка методов их учета, особенно при проектировании дорог с изолирующими прослойками, дающими возможность при правильном подборе их материалов в значительной мере сгладить неоднородность.

Вопросы учета неоднородности грунтов имеют существенное значение для повышения точности расчетов, так как грунты отличаются от идеальной модели, положенной в основу классической теории упругости, отсутствием сплошности, наличием структурных деформаций, являющихся разрывными и необратимыми, наличием начальных напряжений, нелинейным законом деформации, неоднородностью по глубине, анизотропией, изменчивостью свойств в зависимости от влажности и других причин [11].

На основе механики сплошной среды разработаны теоретические решения, позволяющие учитывать некоторые случаи неоднородности: анизотропность грунтов; изменение прочности по глубине; наличие под грунтом жесткого несжимаемого слоя; многослойность грунтов.

Для случая поверхности земляного полотна неоднородным по площади будем считать грунт со случайно распределенными, не зависящи-

ми от координат показателями (прочность, влажность, плотность и вертикальная отметка).

В практике строительства дорог неравнопрочность грунта учитывается коэффициентом вариации модуля упругости (деформации). Величина коэффициента вариации оказывает значительное влияние на расчетную толщину дорожной одежды. Однако этим методом невозможно оценить разность осадок поверхностей рядом расположенных объемов грунта с различными прочностными показателями. Для решения этой задачи необходимо определить минимальные размеры площадок, при которых различие в прочностных показателях приведет к разным осадкам их поверхностей под действием заданной равномерно распределенной нагрузки.

1. Проявление пространственных неоднородностей и кривых распределения содержания элементов в пробах

Номер варианта	Размеры неоднородности по сравнению с размерами проб	Зависимость содержания в пробе от координат пространства (характеристика содержания как статистического объекта)	Основные причины, определяющие форму кривых распределения, и общая характеристика этих кривых
1	Много меньше размеров пробы	Отсутствует (содержание в пробе — постоянная величина, равная среднему содержанию в опробуемом объеме)	В идеальном случае кривая распределения вырождается в точку, соответствующую среднему содержанию. Практически этому отвечают кривые с весьма малой дисперсией
2	Близки к размеру пробы, но много меньше размеров опробованного объема	Отсутствует (содержание — случайная величина)	Простейшим моделям этого вида соответствуют кривые, удовлетворительно описываемые биномиальным распределением. Форма кривой определяется относительными размерами проб и неоднородностей
3	Сравнимы по величине с размером опробованного объема и значительно превышают размер пробы	Функциональная зависимость (содержание — функция координат)	Форма кривой полностью определяется видом зависимости, размером и положением опробованного объема
4	Одновременное наличие неоднородностей, сравнимых по величине: а) с размером пробы, б) с размером опробованного объема	Статистическая (содержание — случайная функция)	Форма кривой распределения зависит одновременно от причин, указанных в вариантах 2 и 3

Конечно, не следует учитывать дискретность гранулометрической структуры грунта, но необходимо принимать во внимание изменения свойств грунта, приводящие к образованию на его поверхности впадин, в которых задерживающаяся вода приводит к снижению прочности грунта и дальнейшему увеличению впадины. Необходимо экспериментально и теоретически установить пороговую величину неоднородности для различных дорожных конструкций с учетом поперечного уклона поверхности земляного полотна, крупности и распределяющей способности материала, укладываемого на земляное полотно.

Очевидно, что результаты испытаний будут отражать влияние всех неоднородностей, поэтому для выделения требующих учета неоднородностей необходима специальная методика измерений.

Вопросами выявления и количественной оценки неоднородностей занимаются различные отрасли науки. Наиболее близка к нашим проблемам геология и, в частности работа Н.Н. Боровко [4], посвященная статистическому анализу пространственных геологических закономерностей.

В итоге анализа ряда работ и табл. 1 [4], в которой приведены данные о влиянии неоднородностей различных размеров на результаты эксперимента, напрашивается вывод о целесообразности использования для дальнейшего исследования неоднородностей второго варианта. Применительно к нашим задачам это означает, что расстояние между точками испытаний должно быть близко к размеру неоднородностей, а количество испытаний превышать несколько десятков и соответствовать требованиям математической статистики.

Подстилающий грунт можно представить аддитивным случайным полем, описываемым выражением

$$u = f(x, y) + E, \quad (2)$$

где u — изучаемая переменная; x, y — координаты; $f(x, y)$ — случайная часть поля; E — случайные неконтролируемые отклонения поля от $f(x, y)$, не зависящие от координат x, y .

Деление поля на закономерную и случайную части условно и в зависимости от требований может в крайних условиях приниматься, что $f(x, y) = \text{const}$, т.е. все изменения случайны, или $E = 0$, т.е. все изменения закономерны.

Для упрощения выкладок для наших целей можно задавать поле на прямой.

$$u = f(x) + E. \quad (3)$$

Требования к исходному признаку формируются следующим образом:

измеримость, т.е. известна процедура, которая позволяет определить значение признака с допустимой погрешностью;

воспроизводимость;

изменчивость, т.е. значения признака различаются хотя бы на погрешность его измерения.

Для проектирования лесовозных дорог, учитывая значительную протяженность ежегодно строящихся дорог (свыше 25 тыс. км), относительно низкую квалификацию персонала, незначительный срок эксплуатации и т.д., в качестве исходного признака можно принять количество ударов ударником Союздорнии при испытаниях поверхности грунта в точках, расположенных на определенном расстоянии и направлении. Проведенные исследования указывают на тесную корреляционную зависимость между количеством ударов и величиной деформации грунта в этой точке.

В геологии используются следующие основные системы опробования: равномерное, случайное и многостадийное. При равномерном опробовании точки наблюдения располагаются по правильной геометрической сети, например по квадратной или ромбической. При случайном — точки выбираются наудачу, например с помощью таблицы случайных чисел. При многостадийном исследуемая территория делится на приблизительно равные части на нескольких уровнях. Например, территория разделена на 5 квадратов, которые в свою очередь делятся еще на 5 квадратов и т.д. Пункты для опробования отбираются случайным образом на каждом из уровней.

Для наших целей наиболее пригодна равномерная сеть или линия с равномерно расположенными точками испытаний.

Для определения расстояний между точками испытания рассмотрим распределение неровностей на поверхности подстилающего грунта (рис. 3) после снятия дорожной одежды и нетканого синтетического материала.

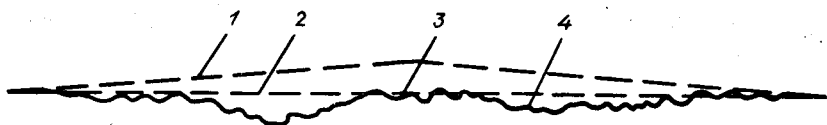


Рис. 3. Поперечный профиль подстилающего грунта:

1 — проектный поперечный профиль; 2 — фактический поперечный профиль; 3 — впадина из-за неоднородности грунта; 4 — колея

На рис. 3 можно выделить три вида отклонений от заданного поперечного профиля:

1. Отклонение при планировке поверхности земляного полотна, вызванное недостаточной точностью производства работ бульдозером.

2. Колеи, образовавшиеся в результате проходов колес автопоездов по одному следу. Средняя по вскрытым поперечникам глубина колеи 4 см, минимальная 1 см, максимальная 8 см. Средняя ширина колеи 70 см, максимальная 100 см.

3. Выступы и впадины, образовавшиеся вследствие неоднородности

подстилающего грунта. Их поверхность сглажена из-за выравнивающего воздействия прослойки. Средняя глубина впадины 2 см, минимальная 1 см, максимальная 4 см. Средний диаметр впадины 18 см, минимальный 6 см, максимальный 37 см. Точность измерений 1 см.

Очистить подстилающий грунт от гравийно-песчаной смеси для обеспечения требуемой точности измерений на вскрытых поперечных сечениях дорожных конструкций без прослойки не удалось из-за невозможности точно установить границу раздела грунта и гравийно-песчаной смеси. Приблизительные замеры с точностью 2...3 см не позволили достоверно оценить глубины и диаметры впадин, но следует отметить, что их глубина больше, а диаметры меньше, чем при наличии прослойки.

Основываясь на результатах предварительных испытаний и исходя из удобства производства работ, можно рекомендовать располагать точки испытаний на расстоянии 10 см на прямой длиной 3,5...5,0 м, расположенной под углом 45° к оси дороги. Испытания для оценки неоднородности грунта должны производиться ударником Союздорнии на характерных участках.

Но в дальнейшем следует уточнить методику проведения испытаний. Для сокращения расходов на изыскания и упрощения работ необходимо обосновать типовые графики распределения прочности грунта для различных гидрогеологических условий и разных типов земляного полотна.

На основании результатов изучения формы поверхности подстилающего грунта на вскрытых поперечниках можно представить следующую схему деформирования. Подстилающий неоднородный грунт имеет плоскую поверхность, на которую отсыпается материал дорожной одежды. В процессе разравнивания, уплотнения и эксплуатации материал дорожной одежды вдавливается в грунт и условно можно принять, что окончательно сформировавшаяся поверхность образована рядом локальных чаш деформации, имеющих форму тел вращения. Исследование закономерностей деформации дорожной одежды на неоднородном подстилающем грунте позволило получить зависимость

$$P' = P \frac{0,35 a^2}{(0,75 a^2 + b^2)}, \quad (4)$$

где P' и P — соответственно нагрузки, вызывающие одинаковую осадку дорожной одежды на неоднородном и однородном подстилающем грунте; a — средний диаметр чаш деформации; b — средняя глубина чаш деформации, в предельном случае $P' = 0,4 P$

Таким образом, при равных осадках на однородном и неоднородном грунтах, имеющих одинаковый средний модуль деформации, в последнем случае нагрузка в наиболее неблагоприятных условиях составляет только около 40 % нагрузки, действующей на однородный грунт.

Схема расчета является довольно приближенной, так как глубины чаш деформации приняты одинаковыми, то же относится и к диаметрам. Введен и ряд других допущений. Однако зависимость (3) позволяет в

первом приближении количественно оценить влияние неоднородности подстилающего грунта на прочность дорожной конструкции, доказывает необходимость применения прослоек, сглаживающих влияние неравнопрочности грунта за счет перераспределения напряжений и снижения глубины чаш деформации.

Исходя из вышесказанного и принимая во внимание основные причины деформаций и разрушений дорожной одежды, следует сделать вывод, что прочность и надежность дорожной одежды может быть обеспечена введением в конструкцию изолирующих прослоек. Эти прослойки в зависимости от назначения должны выполнять следующие функции: предотвращать взаимопроникание гравийно-песчаного (щебеночного) материала и глинистого грунта, сглаживать влияние неоднородности материалов путем перераспределения напряжений, снижать деформации, распределяя нагрузки на большую площадь подстилающего грунта, обеспечивать отвод воды из консолидирующегося грунта в случае строительства земляного полотна из переувлажненных грунтов и, наоборот, изолировать от увлажнения грунт оптимальной влажности в случае возведения из него земляного полотна.

В настоящее время за рубежом в строительстве используется ежегодно более 200 млн.м² различных текстилей. Но ни в одной стране нет нормативных документов, регламентирующих применение этих материалов в строительстве и используемых в масштабах государства. Строительные фирмы, применяющие текстили, имеют собственную нормативную документацию только для внутреннего использования. Строительство, проведение расчетов и обоснований выполняется по контрактам.

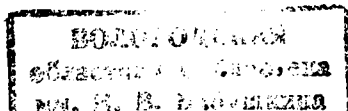
В некоторых случаях прослойки применяются без снижения толщины дорожной одежды, только в целях повышения надежности дороги. Это считается целесообразным, так как, например, стоимость 1 м² французского нетканого синтетического материала "Бидим" в 10... 15 раз ниже стоимости 1 м³ щебеночного материала. Для наших условий такие решения оправданы в Западной Сибири, где стоимость 1 м³ песка доходит до 10 р. и щебня — до 40 р., при стоимости 1 м² материала прослойки 0,6 — 2,0 р. В других регионах применение прослоек из полимерных материалов должно обосновываться технико-экономическими расчетами.

Дорожные конструкции с полимерными материалами. К настоящему времени прошли достаточную проверку и могут быть рекомендованы к широкому использованию пять дорожных конструкций с прослойками из НСМ, отработанных синтетических сукон (сеток) и АББ.

Для первых двух конструкций с использованием АББ руководящая отметка земляного полотна назначается на основании технико-экономического расчета. Земляное полотно возводится в соответствии с действующими нормами, его поверхности придаются поперечные уклоны 0,03.

Земляное полотно для второй дорожной конструкции с двумя прослойками АББ на 2- и 3-м типах местности возводится сначала на высоту 0,2 м над наивысшим уровнем грунтовых вод или расчетным уровнем длительно стоящих поверхностных вод, поверхности в обе стороны

1046714



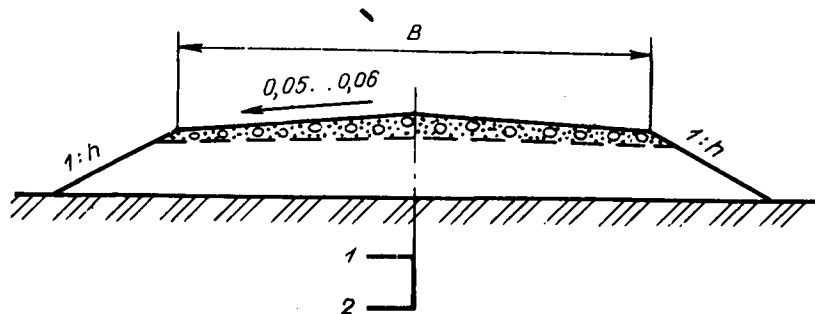


Рис. 4. Поперечный профиль дорожной конструкции с АББ на 1- и 2-м типах местности:
1 – дорожная одежда; 2 – АББ

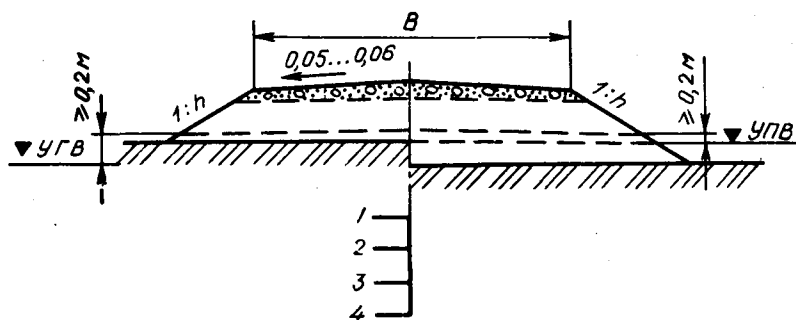


Рис. 5. Поперечный профиль дорожной конструкции с АББ на 2- и 3-м типах местности:
1 – дорожная одежда; 2 – АББ; 3 – уплотненный грунт оптимальной влажности;
4 – АББ

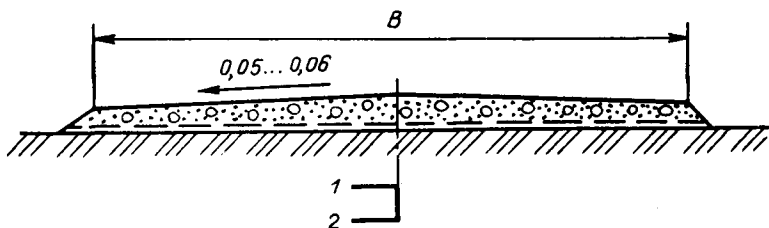


Рис. 3. Поперечный профиль дорожной конструкции с HCM на 1- и 2-м типах местности:
1 – дорожная одежда; 2 – HCM

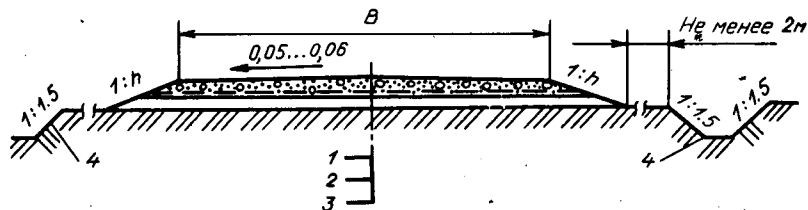


Рис. 7. Поперечный профиль дорожной конструкции с НСМ на 2- и 3-м типах местности:
1 — дорожная одежда; 2 — НСМ; 3 — грунт; 4 — канава

от оси дается поперечный уклон 0,03 и укладывается АББ примерно на глубине 0,9 м от верха дорожной одежды и затем возводится насыпь до расчетной отметки.

Первая конструкция (рис. 4). АББ укладывается на контакте грунта с нижней поверхностью дорожной одежды и используется для разделения зернистых каменных материалов с глинистыми грунтами земляного полотна, изоляции земляного полотна от просачивающейся через дорожную одежду воды, повышения прочности и долговечности дорожных конструкций за счет их армирования.

Вторая конструкция (рис. 5). Одна прослойка АББ укладывается на контакте грунта с нижней поверхностью дорожной одежды, вторая прослойка АББ размещается в земляном полотне. Кроме вышеуказанных функций, обеспечивается изоляция расположенного между прослойками грунта от увлажнения грунтовыми водами снизу.

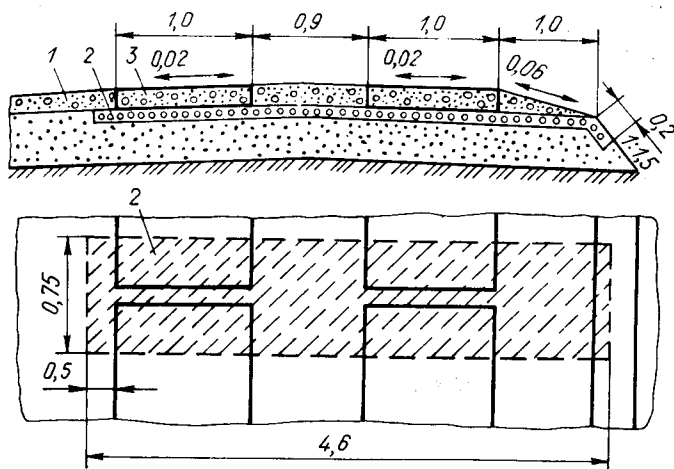


Рис. 8. Поперечный профиль дорожной конструкции с отработанными синтетическими сукнами и сетками:

1 — гравийно-песчаная смесь; 2 — отработанные синтетические материалы; 3 — железобетонная плита

Третья конструкция с НСМ или обработанными синтетическими сукнами (сетками) рекомендуется для усов и некоторых веток. Насыпь не возводится, устраивается водоотвод и при возможности придаются поперечные уклоны поверхности подстилающего грунта. Поперечный профиль конструкции приведен на рис. 6.

Четвертая конструкция с НСМ или обработанными синтетическими сукнами (сетками) рекомендуется для магистралей, веток и некоторых усов в сложных грунтово-гидрологических условиях. Отметка земляного полотна определяется технико-экономическим расчетом. Поперечный профиль конструкции приведен на рис. 7.

В пятой конструкции (рис. 8) полосы из АББ или обработанных синтетических сукон и сеток укладываются под швы для улучшения работы плит в зоне стыка за счет предотвращения выдавливания переувлажненного материала основания при воздействии динамической нагрузки от лесовозных автопоездов. Наличие полос снижает вероятность размыва основания под стыками между плитами.

Поперечный профиль основания должен соответствовать проекту. При строительстве колейных покрытий полосы шириной не менее 0,75 м укладываются под стыки железобетонных плит. Полосы из дренирующих материалов выпускаются в стороны от плит на 0,5 м. Полосы из дренирующих материалов с одной стороны выводятся на ближний откос, а с другой выпускаются на 0,5 м.

МАТЕРИАЛЫ ПРОСЛОЕК

Обоснование требований к материалам прослоек. Для лесовозных дорог, имеющих в основном гравийные покрытия, которые допускают образование колеи, легко устраняемых автогрейдером, основную роль играют свойства прослоек предотвращать перемешивание переувлажненного глинистого грунта с зернистым каменным материалом и сопротивление растягивающим напряжениям при удлинении из-за деформаций дорожной конструкции.

Сопротивление растяжению — наиболее важный показатель для прослойки. В дорожной конструкции прослойка может воспринимать растягивающие напряжения, которые недопустимы для грунтов, гравийных и щебеночных материалов. Растяжение прослойки происходит из-за образования колеи, значительной неоднородности подстилающего грунта, наличия корней, остатков пней и т.д. В этом случае возникают локальные деформации прослойки и она способствует выравниванию прочности подстилающего грунта по площади.

Определенную роль в повышении прочности дорожной конструкции играют силы трения в зоне контакта между гравийным (щебеночным) слоем и прослойкой, а также в зоне контакта между грунтом и прослойкой. Силы трения способствуют армированию гравия (грунта), прижимая частицы гравия (грунта) плотнее друг к другу, создавая более жесткую опорную поверхность и обеспечивая распределение нагрузки на большую площадь.

Таким образом, можно указать следующие, основанные на механической прочности, свойства прослоек:

перераспределение напряжений в дорожной конструкции от собственного веса и подвижной нагрузки;

повышение прочности дорожной конструкции за счет обеспечения большей ее однородности;

повышение динамической устойчивости дорожной конструкции;

улучшение условий отсыпки и уплотнения насыпи и дорожной одежды.

Варианты применения прослоек исходя из их свойств, обеспеченности гравийно-песчаными (щебеночными) материалами и типов местности по условиям увлажнения приведены в табл. 2.

Можно выделить четыре схемы работы прослойки в дорожной конструкции (рис. 9).

Первая относится к насыпям на слабых основаниях. Эффект от применения прослоек в основании насыпи достигается за счет сокращения объемов применения привозных грунтов, повышения устойчивости и снижения неравномерности осадок земляного полотна.

2. Варианты применения прослоек в дорожных конструкциях

Тип местности по условиям увлажнения	Обеспеченность гравийно-песчаными (щебеночными) материалами	
	Удовлетворительная	Неудовлетворительная
	Магистралы и ветки	
1	Одна прослойка АББ под дорожной одеждой	Две прослойки АББ (грунт в оболочке) Одна прослойка АББ под дорожной одеждой
2	Одна прослойка АББ под дорожной одеждой Прослойка НСМ под дорожной одеждой	Две прослойки АББ (грунт в оболочке) Прослойка НСМ под дорожной одеждой
3	Две прослойки АББ (грунт в оболочке) Прослойка НСМ под дорожной одеждой	Две прослойки АББ (грунт в оболочке) Прослойка НСМ под дорожной одеждой Прослойка НСМ под насыпью
1	Временные дороги (усы)	
1	Одна прослойка АББ под дорожной одеждой	Одна прослойка АББ под дорожной одеждой
2	Одна прослойка АББ под дорожной одеждой	Две прослойки АББ (грунт в оболочке)
3	Прослойка НСМ под дорожной одеждой	Две прослойки АББ (грунт в оболочке) Прослойка НСМ под дорожной одеждой

Примечание. При хорошей обеспеченности гравийно-песчаными (щебеночными) материалами прослойка НСМ под дорожной одеждой на магистралах, ветках и усах применяют при 3-м типе местности по условиям увлажнения.

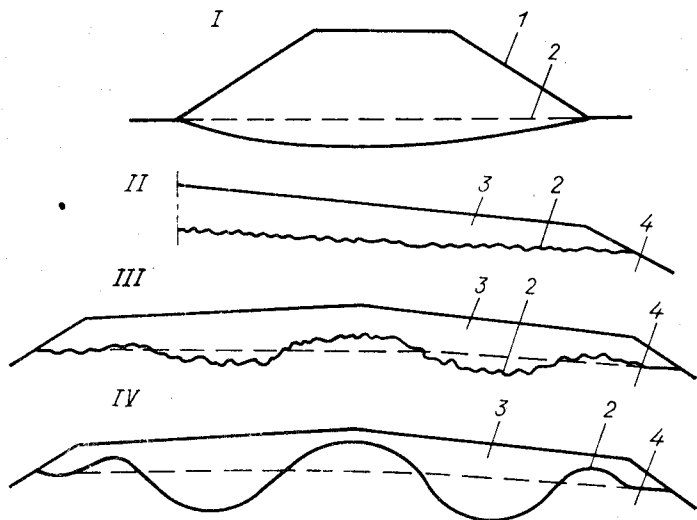


Рис. 9. Схемы работ: прослойки в дорожной конструкции:
 1 — насыпь; 2 — прослойка; 3 — дорожная одежда; 4 — земляное полотно

Три другие схемы относятся к использованию прослоек под дорожной одеждой и связаны с требованиями к сроку службы и надежности дороги и могут быть отнесены соответственно к магистралям, веткам и усам.

Деформации и разрушения дорожной одежды имеют два вида: первый — сдвиги и образование колеи в гравийно-песчаном слое при незначительных деформациях подстилающего грунта; второй — значительные деформации подстилающего грунта и образование из-за этого колеи. Первый вид разрушения объясняется низким качеством гравийно-песчаной смеси, теряющей прочность при увлажнении. Прослойка в этом случае оказывает относительно небольшое положительное влияние. Во втором виде разрушения гравийно-песчаная смесь более высокого качества, деформации и сдвиги происходят в грунте и прослойка оказывает значительное положительное влияние.

Вторая схема (магистрали) — допустимы незначительные деформации покрытия, устраняемые в процессе эксплуатации. Условия работы конструкции улучшаются за счет более благоприятного водного режима, исключения проникновения мелкодисперсных частиц грунта в материал дорожной одежды и повышения однородности прочностных показателей дорожной одежды по площади.

Третья (ветки) — допустимы средние деформации покрытия, устраняемые в процессе эксплуатации и ремонтов, и значительные деформации в конце срока службы. Условия дополнительно улучшаются за счет увеличения воспринимаемой прослойкой нагрузки при увеличении неравномерных деформаций подстилающего грунта.

Четвертая (усы) — допустимы значительные деформации покрытия и разрушения в конце срока службы. При этом колеса действуют как части одной системы и включают в работу большие площади прослойки, распределяющей нагрузки и на межколейные объемы грунта. Значительные деформации позволяют предельно использовать возможности материала прослойки и прочность подстилающего грунта.

Оценка пределов относительного удлинения прослойки и воспринимаемой нагрузки в зависимости от ее расположения в дорожной конструкции имеет важное значение при определении эффективности применения и разработке требований к материалам прослоек.

Реальные процессы, происходящие при работе дорожных конструкций с прослойками, достаточно сложны и точное их математическое описание затруднительно, а получение замкнутого решения требует введения целого ряда упрощений. Поэтому, основываясь на результатах экспериментов и обследований, используем элементарные зависимости для оценки относительного удлинения прослойки.

Проанализируем первую схему — насыпь из привозного грунта на слабом основании. Очертание подошвы приближенно представим дугой окружности, тогда относительное удлинение будет равно

$$E = (\sqrt{a^2 + \frac{16}{3} b^2} - a) / a, \quad (5)$$

где a — ширина основания насыпи; b — наибольшая осадка насыпи.

Давление, воспринимаемое прослойкой, определим по зависимости [22]

$$q = k N / 2 E_{\text{раз}}, \quad (6)$$

где k — коэффициент, определяемый по таблице (см. приложение) в зависимости от величины a и b ; N — разрывная нагрузка материала прослойки; $E_{\text{раз}}$ — относительное удлинение материала при разрыве.

Результаты расчетов при различных осадках насыпи и ширине ее основания 10 м для АББ ($N = 200$ Н/см, $E_{\text{раз}} = 0,04$) и дорнита ($N = 100$ Н/см, $E_{\text{раз}} = 0,7$) сведены в табл. 3.

При второй схеме работы прослойки ее деформации и соответствен-

3. Ориентировочные величины относительных удлинений и давлений, воспринимаемых прослойками, при различной осадке насыпи

Осадка, насыпи, м	Относительное удлинение, %	Давление, воспринимаемое прослойкой, МПа	
		АББ	Дорнит
0,5	0,66	0,00008	0,000015
0,7	1,3	0,00025	0,00002
0,9	2,14	0,0005	0,00004
1,0	2,63	0,00065	0,00006

но воспринимаемые давления зависят от неоднородности прочности земляного полотна, характеризующей глубиной и диаметром чаш деформации или коэффициентом вариации.

Коэффициент вариации определяется по результатам испытаний или по приближенной зависимости

$$C_e = \left(1 - \frac{E_{\text{расч}}}{E_{\text{макс}}}\right), \quad (7)$$

где $E_{\text{расч}}$ — расчетный модуль деформации грунта, зависящий от типа местности и возвышения над уровнем грунтовых или поверхностных вод; $E_{\text{макс}}$ — расчетный модуль деформации аналогичного грунта на первом типе местности при возвышении насыпи, соответствующем действующим нормам.

Вероятную глубину чаши деформации можно определить по зависимости

$$b \leq \frac{(0,03 E C_e - q) 2 \pi D}{2 E - E C_e}, \quad (8)$$

где q — нагрузка, воспринимаемая прослойкой; D — диаметр отпечатка следа колеса расчетного автомобиля.

4. Ориентировочные расчетные величины относительных удлинений и давлений, воспринимаемых прослойками под дорожной одеждой

Схема деформирования прослойки	Относительное удлинение, %	Давление, воспринимаемое прослойкой, МПа	
		АББ	Дорнит
Под дорожной одеждой (магистраль) на неоднородном грунте при глубине чаши деформации, см:			
1,0	0,3	0,0018	0,00016
2,0	1,2	0,01	0,0013
3,0	2,6	0,04	0,0038
Под тонкой дорожной одеждой (ветка) при предельной глубине колеи, см:			
5,0	1,3	0,01	0,00057
10,0	4,0	0,04	0,0036
Под дорожной одеждой минимальной толщины (ус) при предельной глубине колеи, см:			
15,0	5,6	0,02	0,0018
30,0	5,8	0,02	0,0018

Результаты расчетов при диаметре чаши деформации 30 см и различных ее глубинах приведены в табл. 4.

При третьей схеме работы прослойки ее деформация и соответствующие воспринимаемые нагрузки зависят от задаваемой предельной глубины колеи. Результаты расчетов для предельной глубины колеи 10 см, достигаемой в конце срока службы ветки, приведены в табл. 4. При четвертой схеме работы прослойки возможно устройство дорожной одежды минимальной толщины и допущение значительных глубин колеи.

Временная лесовозная дорога (ус) эксплуатируется ограниченный срок и после окончания вывозки не будет использоваться, поэтому в качестве расчетной примем предельную глубину колеи, определяемую клиренсом тягача.

Рассмотрим первый из возможных вариантов. Нагрузка воспринимается прослойкой в двух подколеиных зонах и межколеиной зоне. Предположим, что ширина всех зон одинакова и при ширине проезжей части 3 м равна 1 м. В этом случае величину подъема в межколеином пространстве и опускания под колесами примем равной половине клиренса тягача, т.е. $b = 15$ см.

Во втором варианте нагрузка воспринимается в основном межколеиной зоной прослойки. Ее ширину примем приблизительно равной ширине колеи тягача ($a = 2$ м), а высоту подъема прослойки от нижней части колеи равной клиренсу тягача, т.е. $b = 30$ см. Данные расчетов приведены в табл. 4.

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что расчетные относительные удлинения прослоек довольно незначительны и колеблются в пределах от 0,3 до 6 %. Расчетные воспринимаемые прослойкой нагрузки достаточно высоки — до 0,04 МПа у АББ и значительно ниже до 0,0038 МПа — у дорнита. Это различие в первую очередь объясняется тем, что относительное удлинение при разрыве у НСМ почти в 18 раз больше, чем у АББ, а прочность в 2 раза ниже.

Однако в реальных условиях из-за неравномерного деформирования прослойки (наибольшее в центре чаши деформации), анизотропности и неоднородности материалов прослойки, а также неоднородности

5. Ориентировочные требования к материалам прослоек

Место расположения прослойки и категория дороги	Требования к прослойке	
	Относительное удлинение при разрыве, %	Разрывная нагрузка, Н/см
Под насыпью (желательно с пологими откосами) на слабом грунте	2,0 ... 6,0	200 ... 600
Под дорожной одеждой:		
магистраль	2,0 ... 5,0	200 ... 400
ветка	5 ... 10	200 ... 400
ус	10 ... 15	400 ... 600

дорожной одежды и подстилающих грунтов схемы работы прослоек отличаются от предложенных выше. Для учета этих обстоятельств, основываясь на результатах экспериментов и обследований эксплуатирующихся участков дорог, введем коэффициент $k_1 = 2$ для учета относительного удлинения.

В табл. 5 приведены ориентировочные требования к материалам прослоек в зависимости от их расположения в дорожной конструкции.

Нетканые синтетические материалы. Развитие химической промышленности позволяет производить легкие, прочные, негниющие в грунте и относительно недорогие текстильные материалы, пригодные для применения в дорожном строительстве. Требования к физико-механическим свойствам материалов зависят от их расположения в дорожной конструкции и назначения дороги. Технические текстили, используемые для строительства, разделяются на две группы: тканые (плетеные) и нетканые.

Производство тканых материалов включает: получение волокна из полимера, прядение и переплетение нитей на ткацких машинах. Прочность таких материалов определяется прочностью нитей, типом их переплетения и может быть достаточно высокой. Относительное удлинение при разрыве незначительно. Применение тканых материалов ограничено из-за высокой стоимости вследствие сложности производства.

Нетканые синтетические материалы (НСМ) получают без применения прядильных и ткацких машин. НСМ состоит из беспорядочно распределенных волокон, соединенных механическими, физическими, химическими методами или их сочетанием.

Наиболее часто для изготовления НСМ используют полиамид, полипропилен или полиэфир. Полиамид обладает высокими механическими свойствами, не подвержен гниению, устойчив к относительно высоким температурам. Его основной недостаток — снижение прочности на 20—30 % под действием воды. Полипропилен устойчив против воздействия воды и ряда химических реагентов, не подвержен гниению, но под нагрузкой пластически деформируется.

Полиэфир обладает достоинствами полиамида и полипропилена и не имеет их недостатков, но стоимость его выше, чем у других полимеров. Полиэфирное волокно не подвержено воздействию плесени и других микроорганизмов, трудно воспламеняемо.

Механические характеристики различных полимеров приведены в табл. 6.

6. Механические характеристики полимеров

Характеристика при 65 % относительной влажности при 20 °С	Полиэфир	Полиамид	Полипропилен
Разрывная нагрузка, МПа	550 ... 900	500 ... 850	650
Удлинение при разрыве, %	15	20	50
Удлинение при разрыве под действием 25 % нагрузки, %	1,0	5,0	10,0

НСМ производятся на специальной установке. Гранулы полимера расплавляются и жидкий полимер продавливается через фильеры. На выходе волокна захватываются системой прядения, затем вытягиваются и направляются при помощи дефлектора на приемную ленту транспортера и соединяются термическим, химическим или механическим способом.

Термический способ заключается в том, что волокна, обработанные термопластиком с низкой точкой плавления (полиэтилен, интерполиамид и т.д.), пропускаются между двумя нагретыми прижимающими валиками. Полученный таким образом материал обладает малой деформируемостью и прочностью на разрыв.

При химическом способе волокна соединяются при помощи специального вяжущего. Полученные этим способом материалы не обладают высокой прочностью и, кроме того, вяжущие могут разрушаться под действием влаги и микроорганизмов.

Наиболее распространенным является механический способ соединения — иглопробиванием, которое осуществляется специальными иглами с крючками. Пластина с часто установленными иглами приводится в возвратно-поступательное движение, синхронно с движением материала. Иглы входят в материал и переплетают волокна между собой, придавая НСМ прочность.

Характеристики НСМ отечественного производства приведены в табл.7.

Армированная битумированная бумага. Широкое применение НСМ при строительстве лесовозных дорог сдерживается из-за трудности их получения. Поэтому были проведены поиски материалов, пригодных

7. Характеристики НСМ

Наименование материала	Вид исходного сырья	Поверхностная плотность, кг/м ²	Разрывная нагрузка, Н/см	Относительное удлинение при разрыве, %	Стоимость 1 м ² , р.
Материал дренажный волокнистый НСМ объединения Гомельстройматериалы НСМ Черниговского производственного объединения Химволокно	Полиамид	0,4	73/54	100/125	1,2
	Лавсан, капрон, нитрон	0,5	100/70	50—60	1,5
	Капрон	0,65	200	85	1,5
Дорнит:					
Ф-1а		0,6	120/100	70/130	1,8
Ф-1б		0,6	100/90	70/130	1,8
Ф-2а	Смесь штапельных, синтетических волокон	0,6	90/70	80/140	1,8
		0,6	70/50	80/140	1,8

Примечание. Числитель — по длине, знаменатель — по ширине.

для применения в качестве прослоек, которые могут выпускаться на предприятиях Минлесбумпромом СССР или являются отходами производства. Такими материалами являются армированная битумированная бумага (АББ) и отработанные синтетические сукна и сетки. АББ разработана ЦНИИБ, освоена Сегежским целлюлозно-бумажным комбинатом.

АББ состоит из двух слоев битумированной бумаги, между которыми располагается армирующая сетка из стекловолокна. В качестве бумаги используется отбор от мешочной бумаги. Для склеивания применяется нефтебитум с добавлением нафтената меди в количестве 8 . . . 12 % массы битума.

Разрывная нагрузка АББ зависит от вида армирующей стеклосетки и составляет 600 Н и выше на полосу шириной 50 мм. Относительное удлинение при разрыве зависит от типа стеклосетки. Использование АББ с высокой разрывной нагрузкой и малым относительным удлинением при разрыве повышает прочность дорожных конструкций при незначительных деформациях и расширяет область применения прослоек.

Характеристика различных материалов, пригодных в качестве прослоек, приведена в табл. 8.

8. Характеристика материалов

Наименование материала	Поверхностная плотность, кг/м ²	Разрывная нагрузка, Н/см
Зарубежные нетканые синтетические материалы (НСМ)	0,2 . . . 0,6	100 . . . 400
Отечественные материалы:		
дорнит (НСМ)	0,4 . . . 0,6	50 . . . 200
армированная битумированная бумага (АББ)	0,4	200 . . . 400

Для правильного использования материалов необходимо знать их механические свойства, в первую очередь разрывную нагрузку, относительное удлинение при разрыве, модуль деформации.

Наиболее широко применяются испытания полосок материалов. Работы проводятся согласно ГОСТ 15902.3-79 "Полотна текстильные нетканые. Методы определения прочности". На разрывной машине испытываются образцы шириной 50 мм и длиной 200 мм. Материалы испытывают при постоянной скорости растяжения. Соотношение прочности в продольном и поперечном направлениях характеризует коэффициент изотропности по прочности.

При воздействии нагрузки материал, расположенный в дорожной конструкции, не имеет возможности сужаться под действием нагрузок. В лабораторных условиях такое поведение материала можно смоделировать, прочно прижав материал фланцем к цилиндру (рис. 10). Испытания следует проводить, регистрируя нагрузку и соответствующую деформацию. По полученным данным для различных материалов строят-

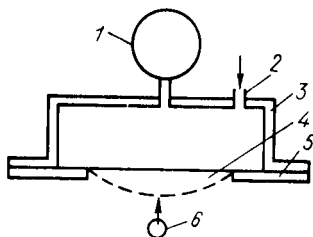
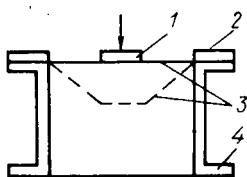


Рис. 10. Схема испытания материала при закреплении кромок:
1 — штамп; 2 — фланец; 3 — материал; 4 — цилиндр

Рис. 11. Схема испытания материала выпучиванием:
1 — манометр; 2 — трубопровод для подачи воздуха; 3 — корпус; 4 — материал;
5 — фланец; 6 — индикатор

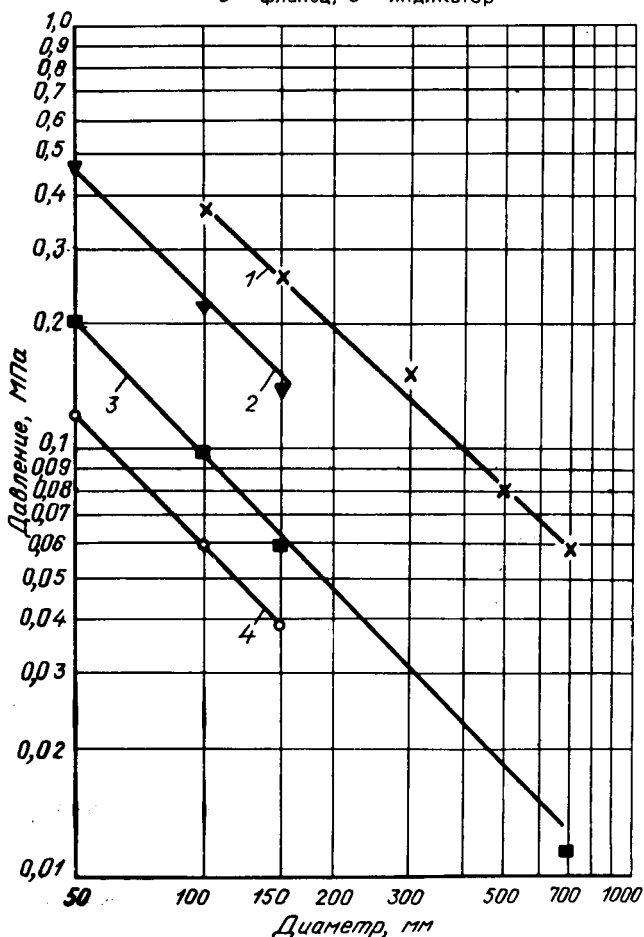


Рис. 12. Зависимость давления при разрыве материала от диаметра защемления прослойки: 1 — АББ; 2 — НСМ (полифелът); 3 — битумированная не армированная бумага; 4 — полиэтиленовая пленка

ся зависимости деформации от нагрузки, определяются прочности и модули деформации.

Еще большее приближение к реальному поведению материала в дорожной конструкции можно получить, если закрепить кромки армирующего материала по периметру и передавать на него давление воздуха или жидкости. Перед материалом должен устанавливаться легко растяжимый воздухо непроницаемый материал, чтобы исключить утечку воздуха или жидкости.

Схема устройства для испытания материалов приведена на рис. 11. Образец зажимают закручиванием гаек на болты. Давление воздуха, необходимое для выпучивания материала, создается воздушным насосом. Давление измеряется манометром. Величина выпучивания регистрируется индикатором.

Испытания образцов проводились при отверстиях различных диаметров (50, 100, 150, 300, 500 и 700 мм), соответствующих реальным диаметрам чаш деформаций в различных условиях. Построены зависимости величины выпучивания от давления при различных диаметрах отверстий. Установлены давления, при которых происходил разрыв материала, соответствующие величины выпучивания, форма и характер деформаций и т.д.

Наиболее важный результат испытаний приведен на рис. 12. Применение логарифмических шкал для абсциссы и ординаты позволяет свести к линейной зависимости между диаметром круглой гибкой прослойки и давлением при разрыве материалов. Все прямые имеют практически одинаковый наклон, расстояние между ними зависит от соотношения прочностей материалов. Для определения давления при разрыве любого материала во всем диапазоне диаметров достаточно испытать материал при одном диаметре и провести через полученную точку прямую, параллельную другим прямым.

Другие результаты испытаний использованы для уточнения методики расчета влияния прослойки на прочность дорожной конструкции.

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕМОНТ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ ПРОСЛОЕК

Особенности проектирования дорог с прослойками. Проектирование автомобильных лесовозных дорог с изолирующими прослойками представляет довольно сложную задачу, так как введение в дорожную одежду прослойки, воспринимающей высокие растягивающие напряжения, усложняет методику расчета дорожных конструкций. Первым примером подхода к расчету, учитывающему влияние прослойки, можно считать мембранную модель упругого основания [26].

Представляют интерес для учета влияния прослоек исследования проф. М.Б. Корсунского [13] предельных относительных удлинений

нежестких дорожных одежд. В этой работе на основе теоретического анализа поведения слоистой (дорожной) системы и результатов специальных экспериментов исследованы: вертикальные смещения дорожной одежды в зависимости от механических свойств отдельных слоев и подстилающего грунта; связь между смещениями одежды и относительным удлинением покрытия.

Полученные зависимости могут быть использованы при расчете дорожных одежд с прослойками, имеющими незначительные относительные удлинения при разрыве. Выпускаемые в настоящее время для дорожного строительства материалы имеют высокие относительные удлинения при разрыве и поэтому при разработке методов расчета дорожных конструкций с прослойками используют только отдельные положения работы. В частности, зависимость для определения длины растянутой зоны нижней поверхности дорожной одежды

$$l = \frac{0,71 D}{\operatorname{arctg}^2 D / h_3}, \quad (9)$$

а также зависимость для определения радиуса кривизны покрытия под центром штампа, которую после преобразований запишем в следующем виде:

$$R = \frac{D^2}{5,36 \operatorname{arctg}^2 D / h_3 b}, \quad (10)$$

где h_3 — эквивалентная толщина дорожной одежды; b — вертикальное смещение под центром штампа.

В Рекомендациях Гипродорнии по повышению качества земляного полотна путем его армирования синтетическими материалами, предназначенными для опытного применения, изложены принципы повышения надежности дорожных конструкций введением в земляное полотно и дренирующие слои НСМ, приведены необходимые сведения по выбору: отечественных НСМ, глубины их заложения в зависимости от вида дорожных одежд, величины действующих на грунт временных и постоянных нагрузок, дана технология работ.

Расчет дорожной конструкции при введении армирующего материала базируется на повышении модуля упругости (деформации) грунта или материала дренирующего слоя и снижения величины вертикальных напряжений на располагаемые ниже армирующего материала слои.

Параметры армирования выбираются по упрощенному расчету места и глубины заложения армирующего материала, а также количества армирующих слоев. В основу расчета положены полученные экспериментально зависимости работы армирующего материала в грунте или песчаном дренирующем слое и закономерности расчета дорожных конструкций, изложенные в ВСН 46—72.

Расчет параметров армирования ведется в следующей последовательности:

определяются требования к конструкции, характеристики грунтов и дорожно-строительных материалов;

устанавливается величина сжимающих напряжений, действующих на армируемый дренарующий слой или грунт земляного полотна;

выбирается глубина заложения армирующего материала с заданным значением модуля упругости;

производится проверка работы армирующего материала с позиций предотвращения в нем напряжений, превышающих допустимые в заданном режиме деформирования;

производится проверка с целью исключить в грунте земляного полотна напряжения, приводящие к его разрушению.

Расчеты дорожных конструкций по Рекомендациям довольно сложны и требуют значительного времени. Кроме того, необходимо вводить ряд дополнительных ограничений, так как при использовании арматуры с высокими модулями упругости расчетная толщина дорожной одежды получается очень незначительной (0,10 — 0,15 м) и, естественно, низкое давление дорожной одежды не может без специальных мероприятий предотвратить сдвиги НСМ при деформациях дорожной конструкции.

Проф. В.Д. Казарновский и инженер Б.П. Брантман [10], учитывая малую изученность работы прослойки на контакте слабого основания с насыпным слоем и отсутствие строгого теоретического решения, предложили для практического использования приближенное инженерное решение. В его основу положено предположение о том, чтобы не допускать превышения заданной глубины колеи, возникающей вследствие, во-первых, продавливания верхнего слоя при превышении несущей способности основания и, во-вторых, осадки основания, вызванной уплотнением слабого грунта под действием внешней нагрузки.

Предельная нагрузка, при которой не возникает выпор слабого грунта, выразится суммой:

$$P_{\text{пр}} = P^{\text{кр}} + P_{\text{тк}}, \quad (11)$$

где $P_{\text{пр}}$ — предельная нагрузка; $P^{\text{кр}}$ — критическая нагрузка на поверхность насыпного слоя, определяемая из предположения, что в подстилающем слабом грунте имеет место предельное равновесие; $P_{\text{тк}}$ — дополнительная нагрузка, требуемая для преодоления сопротивления прослойки растяжению.

$P_{\text{тк}}$ определяется в зависимости от толщины насыпного слоя, диаметра штампа, его вертикальной осадки, коэффициента трения прослойки по грунту, давления насыпного слоя на грунт, модуля деформации прослойки.

Приближенное решение Союздорнии, несмотря на целый ряд упрощений, получилось довольно сложным и вместе с тем не учитывает прочностных показателей насыпного материала и соотношение модулей

деформации материала насыпного слоя и подстилающего грунта, которые оказывают значительное влияние на распределение напряжений и в итоге на расчетную толщину насыпного слоя. Для практического применения расчета разработаны номограммы.

Для расчета конструкций опытных участков лесовозных дорог в ЦНИИМЭ был разработан упрощенный метод, который основывается на результатах экспериментов, проводившихся в течение двух лет на опытной кольцевой дороге в Крестецком леспромхозе.

— Расчет толщины дорожной одежды проводится в следующей последовательности: в зависимости от интенсивности и состава движения определяется требуемый эквивалентный модуль деформации; к величине модуля деформации грунта прибавляется величина повышения модуля деформации грунта при применении НСМ (табл. 9); исходя из полученного модуля деформации грунта по номограммам с учетом модуля деформации материала дорожной одежды определяется толщина дорожной одежды.

Параметры дорожной конструкции выбирают путем сравнения вариантов и обоснования наиболее рационального решения технико-экономическим расчетом.

Расчет приближенный, потому что полученные в условиях Крестецкого леспромхоза экспериментальные данные являются ориентировочными и требуют широкой проверки.

Вместе с тем, учитывая использование при экспериментах лесовозных автопоездов КраЗ-255Л и типичных для лесной промышленности дорожных конструкций, можно применять этот метод для приближенного расчета лесовозных дорог с НСМ.

В вопросах обоснования и расчета дорожных конструкций с прослойками еще много существенных расхождений. Предложенные расчетные схемы не полностью учитывают механику происходящих процессов и поэтому вызывают справедливые критические замечания. Имеются противоречия и в оценке эффективности применения НСМ для повышения прочности дорожной одежды.

В некоторых случаях приводятся таблицы, в которых даются рекомендации по толщинам насыпного слоя и маркам материала в зависимости от грунтовых условий, объема перевозки и транспортных средств. Рекомендации по применению французского материала бидима приведены в табл. 10.

9. Повышение модуля деформации грунта при применении НСМ

Модуль деформации грунта, МПа	Повышение модуля деформации грунта, МПа	Модуль деформации грунта, МПа	Повышение модуля деформации грунта, МПа
5,0	5,5	12,5	3,5
7,5	5,0	15,0	3,0
10,0	4,0	17,5	2,0

К недостаткам этих рекомендаций следует отнести неточное определение гидрогеологических условий; отсутствие данных об осевых нагрузках; приближенное значение толщины насыпного слоя и отсутствие его прочностных показателей.

Анализ существующих методов расчета толщины дорожных одежд с применением НСМ показывает их значительную приближенность, объясняемую отсутствием теории, данных об их работе в течение длительного срока и характерных видах разрушения. Для решения проблемы разработки пригодного для практических целей расчета требуются большие теоретические и экспериментальные работы.

Из-за отсутствия достаточно обоснованной теории работы прослоек в дорожных конструкциях методику расчета следует разрабатывать, исходя из экспериментальных результатов определения расчетных параметров и их взаимосвязи в реальных эксплуатируемых конструкциях. В принципе, глубина колеи является интегральной зависимостью от всего многообразия факторов, влияющих на накопление деформаций на дороге.

Поэтому в качестве критерия расчета дорожных конструкций с прослойками следует использовать допустимую глубину колеи, которая может быть неодинакова для различных категорий лесовозных дорог (магистралей, веток и усов). При этом принимаем следующие положения:

грунты земляного полотна работают в конце второй фазы напряженно-деформированного состояния, когда накопление деформаций происходит при частичном выпирании грунта в период весеннего снижения его прочности;

накопление деформаций зависит от величины и количества воздействий нагрузки;

при введении в дорожную конструкцию прослойки допустима большая деформация;

общая деформация снижается за счет работы прослойки;

деформация происходит постепенно без резкого разрушения дорожной одежды из-за ее пролома или других причин.

В этом случае величину повышения статического модуля деформации за счет влияния прослойки можно определить по аналогии с [8, 9] по следующей зависимости

$$E_q = q D a / l, \quad (12)$$

где a — коэффициент; l — прогиб (осадка).

Дальнейший расчет производится по обычной методике для требуемого статического модуля деформации, уменьшенного на величину E_q .

Специального исследования требуют только два параметра, входящие в зависимость прогиб (осадка) l и коэффициент k .

На первоначальном этапе разработки под руководством проф. Н.Н. Иванова теории расчета нежестких дорожных одежд критический прогиб был принят по результатам экспериментов в пределах 0,85 ...

10. Ориентировочные толщины насыпного слоя

Рекомендации по применению бидима при гидрогеологических условиях						
Вид транспорта	Объем перевозок, т	грунт имеет CBR > 10, не переувлажненный; срок службы дороги менее месяца	грунт имеет CBR > 10, не переувлажненный; срок службы дороги более месяца	грунт имеет CBR > 10, переувлажненный	слабый грунт имеет CBR > 10, не заболочен	заболоченный участок, невозможен проход без специальной обуви
Автомобильный	До 10000	—	B23 H=0,2 м	B34 H=0,2 м	B34 H=0,35 м	B44 H=0,6 м
	10000 ... 100000	B23 H=0,2 м	B23 H=0,3 м	B34 H=0,3 м	B34 H=0,5 м	B44 H=0,8 м
	Более 100000	B34 H=0,4 м	B34 H=0,4 м	B34 или B44 H=0,5 м H=0,4 м	B44 H=0,5 м	B44 H=0,8 м
Внедорожный (скреперы, думперы)	До 10000	—	B23 или B34 H=0,4 м H=0,3 м	B34 H=0,3 м	B44 H=0,5 м	B64 H=1,0 м
	Более 100000	B34 H=0,3 м	B34 H=0,4 м	B34 или B44 H=0,5 м H=0,4 м	B44 H=0,7 м	

Примечания: CBR = 10 приблизительно соответствует модулю деформации 5 МПа; В — тип бидима, определяемый поверхностной плотностью; Н — толщина насыпного материала.

1,25 см. Эксперименты заключались во вдавлении в дорожную одежду жесткого круглого штампа диаметром 19 . . . 25 см, что соответствовало диаметру круга, равновеликого следу колеса автомобиля ЗИС-5. Критическая величина деформации устанавливалась исходя из начала образования трещин вокруг штампа. Затем перешли к понятию относительного критического прогиба l/D , что при делении указанных выше величин дает 0,03 . . . 0,06. Затем на основании новых данных, полученных в результате экспериментов и массовых обследований дорог, для расчета предельного прогиба была предложена экспериментальная зависимость, учитывающая свойства материалов и конструкцию дорожной одежды.

$$\frac{l}{D} = \mu \frac{0,10}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h}{D} \sqrt{\frac{2,5 E_1}{E}}, \quad (13)$$

где μ — коэффициент, характеризующий материал основного слоя, учитывающий эксплуатационные требования к покрытиям и возможность выравнивания их поверхности и принимаемый в пределах 1,0 . . . 1,25; E_1 — модуль деформации верхнего слоя; E — модуль деформации нижнего слоя.

Расчеты по этой зависимости для реальных условий дают допустимые прогибы в пределах 0,02 . . . 0,06.

Разрушение дорожных одежд с тонким и жестким верхним слоем вероятнее всего от его разрыва. При сравнительно большой толщине верхнего слоя и малой его жесткости разрушение должно происходить за счет местных деформаций под штампом, приводящих к образованию конуса выкалывания [23]. Для отношений толщины дорожной одежды к диаметру штампа в пределах 0,5 . . . 1,5 диаметр основания конуса приблизительно в три раза больше диаметра штампа.

При введении в дорожную конструкцию прослойки с высокой разрывной прочностью характер разрушения дорожной одежды изменяется.

Теоретической основой для разработки практического метода учета влияния прослоек на прочность дорожных конструкций могут служить классическая безмоментная теория оболочек, теория мягких оболочек [2] и техническая теория мягких оболочек [25]. Теории мягких оболочек разработаны для расчета пневматических строительных конструкций и наиболее близки к нашим задачам.

Основные положения безмоментной теории оболочек кратко можно сформулировать следующим образом [5].

Оболочкой называется тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с другими размерами тела. Безмоментное напряженное состояние характеризуется наличием только нормальных и сдвигающих сил, действующих в плоскостях, касательных к срединной поверхности оболочки.

Условия существования безмоментного состояния [12]:

оболочка должна иметь плавно изменяющуюся непрерывную поверхность;

нагрузка на оболочку должна быть плавной и непрерывной;

условия закрепления краев оболочки должны давать возможность свободного перемещения в направлении нормали к поверхности;

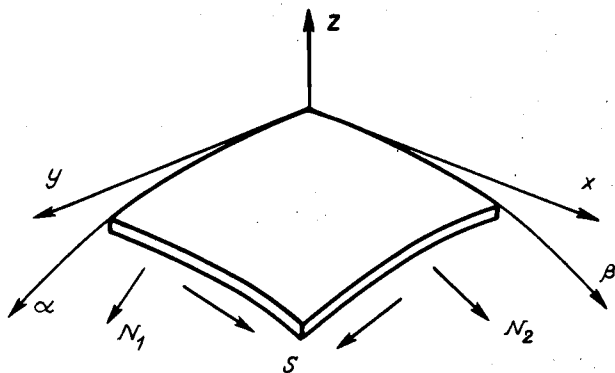


Рис. 13. Усилия безмоментного напряженного состояния в произвольной оболочке

силы, приложенные к краям оболочки, должны лежать в плоскости, касательной к ее поверхности.

Расчетные усилия безмоментного напряженного состояния показаны на рис. 13.

Решение системы основных уравнений безмоментной теории оболочек представляет сложнейшую математическую задачу, которая для ряда оболочек не решена до настоящего времени.

Практические методы расчета основываются на упрощенных теориях, подтверждаемых экспериментами. Рассмотрим (табл. 11) гипотезы о свойствах материалов, используемые в различных по сложности теориях [7].

Первая гипотеза наиболее широко используется, так как позволяет применять для расчета зависимости безмоментной теории оболочек. Для условий, когда возникает сжатие материала, эта гипотеза непригодна. При использовании 2-й гипотезы расчеты ведутся в два этапа. Упрощенным способом определяют вид оболочки, изменившейся под действием внешних сил, затем исходя из условий равновесия находят растягивающие усилия.

Использование 3-й гипотезы, учитывающей растяжимость материала и позволяющей получить более точные результаты, приводит к значительному усложнению расчета.

11. Гипотезы о свойствах материалов

Гипотеза	Свойства материала	Модули деформации	
		растяжения	сжатия
1	Недеформируем	∞	∞
2	Нерастяжим	∞	0
3	Линейно упруг	const	0
4	Нелинейно упруг	$f(\sigma)$	0
5	Нелинейно упруго-вязок	$f(\sigma, t)$	0

Еще большие математические трудности возникают при использовании 4-й гипотезы, учитывающей нелинейный характер связи между усилиями и деформациями.

Гипотезу 5 практически еще не использовали в расчетах, так как очень сложно учитывать при построении расчетного аппарата процесс снижения модуля деформации материала в результате ползучести и старения. В настоящее время они учитываются введением в физические константы материалов соответствующих коэффициентов.

Общая теория мягких оболочек [2] рассматривает три основные задачи:

1. Задана форма оболочки в конечном состоянии и действующие на нее нагрузки. Требуется найти напряжения и начальную форму.

2. По заданной начальной форме, заданным нагрузкам и условиям закрепления найти напряжения и конечную форму.

3. Задано конечное состояние оболочки: известны форма оболочки, нагрузка и напряжения. Определить новую форму и напряжения в оболочке при действии дополнительной системы нагрузок.

Несмотря на то, что основные уравнения равновесия упрощаются наличием абсолютной безмоментности, общая теория мягких оболочек достаточно сложна из-за учета физической и геометрической нелинейности. Она включает сложную систему дифференциальных уравнений равновесия в частных производных. Даже при использовании численных методов решения и ЭВМ получение результатов для практических расчетов затруднительно.

Техническую теорию мягких оболочек [25], справедливую при малых деформациях и использующую линеаризацию при составлении системы уравнений, можно считать первым приближением общей теории.

В технической теории усилия, действующие в оболочке в деформированном состоянии, представляются в виде суммы основных и дополнительных слагаемых. Основные члены соответствуют безмоментной теории оболочек и определяются из уравнений равновесия для известной формы оболочки. Дополнительные слагаемые корректируют значение основных членов. Они отражают влияние изменения геометрии оболочки на ее напряженное состояние. Дополнительные усилия могут быть определены при решении задачи только из полной системы уравнений. Линеаризация уравнений равновесия проводится относительно состояния оболочки, соответствующего начальной форме, и усилий, определенных для нее. Таким же образом упрощается выражение для полной потенциальной энергии оболочки, которое применяется при решении задач вариационными методами.

Достаточно сложные уравнения равновесия технической теории дополняются системой граничных условий и уравнениями, отражающими свойства материала оболочки. Последние уравнения могут иметь различную форму. Они выводятся по результатам экспериментов или на основе теоретических соображений, но связь между усилиями и деформациями должна быть однозначной.

Полная система уравнений технической теории мягких оболочек в матричной форме может быть решена лишь с использованием дискретных методов и ЭВМ. Обычно для этих целей используется метод конечных элементов, основывающийся на делении конструкции на множество элементарных структурных единиц конечного размера. Структурная единица (конечный элемент) может представлять собой прямолинейный отрезок каната (канатный элемент), трех- или четырехугольный участок мембраны (мембранный элемент), кубик в объеме массивной конструкции (блочный элемент) и т.д. в зависимости от типа рассчитываемой конструкции.

После представления реальной конструкции в виде ансамбля всех элементов на ЭВМ рассчитывают действующие в них усилия, объединяя полученные данные в систему уравнений равновесия в узлах (точках пересечения элементов). В результате решения этой системы на ЭВМ определяют перемещения узлов, по которым в соответствии с программой рассчитывают деформации и напряжения в каждом из конечных элементов.

Проф. Ермолов В.В. [7] отмечает, что в настоящее время математическая теория доказывает некорректность и даже несостоятельность элементарной теории, но не дает при этом решения практических задач. Расчетчики пользуются формулами элементарной теории, вводя достаточно высокие коэффициенты запаса (табл. 12) из-за неопределенности нагрузок, непостоянства физико-механических свойств материала, не совсем достоверной расчетной схемы и др.

Рассмотрение табл. 12 дает представление об уровне практической обоснованности применяемых методик расчета мягких оболочек. И несмотря на такие высокие коэффициенты запаса, имеют место многочисленные аварии воздухоопорных сооружений.

Из проведенного анализа существующих методов расчета мягких оболочек следует конкретный и однозначный вывод — усложнение теоретических построений, приводя к громоздким формулам, не повышает точность расчетов из-за необходимости последующих упрощений для получения зависимостей, пригодных для решения практических задач.

При разработке зависимостей для расчета прослоек в дорожных конструкциях при максимальной теоретической обоснованности не следует за счет усложнения математических выкладок стремиться к получению точности расчета, превышающей точность вводимых в расчет параметров: модулей деформации грунта и закономерности их распределения, прочностных показателей материала гибкой прослойки с учетом

12. Коэффициенты запаса материала оболочек

Страна	СССР	Велико- британия	Япония	ФРГ	ГДР	США
Коэффициент запаса	3,5 ... 4	4	2,5 ... 3,5	5	5	4

его анизотропии, величины действующих нагрузок и т.д. Кроме того, следует учитывать, что вышеуказанные параметры изменяются во времени под влиянием различных факторов.

Исходя из вышесказанного и приняв по результатам обследований вскрытых поперечников эксплуатировавшихся дорожных конструкций с прослойками, что прослойка после деформации состоит из вогнутых и выпуклых сферических элементов различного диаметра, можно получить зависимость для определения нагрузок, воспринимаемых каждым элементом прослойки из следующих условий и допущений:

плоская поверхность прослойки в чаше деформации принимает сферическую форму;

напряжения, возникающие в прослойке за счет трения в чаше деформации, значительно ниже напряжений от постоянной и временной нагрузок, и для упрощения зависимостей ими можно пренебречь;

напряжения в плоскости прослойки выше вертикальных и с допустимой для практики точностью можно определять, используя методы решения плоской задачи;

к материалу прослойки применимы закономерности, распространяемые на сплошные среды;

материал прослойки не сопротивляется изгибу, поэтому к нему применимы положения безмоментной теории оболочек;

с некоторым приближением материал прослойки можно считать изотропным;

напряжения, действующие в прослойке, равномерны по ее толщине;

деформации в плоскости прослойки равномерны;

прослойка за пределами чаши деформации зажата между грунтом и дорожной одеждой и не перемещается.

Выделим деформированный элемент прослойки и составим уравнение его равновесия под действием внешних и внутренних сил (рис. 14, а, б).

$$4 \sigma s_i R a \varphi \sin \varphi / 2 - q R^2 d\varphi^2 = 0, \quad (14)$$

где σ — напряжение; s_i — переменная толщина прослойки; R — радиус сферы; φ — угол, соответствующий дуге выделенной сферы; q — давление.

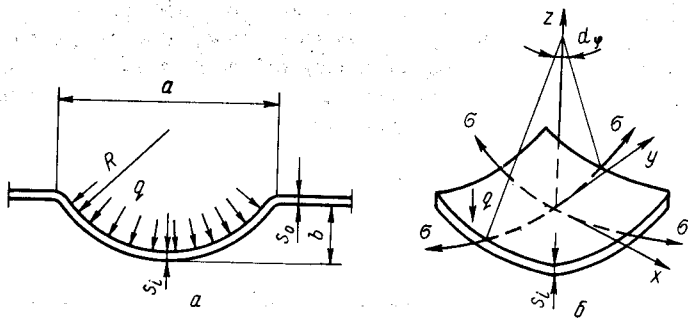


Рис. 14. Схема к определению усилий при сферическом формообразовании

Не останавливаясь на промежуточных выкладках, изложенных в работе [22], приведем конечный результат для сферической чаши деформации

$$q = k N / E_{\text{раз}} \quad (15)$$

и цилиндрической

$$q = k N / 2E_{\text{раз}} \quad (16)$$

Значения коэффициента k для различных глубин и диаметров чаш деформаций приведены в приложении.

Технология строительства и ремонта автомобильных лесовозных дорог с применением изолирующих прослоек. В последние 15–20 лет текстильные материалы получили широкое применение в дорожном строительстве за рубежом и в нашей стране. Наиболее часто используются НСМ. В связи с их высоким относительным удлинением при разрыве (до 80 % и более) они могут применяться в дорожных конструкциях, допускающих значительные деформации. Например, при строительстве временных дорог или насыпей на слабых грунтах. Свойство НСМ повышать прочность конструкции реализуется только при относительно больших деформациях. В других случаях НСМ играют роль прослойки, разделяющей конструктивные слои дороги.

✓ Многочисленные наблюдения показывают, что на слабых основаниях осадки насыпей, построенных с применением НСМ, отличаются равномерностью и отсутствием местных просадок грунта. Общая осадка насыпи практически не снижается, но она происходит быстрее за счет лучших условий отвода воды. Применение НСМ позволяет снизить толщину насыпного слоя, обеспечивающего проезд дорожно-строительных машин, улучшить условия уплотнения насыпи и ускорить ее строительство.

Опыт строительства насыпей на торфе показывает, что применение НСМ не только снижает стоимость строительства, но также позволяет повысить качество работ и производительность труда, ускорить темпы работ и снизить объемы привозных строительных материалов.

Обычно под насыпь или дорожную одежду укладывается один слой НСМ, но известны случаи использования нескольких слоев НСМ по высоте насыпи, а также мешков из НСМ, наполненных песком. За счет такого использования НСМ значительно повышается прочность дорожных конструкций.

Зарубежный опыт, основывающийся на строительстве и эксплуатации большого количества участков дорог с НСМ, построенных в сложных грунтово-гидрологических условиях, показывает высокую эффективность применения таких материалов для дорожного строительства. В связи с этим и в СССР были начаты исследования целесообразности применения НСМ при строительстве дорог.

В 1974 г. Гипродорнии Минавтодора РСФСР начал исследования австрийского материала полифелът. На заболоченной местности был построен опытный участок дороги, соединяющий дорогу Москва-Ярос-

лавль с местом строительства моста через р. Талицу. Верхний грунтовый слой мощностью до 0,4 м был представлен суглинком текучей консистенции, ниже располагался суглинок мягкопластичной консистенции.

Щебеночную дорожную одежду отсыпали на полифелт двумя способами: слоями толщиной 15 . . . 20 см и сразу на полную толщину 40 . . . 45 см. При проезде автомобилем-самосвалом по слою толщиной 15 . . . 20 см образование колеи сопровождалось выпором грунта в межколейное пространство и разрывом материала по шву. Проезд груженых самосвалов по уплотненному слою толщиной 40 см не приводил к образованию колеи. Конкретного заключения об эффективности применения полифелта в этих условиях не было сделано.

Дальнейшие лабораторные, стендовые и дорожные испытания дорожных конструкций с прослойками из различных материалов позволили специалистам Гипродорнии доказать эффективность применения синтетических материалов и дали основу для разработки рекомендаций по повышению качества земляного полотна.

Широкие исследования НСМ проводятся Союздорнии совместно с организациями Гипротюменнефтегаз, Главтюменнефтегаз, Союздорпроект и др. Полученные результаты доказали эффективность применения НСМ на дорогах общего пользования и дорогах предприятий нефтегазовой промышленности, позволили обосновать требования к материалам и разработать методические рекомендации по применению НСМ при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах. В соответствии с требованиями Союздорнии в настоящее время выпускается более 2 млн. м² НСМ дорнит.

Основным потребителем материала дорнит являются предприятия нефтегазовой промышленности, где строительство дорог с НСМ в настоящее время доведено до 100 км в год. Дороги строятся с покрытиями из железобетонных плит. Кроме того, с применением НСМ строится большое количество площадок под буровые установки. По данным Союздорнии, применение НСМ сокращает стоимость строительства 1 км почти на 30 тыс. р., затраты труда в 5 раз, объемы транспортных перевозок на 25—30 %, сроки строительства на один-два месяца.

Положительный опыт применения НСМ, полученный за рубежом и в нашей стране, позволяет рассчитывать на эффективность применения этих материалов и при строительстве лесовозных дорог. Однако прямое заимствование методов и технологий строительства дорог с НСМ, применяемых в других отраслях, не может дать хороших результатов. Это объясняется различием в целях строительства дорог, стоимостях и конструкциях дорог, количестве и качестве дорожно-строительной техники, квалификации персонала, режимах эксплуатации дорог, а также отличием транспортных средств и грузов. Указанные выше причины потребовали проведения специальных исследований.

Первый участок лесовозной дороги с прослойкой был построен в октябре 1974 г. в Оленинском леспромхозе. На временной лесовозной дороге с покрытием из щитов ЛВ-11 на самом сыром участке были сняты три звена щитов, шпалы и продольные лаги. Затем уложен авст-

рийский материал полифелът шириной 4,8 м и длиной 18 м. Сверху отсыпана гравийно-песчаная смесь толщиной 0,35 . . . 0,4 м. По участку вывезено более 5500 м³ древесины. Первый эксперимент показал хорошую технологичность строительства и удовлетворительную прочность этой конструкции в неблагоприятных гидрологических условиях.

В 1975 г. построен в нулевых отметках участок с материалом полифелът на магистральной дороге. Тип местности — II, глубина залегания грунтовых вод — 0,75 м, грунт — суглинок текучей консистенции, толщина щебеночного слоя на прослойке 50 . . . 65 см. С 1975 г. по участку вывезено более 1 млн. м³ древесины. Участок находится в хорошем состоянии.

В августе 1975 г. на заболоченной местности построен участок протяжением 100 м. На растительный покров укладывался материал полифелът шириной 9,6 м и на нем возводилась продольным перемещением грунта бульдозером насыпь высотой 0,6 м. Толщина гравийного слоя составила 0,3 . . . 0,35 м. Рядом располагался контрольный участок такой же конструкции, но без текстиля. Опыт оказался неудачным, контрольная и опытная конструкции были разрушены и перекрыты щитами ЛВ-11 после вывозки в октябре—ноябре 1976 г. 2000 м³ древесины.

Для исключения подобных ошибок в будущем и получения результатов в кратчайшие сроки в апреле—мае 1977 г. в Крестецком леспромхозе была построена опытная кольцевая дорога общей протяженностью 250 м с различными конструкциями и разными НСМ.

Место строительства дороги характеризовалось высоким уровнем грунтовых вод, преобладанием в составе леса осины, относительно ровной поверхностью и визуальными одинаковыми характеристиками почвы и растительности на всех участках дороги. Проведенное почвенно-грунтовое обследование показало, что верхний (дерновый) слой с корнями деревьев был практически одинаков на всем протяжении кольцевой дороги, толщина его варьировалась в пределах от 5 до 10 см. Под ним на глубину до 1,8 м располагался слой супеси пылеватой. Содержание (по весу) песчаных частиц размером от 2 до 0,05 мм составляло 46 %; число пластичности —3,8; влажность на пределе текучес-

13. Составы гравийных смесей

Гравийные смеси	Содержание частиц, %, проходящих через сита, мм					Содержание частиц мельче 0,071 мм, %
	10	5	2	1	0,5	
Смесь на 1—6-м поперечниках	94	74	48	26	23	15
Смесь на 7—21-м поперечниках	84	72	54	28	22	13
Оптимальная смесь	90 . . . 100	70 . . . 85	45 . . . 75	—	25 . . . 55	8 . . . 20

ти — 26,6 %. Ниже располагался слой глины, задерживающий грунтовые воды.

Гранулометрический состав гравийных смесей и состав ближайшей для них оптимальной смеси приведены в табл. 13.

Обе смеси в основном подходят под оптимальный состав, за исключением фракции менее 0,5 мм.

Строительство опытных участков велось в марте—апреле 1977 г. по следующей технологии. Деревья спиливали в уровень с поверхностью земли и на частично промороженный дерновый слой укладывали полимерный материал. Гравийно-песчаную смесь отсыпали за один прием на всю толщину слоя, планировали и уплотняли.

Строительство контрольных участков велось по той же технологии, но без использования полимерного материала. Был построен участок протяженностью 20 м с типовой дорожной конструкцией — насыпью высотой 0,7 м и гравийной дорожной одеждой толщиной 30 . . . 35 см. Пни были выкорчеваны, растительный слой срезан и удален. Насыпь возводилась из сосредоточенного резерва глубиной до 1,7 м, при этом выбирался наиболее сухой грунт. Насыпь была построена сразу на всю высоту, спланирована и уплотнена бульдозером.

После окончания строительства кольцевой дороги опытные участки закрепили пронумерованными реперными столбиками. Отметки столбиков были получены нивелировкой и служили основой для отсчетов. После окончания испытаний снова провели нивелировку; незначительные отклонения в отметках (менее 1 см) не влияли на точность отсчетов при измерении глубины колеи. Характеристика опытных участков (условные отметки по оси дороги, толщина гравийного слоя, влажность подстилающего грунта, модули упругости и полимерные материалы) приводится в табл. 14.

Опытный участок дорожной конструкции с нетканым иглопробивным синтетическим материалом (производства Черниговского производственного объединения "Химволокно") длиной 100 м построен в августе 1979 г. на 3-м километре Винской лесовозной автомобильной дороги (Крестецкий леспромхоз).

Грунты в районе строительства представлены супесью пылевой и легким суглинком с редкими валунами. Земляное полотно строящейся дороги, возведенное экскаватором из местных грунтов, в периоды интенсивных дождей летом переувлажняется и становится труднопроходимым для построечного транспорта.

Местность в районе Винской автомобильной дороги представляет собой равнину с незначительным продольным и поперечным уклонами. Проектирование дороги произведено по техническим указаниям по проектированию лесозаготовительных предприятий Гипролестранса. Земляное полотно на всем протяжении идет в насыпи высотой 1 м и имеет водоотводные каналы с обеих сторон.

Дорожное покрытие гравийное, серповидного профиля, из имеющегося в районе строительства низкокачественного гравийно-песчаного материала с большим количеством мелкодисперсных частиц, что вызыва-

14. Характеристика участков

Номер поперечника	Условная отметка, м	Толщина гравийного слоя, см	Влажность грунта, %	Модуль упругости, МПа	Материал дорожного покрытия	Примечание
1	10,09	60		79,5	Отечественный материал	Пни выкорчеваны
2	10,00	60	27,14	108,0		
3	10,07	60		60,0		
4	10,01	60	37,26	—	Полифелът	Под правой колеи нет полифелъта
5	9,96	60		—		
6	9,79	40	58,50	—		
7	9,78	30		13,0		
8	9,80	30		13,0	Грунт	Хорошо развитая корневая система
9	9,67	40		22,0		
10	9,76	40	37,87	19,0		
11	9,71	30		130		
12	9,79	40		278		
13	9,57	30	28,59	297	Полифелът	Материал порван при строительстве
14	9,50	30		262		
15	9,37	40	45,37	386		
16	9,23	40		276		
17	9,28	50		500		
18	9,03	50	34,58	376		
19	9,03	50	46,81	340	Гейдельбергское	Стык материалов
20	8,92	50		500		
21	9,02	70	35,94	398	полотно Грунт	

ет понижение его прочности в случае переувлажнения. НСМ в рулонах шириной 1,5 м укладывался на земляное полотно внахлестку в четыре полосы, общей шириной 5 м непосредственно на земляное полотно. Затем отсыпался гравийно-песчаный слой толщиной 20 . . . 25 см, поверхность профилировалась и уплотнялась построенным транспортом.

Гравийно-песчаный материал поставлялся из карьера Винский. Карьер располагается в пойме реки Винка, эксплуатируется уже в течение 20 лет, и качественного материала для строительства недостаточно. Расстояние подвозки гравийно-песчаного материала 5 км.

Для проверки целесообразности применения НСМ при ремонте лесовозных автомобильных дорог в Крестецком леспромхозе на Маятинской автомобильной дороге отремонтировано два опытных участка с применением НСМ.

Лесоматериалы 80 . . . 110 тыс. м³ вывозят по дороге круглый год. В периоды интенсивных дождей летом, а также весной и осенью, начиная с восьмого километра и далее, образуется колея, проезд становится затруднительным. В периоды переувлажнения на некоторых участках лесовозные автопоезда с грузом и хозяйственные машины буксируются трактором. Несмотря на то, что работы по ремонту проводятся ежегодно, проезжаемость дороги остается низкой.

Местность в районе Маятинской автомобильной дороги представляет собой равнину с незначительным продольным и поперечным уклонами.

Грунты в районе опытного строительства сверху представлены тонким слоем супеси (0,2 . . . 0,6 м) средней плотности, под которым залегает легкий суглинок с редкими валунами. Болота и заболоченные места отсутствуют.

Проектирование дороги произведено по техническим указаниям по проектированию лесозаготовительных предприятий. Однако за время эксплуатации земляное полотно деформировалось, на опытных и контрольных участках его ширина 9 м и более, высота 0,6 . . . 1 м. Сток воды от земляного полотна обеспечивается по резервам, которым приданы необходимые продольные уклоны.

Дорожное покрытие гравийное серповидного профиля из имеющегося в районе строительства гравийного низкокачественного материала с большим количеством мелкодисперсных частиц, что вызывает понижение его прочности при увлажнении.

Ремонт участков проведен с 1 по 10 августа 1978 г. Для ремонта использовали полотно нетканое иглопробивное, клееное, мелиоративное, изготовленное из отходов лент нитрона (по МРТУ 17-115-66), стоимостью 50 к. за 1 м². В качестве связующего применяется латекс СКН 40-1ГП (ОСТ 38-5-71). Материал разработан для защиты дренажа из труб. Разрывная нагрузка полотна шириной 50 мм в сухом состоянии составляет 50 Н/см. Толщина полотна 0,65 мм, поверхностная плотность 0,08 . . . 0,09 кг/м².

На первом участке НСМ уложен длиной 83 м и шириной 4 м. Рядом с опытным участком располагается контрольный участок длиной 17 м, такой же конструкции, но без НСМ.

На втором участке НСМ уложен на протяжении 69 м, шириной 4 м. Контрольный участок длиной 31 м располагается рядом с опытным. Конструкция опытного и контрольного участков аналогична.

Ремонт опытных и контрольных участков проводился по следующей технологии. Существующая дорожная одежда планировалась грейдером. После планировки укладывался НСМ, затем отсыпался гравийно-песчаный слой толщиной 20 . . . 25 см, поверхность профилировалась и уплотнялась. Все работы по строительству опытных участков проводились без прекращения движения по дороге.

Опытный участок дорожной конструкции с нетканым иглопробивным синтетическим материалом производства Черниговского объединения "Химволокно" построен в марте 1978 г. на дороге, проложенной в связи с реконструкцией нижнего склада Оленинского леспромхоза.

При строительстве опытного и контрольного участков грунт (супесь пылеватая) бульдозером срезан на проектную отметку. Максимальная глубина выемки составила 60 см. Грунт находился в переувлажненном состоянии. Для отвода воды устроены кюветы.

Текстиль, предварительно сваренный паяльными лампами в полосу длиной 60 м и шириной 10 м, уложен непосредственно на подстилающий грунт. Затем отсыпалась гравийно-песчаная смесь на толщину 40 . . . 50 см. После его уплотнения проходящим транспортом был уложен слой щебня толщиной 20 . . . 25 см.

Рядом с опытным участком построен контрольный протяжением 20 м, такой же конструкции, но без текстиля. Далее на протяжении 120 м² устроена типовая дорожная конструкция на насыпи высотой от 0,7 до 3 м из привозного грунта (суглинка).

Аналогичная дорожная конструкция построена в Оленинском леспромхозе для обеспечения проезда к площадке строительства испытательного полигона ЦНИИМЭ.

На ветке № 23 Дубровской магистрали Оленинского леспромхоза построен опытный участок автомобильной дороги протяжением 350 м с применением НСМ Черниговского производственного объединения "Химволокно". Ветка является удлинением построенной по проекту 1971 г. ветки № 21 и предназначена для освоения лесного массива в Татаринском лесничестве.

Участок строительства характеризуется резко отличающимися гидро-геологическими условиями. На ряде мест водоотвод обеспечен, и грунты имеют влажность, близкую к оптимальной. В других местах водоотвод не обеспечен. Толщина заболоченного слоя составляет до 1 м, а ниже располагаются переувлажненные грунты. Выбор участков протяжением 200 м, необходимых для строительства непосредственно на грунте, опытной конструкции с НСМ, протяжением 100 м и контрольный такой же длины, невозможен. Поэтому опытные и контрольные участки были устроены на земляном полотне высотой 0,3 м и шириной 5 м, возведенном поперечным перемещением грунта (суглинка пылеватого) бульдозером в 1978 г. Строительство производилось в марте 1979 г. Насыпь была очищена от снега. НСМ в рулонах шириной 1,5 м укладывался внахлестку и сваривался паяльной лампой. Затем отсыпался гравийно-песчаный материал слоем толщиной 25 . . . 30 см, который планировался и предварительным уплотнялся бульдозером.

Опытные и контрольные участки протяжением 100 м чередуются для получения во время эксплуатации дороги данных, характеризующих их работоспособность.

В Оленинском и Крестецком ЛПХ ЦНИИМЭ построено 7 контрольных и опытных участков с НСМ общим протяжением 2 км.

При участии НИИПлесдрева Балыкским ПМК с материалом дорнит Ф-2 построены: опытный участок на подъездной автомобильной дороге в поселке Пыть-Ях Сургутского района протяженностью 300 м; опытные участки в Торском леспромхозе на магистрали № 4 (протяжением 100 м с дорнитом, уложенным в основание насыпи, и протяжением 350 м с дорнитом, уложенным под железобетонные плиты марки П-3); опытные участки в Куминском леспромхозе на ветке № 5 и подъездной дороге нижнего склада общим протяжением 650 м с различными конструкциями дорог с НСМ.

С участием КомиГипроНИИлеспрома на Жежминской автодороге Усть-Куломского леспромхоза построен участок протяжением 550 м с НСМ, уложенным под гравийное покрытие, и на магистрали Слободинской автодороги, где НСМ уложен под гравийное покрытие (60 м), под железобетонные плиты (60 м) и под стыки плит (120 м).

Участки дорог с АББ построены трестом "Архлестрой" ВО "Союз-

лесстрой" Минлесбумпрома СССР в августе—сентябре 1982 г. в Луковецком леспромхозе ВО "Архангельсклеспром" по проекту Архангельского филиала ГПИ "Гипролестранс".

Построены две экспериментальные дорожные конструкции. Первая — АББ расположена на поверхности земляного полотна из глинистых грунтов, построенного в соответствии с действующими нормами, толщина дорожной одежды составила 50; 70; 100 % расчетной на контрольных участках, построенных в соответствии с проектом.

Рулоны АББ раскатывали вдоль оси дороги, начиная от бровок земляного полотна с перекрытием 0,2 м, которое обеспечивало отвод воды и равнопрочность прослойки. Гравийно-песчаная смесь отсыпалась на проектную толщину, планировалась и предварительно уплотнялась бульдозером. Окончательное уплотнение производилось построечным транспортом.

На второй дорожной конструкции нижняя прослойка АББ располагалась в земляном полотне для предотвращения увлажнения земляного полотна грунтовыми водами. АББ размещали не ниже 0,2 м над наивысшим уровнем грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод. Перед укладкой АББ поверхности грунта в обе стороны от оси придавался поперечный уклон 0,03. Раскатка рулонов производилась вдоль оси дороги, начиная от откосов земляного полотна с перекрытием 0,3 . . . 0,4 м. Уложенная АББ засыпалась бульдозерами грунтом из боковых резервов. Земляное полотно высотой 0,4 . . . 0,6 м уплотнялось и профилировалось бульдозерами. Производительность при укладке АББ двумя рабочими составляла 500 . . . 600 м².

Накопленный опыт позволяет рекомендовать следующую технологию строительства лесовозных дорог с прослойками. Перед началом работ восстанавливают трассу дороги и закрепляют ее на местности, спиливают пни заподлицо с землей на ширину земляного полотна, устраивают водоствод, засыпают при необходимости грунтом из канав ямы и местные понижения или устраивают насыпь. На подготовленное земляное полотно укладывается материал прослойки. Рулоны раскатываются последовательно, начиная с бровки земляного полотна, на длину захватки, на которой работы должны заканчиваться за один день. Между собой полосы должны соединяться в продольном и поперечном направлениях перекрытием минимум 0,2 . . . 0,3 м, скреплением скобками, разогретым битумом или другими способами при перекрытии 0,1 . . . 0,2 м. Проезд транспорта и дорожно-строительных машин прямо по прослойке должен быть исключен. При сильном ветре следует закреплять кромки материала колышками через 1 м. Гравийный (щебеночный) материал отсыпается сразу на проектную толщину, распределяется и планируется. Дорожную одежду уплотняют катком.

На участки, построенные с применением прослоек, составляют акты скрытых работ с указанием границ и протяжения участков, наименования и количества уложенного материала. Работы по строительству автомобильных лесовозных дорог с синтетическими материалами должны выполняться в соответствии с "Инструкцией по проектированию лесо-

заготовительных предприятий" ВСН 01-82 и "Правилами техники безопасности и производственной санитарии в лесной промышленности и лесном хозяйстве".

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ С ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Испытания лесовозных дорог с прослойками. За рубежом и в нашей стране эксплуатируется значительное количество участков автомобильных дорог, построенных с применением прослоек из различных материалов. Данные от их эксплуатационных показателей свидетельствуют о положительном влиянии прослоек на качество дорог. ЦНИИМЭ были проведены испытания различных дорожных конструкций с прослойками на кольцевой дороге в Крестецком леспромхозе.

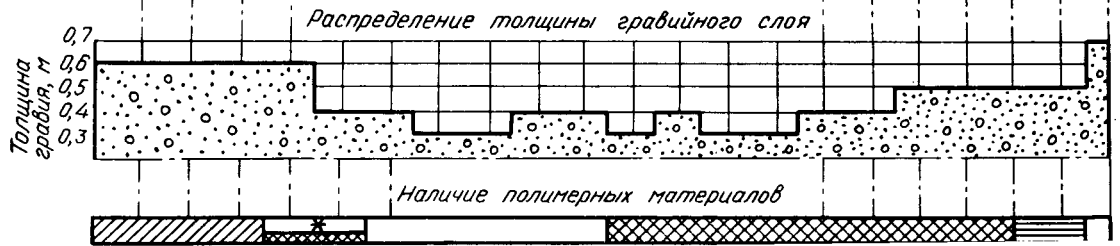
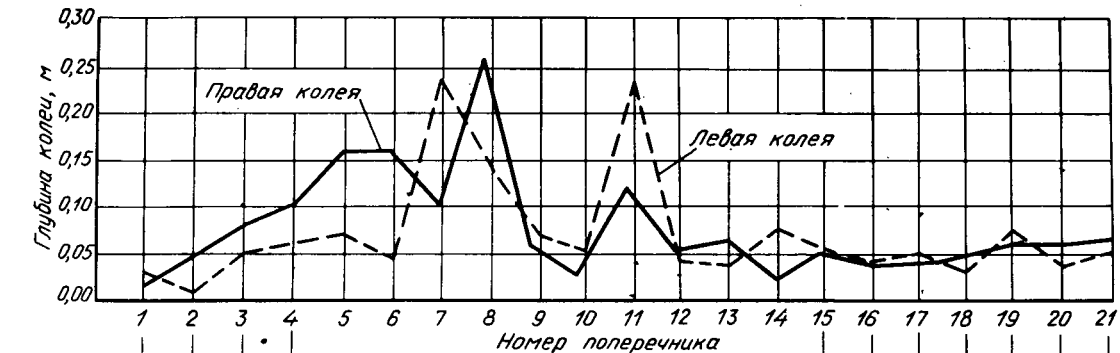
При испытании опытных конструкций дорожной одежды использовался специально выделенный лесовозный автопоезд КрАЗ-255Л + ТМЗ-803 с объемом пачки 31 м³.






Испытания кольцевой дороги в Крестецком леспромхозе проводились в июне 1977 г. В первый период испытаний (17–20 июня) была сухая погода со средней температурой воздуха днем 20–25°; во второй период испытаний (21–23 июня) — после ремонта разрушенных участков дороги — погода была дождливой с температурой воздуха днем 12°.

В процессе испытаний регистрировалось изменение глубины и ширины колеи. Глубину колеи измеряли линейкой от ребра доски, устанавливаемой на реперные отолбики. Ширину колеи и проезжей части измеряли рулеткой с точностью до 1 см. За начало отсчетов были приняты отметки после первого прохода автопоезда. Дорога типовой конструкции с гравийным слоем толщиной 30 см на насыпи высотой 0,7 м, возведенной бульдозером от резерва за полтора месяца до испытаний, была разрушена после первого прохода автопоезда. Для продолжения испытаний разрушенный участок был перекрыт щитами ЛВ-11.

На рис. 15 показаны глубины колеи через 105 проходов автопоезда КрАЗ-255Л+ТМЗ-803 (что соответствует вывозке 3255 м³ леса), распределение толщины гравийного слоя в различных опытных конструкциях и расположение полимерных материалов. Анализ рис. 15 показывает, что наибольшая глубина колеи (24... 27 см) образовалась на участке без прослойки с минимальной толщиной гравийного слоя 30 см (поперечники 7, 8). На рис. 15 на поперечнике 10 расположена сильно развитая корневая система, на поперечнике 11 материал разорван бульдозером при строительстве.

Несколько меньше глубина колеи (0,24 м) была на участке с толщиной гравийного слоя 30 см и порванным во время строительства материалом (поперечник 11). Зависимость глубины колеи от наличия прослойки особенно наглядна на примерах поперечников 4 и 5, где под левыми колесами автопоезда материал отсутствовал. При равной толщине гравийного слоя (60 см) глубина колеи примерно вдвое больше на участке, где отсутствует материал.



- Условные обозначения:
-  Отечественный материал
 -  Полифелт
 -  Гейдельбергское полотно
 -  Без материала правая колея
 -  Материала нет

Следует отметить влияние на глубину колеи хорошо развитой системы на поперечнике 10, где при гравийном слое толщиной 40 см, уложенном непосредственно на поверхность растительного слоя, глубина колеи незначительна (5 см) и примерно равна глубине колеи на конструкциях с такой же толщиной гравийного слоя, построенных с применением прослоек.

После 105 проходов автопоезда КрАЗ-255Л дальнейшая эксплуатация кольцевой дороги стала невозможной из-за большой глубины колеи на поперечниках 7 и 8, где тягач дифференциалами зарывался в гравийное покрытие по оси дороги. Поврежденные участки дороги отремонтировали путем засыпки колеи гравием с самосвалов, планировки и уплотнения дорожной конструкции колесным трактором массой 10 т.

После ремонта опытных участков вновь проводились испытания и измерялись глубины колеи. Распределение глубин колеи через 120 проходов автопоезда, что соответствовало вывозке 3720 м³ леса после ремонта или суммарному объему вывозки 6975 м³, показано на рис. 16.

Наибольшая глубина колеи (0,28 . . 0,35 м) образовалась на поперечниках 6, 7, 8, где отсутствовала прослойка, и после ремонта суммарная толщина гравийного слоя составляла 40 см. Большая глубина колеи образовалась на правой колее поперечника 5, где отсутствовал материал. Это указывает на малую эффективность ремонта полностью разрушенной дорожной конструкции, построенной без применения прослойки.

Эффективным оказался ремонт дорожной конструкции с применением прослойки на поперечнике 11, где глубина колеи после ремонта увеличилась значительно меньше, чем на первом этапе испытаний до ремонта.

Следует отметить, что участки дорожных конструкций на прослойках с толщиной гравийного слоя 40 . . . 50 см достаточно хорошо показали себя в период испытаний, колеи на них образовались в основном за счет уплотнения и выдавливания в стороны недостаточно уплотненного в период строительства гравия (поперечники 15, 16, 17, и 18).

На первом этапе испытаний глубина колеи увеличивалась на конструкциях с полимерным материалом более интенсивно, чем на втором этапе испытаний, что можно объяснить уплотнением недостаточно уплотненного грунта и гравийного материала проходами автопоезда.

Анализ полученных данных показал, что интенсивно разрушаются дорожные конструкции без прослоек, увеличение глубины колеи на дорожных конструкциях с прослойками практически прекратилось.

На основании результатов испытаний построены зависимости глубины колеи от числа проходов при различной толщине гравийных покрытий с прослойками и без них.

Глубина колеи на гравийных покрытиях толщиной 30 см без применения прослойки прямо пропорциональна числу проходов. После ремонта также наблюдался процесс значительного увеличения глубины колеи, но прослеживалась тенденция к его затуханию. На гравийных покрытиях толщиной 30 см с прослойками увеличение глубины колеи было менее интенсивно, а после ремонта снизилось еще больше, наблюдалась тенденция к стабилизации глубины колеи.

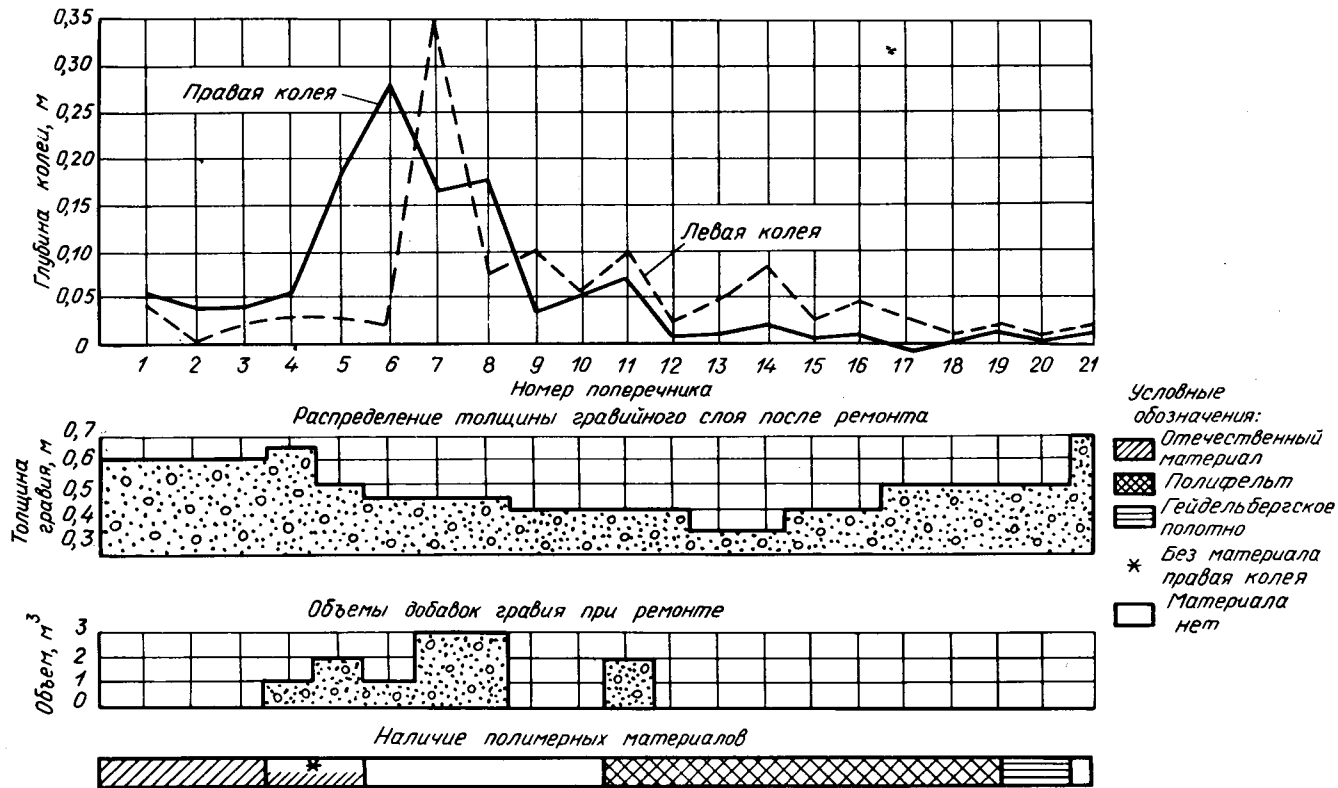


Рис. 16. Глубины колеи на отремонтированном покрытии: через 120 проходов автопоезда

Типовая дорожная конструкция — земляное полотно высотой 0,7 м, возведенное из резерва бульдозером, с гравийной дорожной одеждой толщиной 30 см была разрушена после первого прохода лесовозного автопоезда.

Проведенные исследования показали, что толщина гравийного слоя 30 см в условиях Крестецкого леспромхоза явно недостаточна для пропуска автомобильных поездов КрАЗ-255Л+ТМЗ-803. После ремонта зависимость роста глубины колеи от числа проходов практически не изменилась. Увеличение глубины колеи на гравийном слое 40 см с прослойкой практически прекратилось после 120 проходов.

В 1978 г. испытания опытных участков были продолжены и снова участки дорог с прослойками показали лучшую работоспособность. Всего в этот раз было сделано 86 проходов автопоезда (объем вывозки 2900 м³) и дальнейший проезд стал невозможным из-за большой глубины колеи на 10-м поперечнике. Суммарный объем вывозки на опытной кольцевой дороге составил около 10 000 м³.

Ремонты разрушенных участков кольцевой дороги и деформации грунтового основания нарушили зафиксированные при строительстве толщины дорожных одежд. Поэтому в конце испытаний были сделаны поперечные разрезы дорожных конструкций, проведены замеры толщин гравийного слоя, взяты пробы грунта на влажность и гранулометрический состав, определены модули деформации основания и взяты образцы материалов, пролежавших в течение года под дорожной одеждой.

Испытания дорожных конструкций на кольцевой дороге в Крестецком леспромхозе дали предварительные данные об эффективности применения прослоек. Для ответа на вопрос об экономии гравия за счет их применения необходимо сопоставить динамику нарастания колеи на дорожных конструкциях с земляным полотном, с прослойками и без них; установить среднюю толщину дорожной одежды, характеристику прочности грунтового основания.

На кольцевой дороге наименьшее протяжение имеет дорожная конструкция без прослойки непосредственно на грунтовом основании (поперечники 5—10). Следует сравнить расположенные рядом дорожные конструкции с прослойками (поперечники 11—15) и дорожные конструкции с земляным полотном (поперечники 22—24). Средняя толщина

15. Результаты испытания конструкций дорожных одежд с прослойками и без прослоек

Показатели	Величина показателей при поперечниках		
	5—10	11—15	22—24
Средняя толщина гравия, см	43	28	35
Средний модуль деформации основания, МПа	19,5	8,5	17,0
Наличие материалов	Нет	Поли- фелът	Нет

гравийных слоев и величина модулей деформации основания для рассматриваемых поперечников приведены в табл. 15.

Глубина колеи дороги зависит от количества проходов автопоезда (рис. 17).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что на первом этапе испытаний наибольшая глубина колеи образовалась на дорожной конструкции с прослойкой. Затем при достижении колеи глубиной 6...8 см в работу включился НСМ, и рост глубины колеи значительно снизился. Соответствующая кривая показывает тенденцию к стабилизации глубины колеи.

Наименьшая глубина колеи на первом этапе наблюдалась на контрольной конструкции, имеющей наибольшую среднюю толщину гравия 43 см. Но затем глубина колеи стала резко увеличиваться за счет сдвигов в грунте и гравийном слое. Соответствующая кривая указывает на тенденцию дальнейшего значительного роста колеи.

Наибольшая глубина колеи на втором этапе испытаний зарегистрирована на стандартной дорожной конструкции с земляным полотном, но следует отметить тенденцию к снижению роста глубины колеи.

Таким образом, зная, что прочность основания под конструкцией с прослойкой почти в 2 раза ниже, чем под сравниваемыми конструкциями, а конечная глубина колеи на ней меньше, можно считать доказанным, что прослойка позволяет снизить толщину дорожной одежды минимум на 15 см, т.е. сэкономить 30 % гравия. Кроме того, можно

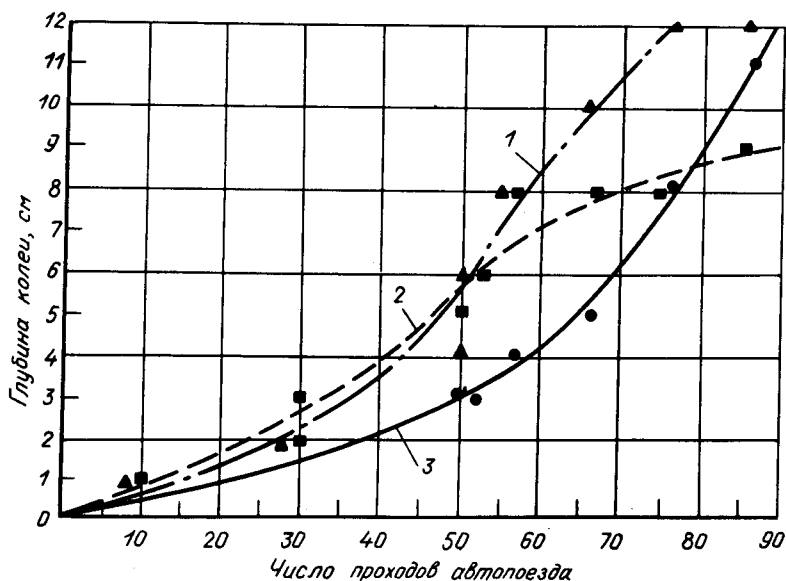


Рис. 17. Зависимость глубины колеи от числа проходов автопоезда: 1 — без прослойки на земляном полотне, толщина гравия 35 см; 2 — с полифелътом, толщина гравия 28 см; 3 — без прослойки, толщина гравия 43 см

полагать, что в условиях, оптимальных при применении НСМ, и при использовании НСМ с большим модулем деформации экономия гравия повысится. Это еще более справедливо в случае использования щебня.

Результаты исследований показывают, что введение прослойки аналогично повышению модуля деформации дорожной конструкции.

Опытные и контрольные участки в Оленинском леспромхозе обследуются ежегодно. Некоторые результаты обследований участков на спрямлении дороги, соединяющей автомобильную дорогу Москва—Рига с поселком Мостовая, и дороги на нижнем складе Оленинского леспромхоза приведены в табл. 16.

На спрямлении дороги при практически одинаковых влажностях подстилающего грунта и близких в начальный период толщинах до-

16. Результаты обследований опытных и контрольных участков

Место и наименование участка	Год	Влажность грунта, %	Толщина дорожной одежды, м	Модуль упругости, МПа	
Спрямление на дороге п. Мостовая—автомобильная дорога Москва—Рига:					
опытный участок с прослойкой протяжением	1977	—	—	157,0	
	1978	—	—	—	
	1979	15,50	0,70	362,0	
	1980	17,84	0,60	109,7	
	1981	16,20	0,60	113,0	
	1982	17,62	0,65	275,6	
контрольный участок протяжением 50 м	1983	11,50	0,60	115,4	
	1977	—	—	участок разрушен	
	1978	—	—	—	
	1979	16,80	0,70	236,0	
	1980	18,09	0,50	25,2	
	1981	18,00	0,45	8,6	
Дорога на нижнем складе Оленинского леспромхоза:	1982	20,64	0,65	119,5	
	1983	14,00	0,40	15,48	
	опытный участок с прослойкой протяжением 60 м	1978	15,00	0,70	138,0
		(осень)	—	—	—
		1979	17,90	0,90	266,0
		1980	16,95	0,75	275,5
1981		15,10	0,80	334,0	
1982		12,80	0,85	236,9	
контрольный участок	1983	15,50	0,80	180,0	
	1978	14,0	0,70	75,0	
	(осень)	—	—	—	
	1979	12,00	1,10	224,0	
	1980	14,84	0,70	313,9	
	1981	14,40	0,70	198,8	
1982	13,60	0,50	118,4		
1983	8,50	0,40	87,6		

рожной одежды модули упругости дорожной одежды ежегодно значительно выше на опытном участке, чем на контрольном. На контрольном участке дорожная одежда несколько раз в весеннее время разрушалась и требовался ее ремонт.

На дороге, построенной в связи с реконструкцией нижнего склада, также наглядно видна положительная роль прослойки. Вместе с тем необходимо отметить, что влажность грунта на опытном участке выше, чем на контрольном, и в вырытые шурфы быстро набирается вода. Причиной этого является отсутствие выпусков воды из прослойки.

С учетом опыта ранее проведенных испытаний в 1980 г. в Оленинском леспромхозе около дороги, соединяющей Дубровскую магистраль с карьером, были построены опытные и контрольные участки. Схема опытных конструкций и заложения мессдоз приведена на рис. 18. Для обеспечения однородности характеристик подстилающего грунта было проведено его рыхление и перемешивание на глубину 0,6 . . . 0,7 м. Модуль деформации грунта во время строительства составлял 4,5 МПа. Для прослойки был использован НСМ Черниговского производственного объединения "Химволокно". Затем был отсыпан слой несортированного щебня, спланирован и уплотнен сначала бульдозером, а затем груженым автосамосвалом МА3-503Б.

Нагружение штампа производилось 12-тонным домкратом, установленным под картером заднего моста автосамосвала МА3-503Б, ступенями через 0,2 МПа. После каждой ступени производилась разгрузка.

Рассмотрение полученных зависимостей показывает (рис. 19), что осадка дорожной конструкции с толщиной щебня 0,3 м с НСМ и без него до относительной осадки 0,04 одинакова. При дальнейшем увеличении нагрузки и осадки начинает сказываться влияние НСМ, и осадка дорожной конструкции с прослойкой (рис. 19, кривая 1) значительно меньше, чем у других конструкций. Аналогичная картина наблюдается и при сопоставлении осадок дорожной конструкции с толщиной щебеночного слоя 0,4 м, но в этом случае влияние НСМ начинает сказываться значительно позднее при относительной осадке более 0,12. Во всем диапазоне нагрузок и осадок наименее прочной оказалась контрольная конструкция с толщиной щебеночного слоя 0,3 м. До относительной

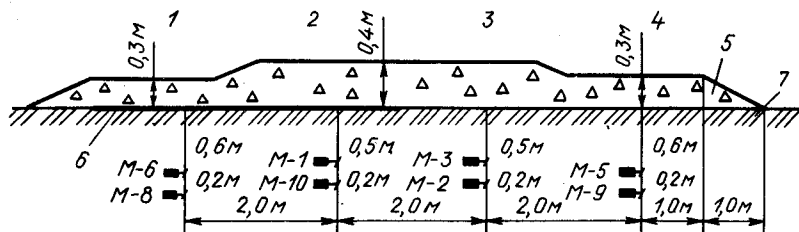


Рис. 18. Схема продольного профиля опытных дорожных конструкций и заложения мессдоз:

1, 2, 3, 4 — порядковые номера конструкций; 5 — несортированный щебень; 6 — НСМ; 7 — подстилающий грунт; М — мессдозы

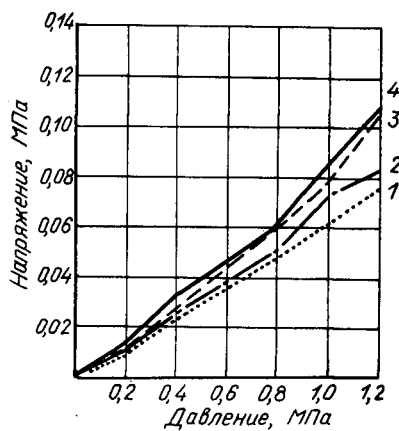
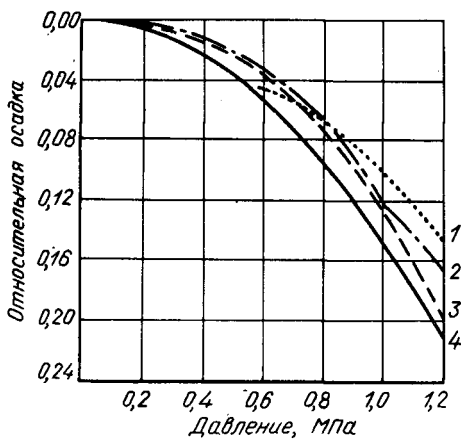


Рис. 19. Зависимость полных деформаций дорожных конструкций от давления: 1 — толщина слоя щебня 30 см и НСМ; 2 — толщина слоя щебня 40 см и НСМ; 3 — толщина слоя щебня 40 см; 4 — толщина слоя щебня 30 см

Рис. 20. Зависимость нормальных вертикальных напряжений на глубине 0,9 м от давления: обозначения аналогичны рис. 19

осадки 0,07 более прочными были конструкции с толщиной щебеночного слоя 0,4 м как с НСМ, так и без него. Затем большую прочность показала конструкция с толщиной щебеночного слоя 0,3 м и с прослойкой.

Зависимость изменения вертикальных нормальных напряжений от давления для различных дорожных конструкций приведена на рис. 20. Наибольшие напряжения во всем диапазоне давлений штампа на поверхность дорожной конструкции наблюдались под дорожной конструкцией с толщиной щебеночного слоя 0,3 м (кривая 4). Наименьшие вертикальные нормальные напряжения зарегистрированы под дорожной конструкцией с толщиной щебеночного слоя 0,3 м и прослойкой.

Вертикальные нормальные напряжения снижает НСМ, причем чем больше давление штампа на поверхность дорожной конструкции, тем значительней. Полученные закономерности подтверждаются зависимостью нормальных вертикальных напряжений от давления на глубине 1,1 м.

Наибольший интерес представляет зависимость нормальных вертикальных напряжений от относительной осадки (рис. 21). Относительная осадка имитирует образование колеи различной глубины.

Нормальные вертикальные напряжения под всеми дорожными конструкциями наиболее значительно возрастают при относительных осадках до 0,02 . . . 0,04, затем при увеличении относительных осадок рост напряжений снижается. Таким образом, можно выделить два этапа роста напряжений, которые имеют приблизительно линейный характер. На первом этапе влияние прослойки на величину нормальных вертикальных напряжений незначительно. Дорожные конструкции при этих осадках

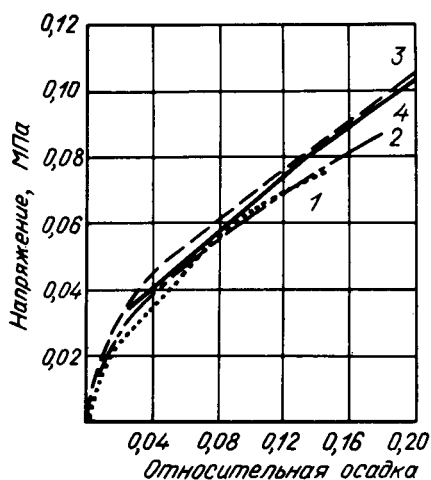


Рис. 21. Зависимость нормальных вертикальных напряжений на глубине 0,9 м от полной относительной осадки штампа: обозначения аналогичны рис. 19

работают преимущественно в упругой стадии. При дальнейшем нарастании относительных осадок происходит накопление необратимых деформаций, HCM получает натяжение и включается в работу дорожной конструкции, принимая на себя часть напряжений. Особенно наглядно видна роль прослойки при значительных относительных осадках, когда кривые 3 и 4, характеризующие напряжения под контрольными дорожными конструкциями, практически совпадают и отделяются от также совпадающих кривых 1 и 2, характеризующих напряжения под дорожными конструкциями с HCM (рис. 21).

Зависимость нормальных вертикальных напряжений на глубине 1,1 м от полной относительной осадки также указывает на снижение нормальных вертикальных напряжений из-за влияния прослойки.

Таким образом, штамповые испытания дорожных конструкций показали, что HCM может снижать относительные осадки штампа на 20 % и нормальные вертикальные напряжения в подстилающем грунте на 25 %, причем влияние прослойки тем значительней, чем больше нагрузка или относительная осадка.

Положительное влияние АББ на прочность и надежность дорог подтверждается материалами испытаний опытных и контрольных участков дорог Белогорского лесопункта. Результаты обследований и испытаний эксплуатировавшихся в 1982–1983 гг. участков (ПК 59–65) приведены в табл. 17.

Результаты эксплуатации дороги в течение 2 лет показали, что применение АББ экономически выгодно за счет сокращения расхода материалов и повышения прочности дорожной конструкции. Это позволяет экономить около 25 % гравия и сократить трудоемкость строительства. Прочность АББ под действием динамических нагрузок за период эксплуатации дороги практически не снизилась. Разрывы АББ в процессе строительства возникают только в случае применения материалов с каменными включениями размером более 15 . . . 20 см. Разрывы АББ от

морозного лучения дорожных конструкций на переувлажненных грунтах не обнаружены.

17. Средненные показатели опытных и контрольных участков дорог

Участки	Толщина дорожной одежды, см	Глубина колеи, см	Прогибы под колесом автомобиля в разное время, мм			
			20.09.82	26.04.83	24.05.83	07.06.83
Опытные	30,10	5,80	1,662	0,685	0,426	0,652
Контрольные	41,85	6,65	2,197	0,828	0,455	0,422

Наибольшее повышение прочности дает использование двух прослоек АББ: верхней — под дорожной одеждой, предохраняющей земляное полотно от поверхностных вод, и нижней — под земляным полотном, изолирующей его от увлажнения грунтовыми водами.

Стоимость АББ в сравнении с аналогичными по назначению неткаными синтетическими материалами почти в 3 раза меньше. Кроме того, битумированная бумага в 2 . . . 3 раза прочнее на разрыв и при равных условиях экономически более эффективна, чем синтетический материал. Прочность дорожной конструкции при этом выше 15 . . . 20 %.

Перечисленные достоинства АББ свидетельствуют о необходимости расширения объемов ее производства и применения в повседневной практике строительства лесовозных дорог, а также о целесообразности продолжения работ по совершенствованию дорожных конструкций. Следует увеличить ширину бумаги с 1 до 3,5 . . . 3,75 м, так как в процессе строительства дороги за счет вынужденной укладки полос бумаги внахлестку неэффективно тратится до 20 % АББ. Такая мера будет способствовать сокращению трудоемкости работ, внедрению механизированной раскатки рулонов, а также унификации их использования на усах, ветках и магистралях. Выявлено также, что необходимо создать специальный дорожно-строительный армированный битумированный бумажный материал, дифференцированный по прочности в зависимости от качества подстилающего слоя грунта.

Учитывая, что свыше 30 % протяженности дорог в лесозаготовительных районах строятся в неблагоприятных гидрогеологических условиях, ежегодный объем применения АББ только в системе Минлесбумпрома СССР может превысить 5 млн. м² (800—1000 км лесовозных дорог).

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации дорог с изолирующими прослойками. Эффективность работы лесовозных автопоездов зависит в значительной мере от эксплуатационных качеств дороги, определяемых ее планом и продольным профилем, прочностью дорожной одежды, ровностью, шероховатостью и износостойкостью покрытия. Применение изолирующих прослоек влияет на два основных показателя: прочность дорожной одежды и ровность покрытия.

Прочность дорожной одежды оценивается коэффициентом прочности:

$$K_{\text{пр}} = E/E_{\text{тр}}, \quad (17)$$

где E — эквивалентный общий модуль упругости (деформации) дорожной одежды, определяемый опытным путем в расчетный период; $E_{\text{тр}}$ — требуемый модуль упругости (деформации), рассчитываемый в зависимости от состава и интенсивности движения.

Ровность покрытия оценивается коэффициентом службы:

$$K_{\text{сл}} = v/v_p, \quad (18)$$

где v — фактическая скорость движения; v_p — расчетная скорость движения при отличном состоянии покрытия.

Кроме того, коэффициент службы может определяться по различным показателям ровности покрытий.

Анализ результатов обследований опытных и контрольных участков дорог в Оленинском леспромхозе (табл. 16) показывает хорошее состояние опытных участков дорог. При требуемом модуле упругости 110 МПа коэффициент прочности за все годы эксплуатации опытных участков дорог не был ниже 1. В то же время на контрольном участке на спрямлении дороги п. Мостовая — автомобильная дорога Москва—Рига четыре раза коэффициент прочности весной был значительно ниже 1 и для обеспечения проезда за период эксплуатации было проведено три ремонта путем засыпки разрушенных участков гравием и щебнем.

Скорости движения на опытных и контрольных участках не измерялись, так как они не отражают реального положения из-за их близкого расположения и недостаточного для обеспечения точности замеров протяжения. Коэффициент службы по результатам измерения ровности в 1979 г. на опытных и контрольных участках составлял около 1, но следует отметить, что в этом году погодные условия были благоприятными для работы дороги.

Исходя из результатов испытаний и визуальной оценки состояния опытных и контрольных участков дорог в Оленинском леспромхозе можно сделать заключение, что изолирующие прослойки значительно повышают эксплуатационные качества дорог и особенно в весенний период.

Это заключение подтверждается результатами испытаний и обследования контрольных и опытных участков автомобильной дороги Белогорского лесопункта, а также тем фактом, что вывозка леса производилась в течение всего весеннего периода 1984 г. при незначительных работах по ремонту контрольных участков.

По данным Союздорнии [20], полученным за многолетний период испытаний и наблюдений за участками, построенными с применением нетканых синтетических материалов в 1975 г. на дороге Москва—Рига (в районе г. Великие Луки), прослойки позволяют улучшить эксплуатационные показатели дороги (табл. 18).

Прослойки уложены в выемке с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями взамен подстилающего песчаного слоя.

18. Результаты испытаний опытных и контрольных участков [20]

Показатели	НСМ под дорожной одеждой	Контрольный участок
Пучение покрытия в продольном направлении, мм	25,5	28,2
Изменение поперечного уклона покрытия, %	1,6	3,8
Прогиб покрытия, мм	0,14	0,32
Относительная влажность грунта под дорожной одеждой в весенний период	0,58	0,70

На контрольном участке толщина песчаного слоя составляла 0,8 м, на опытном с прослойкой 0,0 . . . 0,4 м. Таким образом экономилось от 0,4 до 0,8 м³ песка на 1 м² дорожной одежды при повышении ее эксплуатационных показателей.

Результаты наблюдений и исследований Гипротюменнефтегаза показывают, что применение прослоек в конструкциях дорог с капитальными типами покрытий, подъездных дорог и оснований под кусты скважин экономически эффективно за счет сокращения стоимости строительства и улучшения транспортно-эксплуатационных показателей.

На дорогах с капитальными покрытиями из железобетонных плит применение прослоек взамен основания из песчано-гравийной смеси или монтажного слоя на участках, проходящих по минеральным грунтам и болотам 1 типа глубиной до 1 м, способствует сохранению ровности покрытия, характеризуемой величиной и количеством уступов между кромками соседних плит.

На подъездных дорогах применение прослоек при снижении толщины дорожной одежды на 20 . . . 30 % позволяет лучше сохранять ровность покрытия и поддерживать более высокую скорость движения автомобилей.

Анализ относительно немногочисленной зарубежной информации, касающейся эксплуатационных показателей дорог, построенных с применением прослоек, показывает, что при снижении стоимости строительства за счет снижения расхода привозных материалов эксплуатационные показатели этих дорог сохраняются или повышаются.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОСЛОЕК В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Оценка эффективности использования различных материалов в качестве изолирующих прослоек в дорожных конструкциях лесовозных автомобильных дорог производилась в соответствии с "Типовой методи-

кой определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР" по суммарным приведенным затратам. При расчетах учитывались: общие объемы капитальных вложений в строительство или ремонт дорог; капитальные вложения в лесовозной транспорт; автотранспортные расходы; расходы по содержанию и ремонту дорог; убытки от перерыва вывозки заготовленной древесины. Результаты расчетов, анализ технико-экономических показателей строительства и эксплуатации лесовозных дорог с НСМ в Калининской, Новгородской, Архангельской, Тюменской областях и Коми АССР доказали экономическую эффективность применения прослоек в дорожном строительстве.

Кроме того, необходимо учитывать следующие положительные стороны применения прослоек: снижение трудозатрат непосредственно на строительной площадке; индустриализацию строительства за счет перенесения работ со строительной площадки в сферу промышленного производства; снижение потребности в дорожно-строительной технике; ускорение строительства; возможность проведения работ при неблагоприятных погодных условиях; продление строительного сезона; повышение надежности дорожной конструкции.

Экономический эффект от применения прослоек зависит от конкретных условий, например от отпускной цены и дальности перевозки щебня (гравия), гидрогеологических условий, грузооборота дороги и т.д. Поэтому экономический эффект должен рассчитываться индивидуально для каждой дороги.

По мере накопления данных о строительстве и эксплуатации дорог с прослойками в различных лесозаготовительных областях СССР для них будут установлены обобщенные показатели эффективности применения.

Расчет предельной стоимости НСМ для обеспечения экономического эффекта от его применения 500 р. на 1 км дороги следующий.

Экономическая функция, требующая минимизации, определяется по формуле

$$\Sigma C = C_{з.п} + C_{гр} + C_{нсм} , \quad (19)$$

где ΣC — суммарная стоимость; $C_{з.п}$ — стоимость земляного полотна; $C_{гр}$ — стоимость гравия; $C_{нсм}$ — стоимость текстиля.

Технико-экономические показатели ветки № 23, где расположен опытный участок

Протяженность, км	1,8
Средний объем земляных работ на 1 км, м ³	7326
Средний объем гравия на 1 км, м ³	2085
Среднее расстояние подвозки, км	35
Средний процент болот глубиной более 0,5 м от общего протяжения	22
Капиталовложения на 1 км по проекту	22
Нормативная сумма капиталовложений по технико-экономическим показателям для проектирования лесозаготовительных предприятий, тыс. р.	29,2
Стоимость 1 м ³ гравия по ТЭП, р	2,91

Объем грунта, перемещаемого бульдозером на 50 м, на всю ветку протяжением 1,8 км, м ³	9141
Объем грунта, перемещаемого автосамосвалами на 4 км, на всю ветку, м ³	4046

Стоимость отдельных видов работ и приобретений определена в сменных ценах 1969 г. по форме 3 на основании каталога единичных расценок, утвержденного для строек лесной промышленности, расположенных в Калининской области.

Накладные расходы, включая плановые накопления на строительные работы, приняты 18,4 %.

Опытный участок с текстилем запроектирован на земляном полотне высотой 0,2 . . . 0,3 м, т.е. в нулевых отметках. Водоотвод обеспечен, привозной грунт не используется. Для строительства применяется НСМ Черниговского производственного объединения "Химволокно". На него укладывается гравийно-песчаная смесь из карьера на реке Лучеса.

Стоимость НСМ, обеспечивающая экономический эффект 500 р. на 1 км, определяется следующим образом. На 1,8 км требуется $5 \times 1800 \text{ м} = 9000 \text{ м}^2$ текстиля. Экономия получается за счет снижения расходов на доставку привозного грунта в размере 4139 р. — стоимость грунта 3787 р. и стоимость сопутствующих работ 352 р. За счет снижения расходов на дорожную одежду на 20 % получается экономия 21881 р. $\times 0,2 = 4376,2$ р. Общая экономия за счет грунта и дорожной одежды составляет 4139 р. + 4376 р. = 8515 р. Расчетная экономия принята 500 р. на 1 км и составляет 900 р. Применение НСМ в данных конкретных условиях целесообразно только при стоимости текстильного материала не более $7615 \text{ р.} : 9000 \text{ м}^2 = 0,84 \text{ р.}$

Аналогичные расчеты необходимо производить для каждой строящейся дороги и на основе полученных результатов должно приниматься решение о целесообразности применения различных видов материалов для изолирующих прослоек.

При равных приведенных затратах варианту с применением дренирующей прослойки можно отдать предпочтение в случаях, когда: требуется быстрый ввод в эксплуатацию дороги; строительство необходимо вести в дождливый период, на сырых грунтах; ощущается дефицит дорожно-строительной техники, особенно транспортных средств.

Технико-экономические показатели прослоек из различных материалов приведены в табл. 19.

19. Технико-экономические показатели прослоек

Показатели	Материал	
	НСМ	АББ
Повышение прочности дорожной конструкции, %	20—25	25—30
Экономия гравия (щебня), %	20	25
Продление строительного сезона, %	30—40	10—15
Расчетный экономический эффект, р./м ²	0,14	1,12
Рекомендуемое ежегодное применение, млн. м ²	1,5—2,0	5,0—10,0

Эффективность применения прослоек в дорожных конструкциях подтверждается зарубежным опытом.

По данным Гипротюменнефтегаза конструкции с прослойкой позволяют отказаться от лежневого настила, за счет чего экономится до 2,5 тыс. м³ древесины на 1 км дороги или от 15 до 34 тыс. р. на 1 км и, кроме того, в 1,5 раза ускоряются темпы строительства.

С развитием химической промышленности и более полным использованием отходов производства сырьевая база для выпуска материалов, пригодных в качестве прослоек для дорожного строительства, расширяется, и имеются все основания полагать, что они найдут широкое применение в конструкциях лесовозных дорог.

1. Автомобильные дороги севера. — М.: Транспорт, 1981. — 248 с.
2. Алексеев С.А. Основы общей теории мягких оболочек. — В сб.: Расчет пространственных конструкций / — М.: 1966, вып. X1. — 345 с.
3. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. — М.: Высшая школа, 1976. — 328 с.
4. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. — Л.: Недра, 1971. — 174 с.
5. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. — М.: Гостехиздат, 1956. — 420 с.
6. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. — М.: Стройиздат, 1973. — 376 с.
7. Ермолов В.В. Прошлое, настоящее и будущее пневматических конструкций. — В кн.: Пневматические строительные конструкции. — М.: Стройиздат, 1983, с. 5—47.
8. Иванов Н.Н., Кривисский А.М. Выбор конструкций дорожных одежд. — М.: Дориздат, 1943. — 65 с.
9. Исследование прочности дорожных одежд. — М.: Автотрансиздат, 1959. — 300 с.
10. Казарновский В.Д., Брантман Б.П. К расчету требуемой толщины насыпного слоя в конструкции временной дороги на слабых грунтах, включающей армирующую прослойку из СТМ. — В сб.: Синтетические текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог. Труды Союздорнии. — М.: 1983, с. 25—37.
11. Клейн Г.К. Учет неоднородности, разрывности деформаций и других механических свойств грунта при расчете сооружений на сплошном основании. Материалы совещания по теории расчета балок и плит на сжимаемом основании. — М.: 1956, с. 168—180.
12. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. — М.: Высшая школа, 1972. — 296 с.
13. Корсунский М.Б. Основы теории расчета нежестких дорожных одежд по предельным относительным удлинениям. Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий. — М.: Дориздат, 1952, с. 58—92.
14. Кривисский А.М. Новые схемы для расчета нежестких дорожных одежд. — М.: Автотрансиздат, 1961. — 76 с.
15. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. — М.: Автотрансиздат, 1961. — 708 с.
16. Немцов В.П. и др. Состояние и перспективы развития сухопутного лесотранспорта в одиннадцатой пятилетке. В кн.: Пути совершенствования транспорта леса. — Химки, 1981, с. 3—7.
17. Павлов Ф.А. Покрытия лесных дорог. — М.: Лесная промышленность, 1980. — 176 с.
18. Покровский Г.И., Булычев В.Г. Исследование напряжений в грунтах и многослойных конструкциях при динамической нагрузке. Труды Дорнии, вып. 1. М.: 1938, с. 23—29.
19. Покровский Г.И., Иванова М.В. Взаимопроникание песка подстилающего слоя и грунта основания. Труды Дорнии, вып. 3. Исследования по механике дорожной одежды. — М.: Дориздат, 1941. — 238 с.
20. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна. — М.: Транспорт, 1982. — 166 с.
21. Сиденко В.М., Михович С.И. Эксплуатация автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1976. — 228 с.
22. Трибунский В.М. Исследование деформаций покрытий автомобильных лесовозных дорог с применением синтетических текстильных материалов. — В сб.: Синтетические текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог. Труды Союздорнии. — М.: 1983, с. 57—63.
23. Троицкая М.Н. Экспериментальные исследования модуля деформации и критического прогиба нежестких дорожных одежд. Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий. — М.: Дориздат, 1952, с. 16—58.

24. **Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог.** СН 449–72. — М.: Стройиздат, 1973. — 114 с.

25. **Усюкин В.И.** Техническая теория мягких оболочек и ее применение для расчета пневматических конструкций. — В кн.: Пневматические строительные конструкции. — М.: Стройиздат, 1983, с. 299–333.

26. **Филоненко-Бородич М.М.** Некоторые приближенные теории упругого основания. Ученые записки МГУ. Вып. 46. Механика. Издание МГУ. — М.: 1940, с. 3–18.

27. **Цытович Н.А.** Механика грунтов. — М.: Высшая школа, 1983. — 288 с.

28. **Черкасов И.И.** Механические свойства грунтов в дорожном строительстве. — М.: Транспорт, 1976. — 248 с.

Зависимость коэффициента К от глубины и диаметра чаши деформации

Глубина чаши деформации, м	Диаметр чаши деформации, м												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
0,01	0,0244	0,0049	0,0016	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	—	—	—	—
0,02	0,1803	0,0377	0,0122	0,0050	0,0024	0,0013	0,0008	0,0005	0,0003	0,00	—	—	—
0,03	0,5382	0,1202	0,0398	0,0166	0,0081	0,0044	0,0026	0,0016	0,0011	0,0001	—	—	—
0,04	1,085	0,2638	0,0902	0,0383	0,0189	0,0103	0,0061	0,0038	0,0025	0,0002	—	—	—
0,05	1,7477	0,4681	0,1665	0,0721	0,0359	0,0197	0,0117	0,0074	0,0049	0,0003	—	—	—
0,06	2,4343	0,7233	0,2691	0,1193	0,0601	0,0333	0,0199	0,0126	0,0083	0,0005	—	—	—
0,07	3,0671	1,0131	0,3958	0,1800	0,0921	0,0515	0,0309	0,0196	0,013	0,0008	—	—	—
0,08	—	1,3189	0,5425	0,2537	0,1319	0,0746	0,0451	0,0288	0,019	0,0013	—	—	—
0,09	—	1,6229	0,7038	0,339	0,1794	0,1026	0,0625	0,0401	0,0268	0,0018	0,00	—	—
0,10	—	1,9105	0,8739	0,434	0,2341	0,1355	0,0832	0,0537	0,0361	0,0024	0,0001	—	—
0,11	—	2,1711	1,0467	0,5365	0,2952	0,1731	0,1073	0,0696	0,047	0,0032	0,0001	—	—
0,12	—	2,3979	1,2172	0,6441	0,3617	0,2151	0,1345	0,0879	0,0596	0,0042	0,0001	—	—
0,13	—	2,5878	1,3806	0,7544	0,4325	0,2609	0,1648	0,1085	0,074	0,0053	0,0001	—	—
0,14	—	2,7404	1,5335	0,865	0,5066	0,31	0,1979	0,1312	0,090	0,0065	0,0002	—	—
0,15	—	2,8571	1,6734	0,9737	0,5826	0,3619	0,2335	0,156	0,1076	0,0080	0,0002	—	—
0,20	—	—	2,1429	1,4387	0,9553	0,6402	0,4369	0,3046	0,217	0,0180	0,0005	0,00	—
0,30	—	—	—	—	1,4286	1,0984	0,8367	0,6368	0,4896	0,0538	0,0017	0,0001	0,00
0,50	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8571	0,1748	0,0072	0,0005	0,0001
0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2434	0,0119	0,0008	0,0002
0,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3067	0,0180	0,0013	0,0003
0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3597	0,0254	0,0019	0,0004
0,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4003	0,0339	0,0027	0,0006
1,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4286	0,0434	0,0036	0,0008

Учет влияния прослойки на модуль деформации грунта

Грунт и прослойка обладают различными свойствами. У грунта прирост воспринимаемой нагрузки снижается при увеличении осадки, а у прослойки, наоборот, повышается с увеличением прогиба. Поэтому при совместной работе грунта и прослойки закономерность деформации изменится в благоприятную для повышения прочности сторону и, следовательно, грунт с прослойкой будет иметь более высокий модуль деформации при больших прогибах, чем грунт без прослойки.

Для определения общего модуля деформации грунта и прослойки воспользуемся методами и идеями, предложенными профессорами А.К. Бируля и О.Т. Батраковым. При известном значении модуля деформации для данной относительной осадки λ_1 , его значение для другой относительной осадки λ_2 можно определить по формуле

$$E_2 = E_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{1-\mu}, \quad (1)$$

где E_1 — модуль деформации грунта при относительной осадке λ_1 ; E_2 — модуль деформаций грунта при относительной осадке λ_2 ; μ — параметр.

При параболической кривой осадки штампа относительная осадка равна

$$\lambda_1 = \left(\frac{\sigma}{c} \right)^{\frac{1}{\mu}}, \quad (2)$$

где σ — давление на грунт; c — параметр.

Учитывая, что прослойка снижает давление на грунт, запишем

$$\lambda_2 = \left(\frac{\sigma - q}{c} \right)^{\frac{1}{\mu}}. \quad (3)$$

Подставим (2) и (3) в (1) и после преобразований получим

$$E_2 = E_1 \left(\frac{\sigma}{\sigma - q} \right)^{\frac{1-\mu}{\mu}}. \quad (4)$$

Таким образом для расчета общего модуля деформации грунта и прослойки получена достаточно простая формула. При $\mu = 0,5$ (переувлаженный глинистый грунт) она еще более упрощается и приобретает вид

$$E_2 = E_1 \left(\frac{\sigma}{\sigma - q} \right) = E_1 \left(\frac{1}{1 - \frac{q}{\sigma}} \right). \quad (5)$$

Зная общий модуль деформации грунта и прослойки, толщину дорожной одежды можно рассчитывать по обычной методике.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Возможности использования полимерных материалов для повышения прочности и надежности автомобильных лесовозных дорог	4
- Влияние транспортных средств и природных факторов на состояние автомобильных лесовозных дорог (4). Деформации и разрушения лесовозных дорог и их основные причины (6). Функции полимерных материалов в дорожных конструкциях (11). Дорожные конструкции с полимерными материалами (17)	
Материалы прослоек	20
Обоснование требований к материалам прослоек (20). Нетканые синтетические материалы (26). Армированная бумага (27)	
Строительство и ремонт лесовозных дорог с применением различных изолирующих прослоек	30
Особенности проектирования дорог с прослойками (30). Технология строительства и ремонта автомобильных лесовозных дорог с применением изолирующих прослоек (41)	
Опыт эксплуатации дорог с полимерными материалами	49
Испытания лесовозных дорог с прослойками (49). Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации дорог с изолирующими прослойками (59)	
Эффективность использования прослоек в дорожных конструкциях и перспективы их применения	61
Список рекомендуемой литературы	65
Приложение 1. Зависимость коэффициента К от глубины и диаметра чаши деформации	67
Приложение 2. Учет влияния прослойки на модуль деформации грунта	68

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ" ВЫПУСТИТ В 1986 ГОДУ СЛЕДУЮЩУЮ ЛИТЕРАТУРУ ПО ВОПРОСАМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА:

Бычков В.П. Использование транспорта на лесных предприятиях. — 8 л. — ц. 40 к.

Дан комплексный анализ использования транспорта для перевозки лесоматериалов. Большое внимание уделено разработке и обоснованию основных направлений повышения экономической эффективности перевозок, а также совершенствованию организации строительства, ремонта и содержания лесовозных дорог, применению хозрасчетных принципов в транспортных подразделениях.

Для экономистов и инженеров, занимающихся вопросами организации и планирования работы транспорта.

Саяпин А.А. Организация труда при ремонте лесозаготовительного оборудования. — 16 л. — ц. 1 р. 10 к.

Подробно рассмотрены вопросы оптимального разделения и кооперации труда при ремонте лесозаготовительного оборудования, рационализации производственного процесса при совмещении профессий. Освещен опыт применения бригадных форм организации и стимулирования труда. Изложены вопросы оперативно-производственного планирования и диспетчеризации в условиях ремонтных мастерских, методы и средства механизации и автоматизации управленческих работ.

Для инженерно-технических работников лесозаготовительных предприятий.

Солодухин М.М., Овчинников М.М. Водный транспорт хлыстов. — 10 л. — ц. 50 к.

Приведена технология поставки хлыстов в плотях и на судах. Освещены механизация и технологические процессы сплотно-формировочных работ, а также погрузки — выгрузки хлыстов при перевозке их в судах. Рассмотрены транспортные характеристики хлыстовых плотов и их влияние на производственные показатели. Дана оценка экономического эффекта поставки хлыстов, намечены пути ее совершенствования.

Для инженерно-технических работников лесной промышленности.

Темкин В.Э., Коперин И.Ф. Справочник энергетика лесопромышленного предприятия (эксплуатация оборудования). — 15 л. — ц. 75 к.

Рассмотрены основные условия эксплуатации энергетического оборудования в лесопромышленных предприятиях, технико-эксплу-

тационные характеристики энергооборудования и эксплуатационных материалов, типовые объемы работ и рациональные методы их выполнения; а также эксплуатационно-технические средства и инструменты.

Для инженерно-технических работников лесной промышленности.

Заказать и приобрести перечисленные книги можно в магазинах — опорных пунктах издательства, распространяющих отраслевую литературу:

109428 Москва, ул. Михайлова, 28/7, магазин № 125;

193230 Ленинград, ул. Крыленко, 23, магазин № 106.

Виктор Михайлович Трибунский

ИЗОЛИРУЮЩИЕ ПРОСЛОЙКИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Редактор издательства В.П. Сергеева
Оформление художника А.А. Кущенко
Художественный редактор Н.Г. Глебовский
Технический редактор В.В. Соколова
Оператор Т.А. Ермакова
Корректор Т.А. Кирылова
Вычитка Ж.А. Лобановой

ИБ № 2074

Подписано в печать 12.07.85. Т — 15683. Формат 60×90/16. Бумага писчая № 0.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 4,5. Усл.кр.-отт. 4,88. Уч.-изд.л. 4,71. Тираж 1750 экз.
Заказ 3875 . Цена 25 коп.

Ордена "Знак Почета" издательство "Лесная промышленность". 101000, Москва,
ул. Кирова, 40в.

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Москва, Волочаевс-
кая ул., 40