

УДК 625.852

Мишутин А.В., д-р техн. наук

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА КОЛЕЕСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Аннотация. В статье наведен анализ различных факторов влияющих на колеестойкость асфальтобетона, а именно: зависимость сдвигоустойчивости от свойств минерального остова асфальтобетонной смеси, свойств вяжущего и асфальтового вяжущего вещества. Предложены практические способы повышения сдвигоустойчивости и стойкости асфальтобетона к колееобразованию за счет полимер битумного вяжущего и минеральной части.

Ключевые слова: сдвигоустойчивость, колеестойкость, асфальтобетон, асфальтобетонной смеси, загрузка, температура.

УДК 625.852

Мишутін А.В., д-р техн. наук

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА КОЛЕСТІЙКІСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. У статті наведено аналіз різних факторів, що впливають на колієстійкість асфальтобетону, а саме: залежність зсувостійкості від властивостей мінеральної частини асфальтобетонної суміші, властивостей в'язучого і асфальтового в'язучої речовини. Запропоновано практичні способи підвищення зсувостійкості і стійкості асфальтобетону до колієутворення за рахунок полімер бітумного в'язучого і мінеральної частини.

Ключові слова: зсувостійкість, колієстійкість, асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, навантаження, температура.

UDC 625.852

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci.

ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE ASPHALT CONCRETE CHOLESTANOL

Abstract. The article analyzes the various factors influencing the flocculation of asphalt concrete, namely: the dependence of shear stability on the properties of the mineral skeleton of the asphalt-concrete mixture, the properties of the binder and asphalt binder. Practical ways of increasing the shear stability and resistance of asphalt concrete to the rutting due to the polymer of bituminous binders and mineral parts are proposed.

Key words: shear stability, stiffness, asphaltic concrete, asphalt-concrete mixture, loading, temperature.

Введение

Автомобильные дороги в каждой стране мира имеют стратегическое значение. В Украине это значение особо велико, так как они связывают и объединяют обширную территорию, обеспечивая развитие как экономической, так и социальной сферы. Именно от уровня развития дорожной сети зависит насколько устойчивым будет развитие общества в целом, экономический рост, повышение уровня жизни граждан и повышения безопасности страны. От уровня качества автомобильных дорог и их доступности зависит степень их интеграции в международную транспортную систему. В таком случае автомобильные дороги становятся не только частью экономики страны, но и частью мировой экономики, так как от уровня автомобильных дорог зависит себестоимость автомобильных перевозок по территории конкретной страны. В случае если состояние сети автомобильных дорог неудовлетворительное, издержки на перевозки товаров автомобильным транспортом растут, что в свою очередь провоцирует рост цен на перевозимые товары и может в отдельных случаях сделать перевозки таким видом транспорта нерентабельными, что в свою очередь влечет снижение объема перевозок.

Для того что бы обеспечить экономику страны автомобильными дорогами в достаточном объеме, дорожная отрасль нуждается в постоянном уровне финансирования, растущем вместе с протяженностью автомобильных дорог.

Снижение финансирования дорожной отрасли спровоцировало рост протяженности участков автомобильных дорог, на которых наблюдается с 2000 года недоремонт. Одновременно с этим в Украине с начала 90-х годов прошлого столетия наблюдается рост автомобильного парка, который за это время увеличился более чем в 2 раза. Несмотря на такие темпы роста, дорожная сеть увеличилась незначительно. В результате произошедших перемен транспортный поток изменился не только количественно, но и качественно. Значительно возрос объем грузовых перевозок. В соответствии со статистикой [1-6] ежегодный прирост международных автомобильных перевозок в странах СНГ составляет от 10 до 18 %. Однако рост произошел не только с точки зрения увеличения оборота. Так, например, большинство автомобильных дорог Украине рассчитаны на осевые нагрузки 6т и лишь немногие на 10 т. С принятием изменения изменений в ВБН В.2.3-218-186 осевые нагрузки на вновь строящиеся дороги составляет 11,5 т на ось. Однако, большинство из применяемых грузовых автомобилей соответствуют нагрузки на ось в 13 т, которые, как правило, перегружены на 25-30%. Описанная выше неподготовленность сети автомобильных дорог к возникшим на нее нагрузкам спровоцировало повсеместное появление пластических деформаций в виде колеи. С 1995 по 2005 годы протяженность участков с колейностью выросла на 38% и составила порядка 20 тыс. километров и продолжает расти. Как правило, резкое появление колеи на автомобильной дороге сопровождается началом движения по ней автомобилей с осевой нагрузкой значительно превышающей расчетную. В таких случаях колея наблюдается по всей толщине дорожной одежды и даже земляного полотна. В странах Западной Европы, где величина расчетных нагрузок выше Украинских, а их разнообразие больше, процесс колееобразование связывают с недостаточной сдвигоустойчивостью асфальтобетона [7, 8]. Разнообразие расчетных нагрузок позволяет с максимальной точностью моделировать условия работы дорожной конструкции, что обеспечивает подготовленность дорожной конструкции к реальному движению. Экономический ущерб от образования колеи достаточно велик. Помимо снижения безопасности и ровности покрытия, которые сами по себе приносят убытки, образование колеи заставляет чаще менять покрытие автомобильной дороги, чем, если бы его приходилось менять

по причине прочностных разрушений. Использование асфальтобетонного покрытия становится более дорогим и эффективность от средств, вложенных в строительство нового покрытия, резко падает. Данная ситуация приводит к увеличению роста участков автомобильных дорог, требующих ремонта.

В решении проблемы колееобразования необходимо наряду с повышением расчетных осевых нагрузок для дорожных одежд применять асфальтобетоны, более устойчивые к пластическим деформациям. Помимо исследования свойств самого асфальтобетона, позволяющих повысить его сдвигоустойчивость, необходимо разработать метод, который позволял бы при проектировании асфальтобетона определить его способность сопротивляться необратимым деформациям на материалах, применяемых в каждом конкретном случае. Разработка такого метода позволит корректировать и получать составы с наибольшей сопротивляемостью к образованию колеи на стадии проектирования асфальтобетона.

Основная часть

Факторы, определяющие сдвигоустойчивость асфальтобетона. В настоящее время наиболее широкое распространение получил метод расчета различных конструкций, не исключая и конструкцию дорожной одежды, по предельным состояниям. Все существующие конструкции рассчитываются по 2 предельным состояниям: потеря прочности конструкции и появление значительных деформаций, не позволяющих безопасно использовать конструкцию. Конструкции дорожной одежды, в соответствии с [9] рассчитываются по первому предельному состоянию, то есть на прочность. Основным условием работоспособности конструкции считается условие, при котором прочность конструкции выше минимально допустимой, исходя из конкретных условий эксплуатации этой конструкции. Данные нормы предполагают, что удовлетворяя по прочности, конструкция дорожной одежды прослужит в течение всего срока службы. Однако, для асфальтобетонного покрытия не редко характерен выход из строя по второму типу предельного состояния, которым является возникновение необратимых деформаций превышающие допустимые. В результате этого безопасная эксплуатация дорожной конструкции становится невозможной. Такие деформации, как правило, не сильно влияют на величину прочности покрытия, однако их дальнейшая эксплуатация становится невозможной из-за нарушения основных

потребительских свойств покрытия, определяющих безопасность движения транспортных средств по покрытию. Появление необратимых деформаций способствуют скоплению воды на поверхности асфальтобетонного покрытия. Это может привести к появлению эффекта аквапланирования и создает трудности при перестроении транспортных средств из полосы в полосу. Кроме того, в период, когда возможно образование гололеда, скопление воды в колее особенно опасно. <вставка 1 Данные об увеличении аварийности на участках с колеей>

Основными признаками выхода покрытия из строя по второму предельному состоянию являются образование таких дефектов, как волны, наплывы, сдвиги, вмятины, колея, величины, больше допустимой из условия обеспечения безопасности дорожного движения. Появление таких дефектов на асфальтобетонном покрытии обусловлено комплексом факторов, основными из которых являются: высокие сдвиговые нагрузки от автомобильного транспорта и неспособностью асфальтобетонного покрытия воспринимать эти нагрузки, истирающее воздействие шипованных шин, недостаточная прочность дорожной одежды. [10-18.]

Как ранее упоминалось, при изучении процесса колееобразования с точки зрения работы асфальтобетона в покрытии необходимо рассматривать только один из трех типов колеи – пластическую колею, так как ее образование происходит исключительно за счет физических процессов, протекающих непосредственно в асфальтобетоне и зависят от его свойств. Так как деформации происходят из-за накопления незначительных деформаций, под действием многократно повторяющейся нагрузки, то основным свойством, влияющим на сопротивляемость асфальтобетона к накоплению остаточных деформаций является сдвигоустойчивость асфальтобетона. Именно недостаточная сдвигоустойчивость материала приводит к образованию колеи.

Однако, прежде чем делать выводы о причинах, которые определяют недостаточную сдвиговую устойчивость покрытия и факторах определяющих сдвигоустойчивость, необходимо определить физическую модель, по которой работает асфальтобетон на сдвиг.

Так Н.Н. Ивановым, В.А. Захаровым, Н.В. Горельшевым (и многими другими) [10-19], было показано, что сдвигоустойчивость асфальтобетона можно выразить уравнением Маслова (за основу было взято уравнение Кулона, которое было усовершенствовано Масловым до настоящего вида для

применения его к грунтам, в последствие использовано Ивановым, Горельшевым для описания свойств асфальтобетона), по которому сдвигоустойчивость обуславливается внутренним трением и сцеплением материала, которое в свою очередь делится на сцепление зацепление и вязкой составляющей сцепления.

$$\delta_{сдв} = P \operatorname{tg} \varphi + C_c + \Sigma \sigma \quad (1)$$

Данное уравнение наиболее точно описывает модель работы асфальтобетона на сдвиг и имеет три составляющих, от которых и зависит сдвигоустойчивость. Такие параметры как угол внутреннего трения (φ) и внутреннее зацепление частиц (C_c) зависят от свойств минерального остова, а составляющая $\Sigma \sigma$ от сил сцепления, обуславливаемых свойствами самого вяжущего и асфальтового вяжущего вещества (минеральный порошок и вяжущее). Так же авторами было показано, что увеличение сдвигоустойчивости асфальтобетона можно достичь двумя различными путями: повышение сдвиговых свойств минерального остова и повышение сдвиговых за счет улучшения характеристик битума и асфальтового вяжущего вещества. Более подробно каждое из двух отмеченных направлений повышения сдвигоустойчивости асфальтобетона будет рассмотрено далее.

Однако при рассмотрении свойств асфальтобетона, позволяющих оказывать сопротивление накоплению сдвиговых деформаций не достаточно рассматривать только силы сопротивления сдвигу. При работе в покрытии асфальтобетон подвергается многократным кратковременным или длительным нагрузкам, значительно более низким чем разрушающие. В связи с этим возникает необходимость наряду с рассмотрением свойств асфальтобетона, от которых зависит сдвигоустойчивость напрямую, рассматривать такие свойства асфальтобетона как сопротивление усталостным процессам и накоплению остаточных деформаций.

Зависимость сдвигоустойчивости от свойств минерального остова асфальтобетонной смеси. В рамках вышеописанной физической модели сдвигоустойчивость зависит от таких составляющих формулы Маслова, как угол внутреннего трения (φ) и внутреннее зацепление частиц (C_c). Поэтому, говоря о величине сдвигоустойчивости асфальтобетона, зависящей от свойств

минерального остова, в первую очередь стоит говорить о величине вышеуказанных параметров. Внутреннее трение минерального остова зависит от ряда факторов, в основном от гранулометрического состава и характера поверхности частиц. Так, например, по данным Н.Н. Иванова, В.А. Захарова, Н.В. Горельшева, Л.Б. Гезенцевя [20 - 23] с увеличением размеров частиц внутреннее трение увеличивается, если зерна дробленые и не изменяет его, если они окатанные.

По данным Н.Н. Иванова и Л. Нижбоера [22], тангенс угла внутреннего трения асфальтобетона с увеличением размера частиц от 2 до 16 мм изменяется примерно в пределах от 0,60 до 0,70. Несколько большее влияние оказывает формы и характер поверхности. Так, например, тангенс угла внутреннего трения в щебне выше на 0,10-0,15, чем в гравии. Таким образом, присутствие в составе асфальтобетона остроугольных частиц способствует повышению угла внутреннего трения. В своих работах Н.В. Горельшев и Л.Б. Гезенцевей [21 - 23] отмечали, что сдвигоустойчивость щебенистого асфальтобетона обеспечивается лишь в том случае, когда количество щебня в нем достаточно для образования устойчивого каркаса, обладающего высоким коэффициентом внутреннего трения и способного воспринимать возникающие горизонтальные усилия.

Так же, кроме увеличения размера зерен щебня и применения не окатанных форм зерен, существует еще один метод увеличения внутреннего трения асфальтобетонов. Так замена обыкновенного природного песка на отсеvy дробления фракций 0-5 мм или 0-3 мм увеличивают внутреннее трение смеси [21, 22].

Введение же вяжущего в сухую смесь каменных материалов снижает угол внутреннего трения. Так опыты, проведенные Н.В. Горельшевым [19] показали, что угол внутреннего трения сухой минеральной смеси выше, чем смеси, содержащей битум. Объясняется это тем, что битум начинает работать как прослойка, снижающая трение между частицами каменного материала, поэтому с увеличением количества битума угол внутреннего трения снижается. Сопоставление величин внутреннего трения асфальтобетонной смеси в зависимости от формы частиц имеет смысл лишь при оптимальном или равном количестве битума. В противном случае, повышение количества битума резко снижает угол внутреннего трения в асфальтобетоне и в таком случае разница между окатанными и остроугольными частицами резко сокращается.

Авторами, на основании проведенных работ [17,19, 21], были сделаны выводы, что угол внутреннего трения не зависит от температуры и скорости деформирования асфальтобетона. На основании этого были выдвинуты предложения, что повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона должно производиться за счет повышения угла внутреннего трения материала. Кроме того, Н.В. Горельшев выделял 4 основные фактора, от которых зависят эксплуатационные свойства асфальтобетона: качество составляющих материалов, гранулометрический состав и количество битума, технология устройства покрытия, конструкция дорожной одежды.

Н.Н. Ивановым, Н.В. Горельшевым были предложены смеси с прерывистой гранулометрией из которых исключены несколько фракций, которые были в дальнейшем исследованы рядом других авторов. В этих смесях средняя крупность зерен каркаса больше, чем при непрерывной гранулометрии, что положительно отражается на плотности и сдвигоустойчивости таких структур.

Исследования Б.И.Ладыгина и И.К. Яцкевича [24] показали, что именно щебен в асфальтобетоне создает основной каркас, который и определяет устойчивость асфальтобетона при воздействии транспортной нагрузки. В работе авторами подчеркнута, что песок выполняет функцию заполнителя между крупными зернами и влияет на его сдвигоустойчивость, а минеральный порошок является добавкой, структурирующей битум, переводящей его в пленочное состояние. До создания теории каркасного асфальтобетона значительные исследования в области объяснения механизма образования структуры асфальтобетона внес Н.В. Михайлов [25, 26], который в своих работах основным типом структуры считал коагуляционную структуру. Асфальтобетон проявляет ползучесть и способствует пластическим деформациям, что может приводить в свою очередь к деформации в дорожных покрытиях при повышенных температурах. С целью уменьшения склонности асфальтобетона к ползучести он рекомендовал применять высокоактивные тонкодисперсные заполнители. Безусловно, в настоящее время асфальтобетон не рассматривается как коллоидная система, но рассмотрение их под таким углом позволяет определить дополнительные пути повышения сдвигоустойчивости за счет изучения свойств битумного вяжущего, которое в частности является коллоидной системой.

Так некоторые из проведенных исследований в Польше [27] говорят о росте сопротивляемости к колееобразованию за счет применения извести

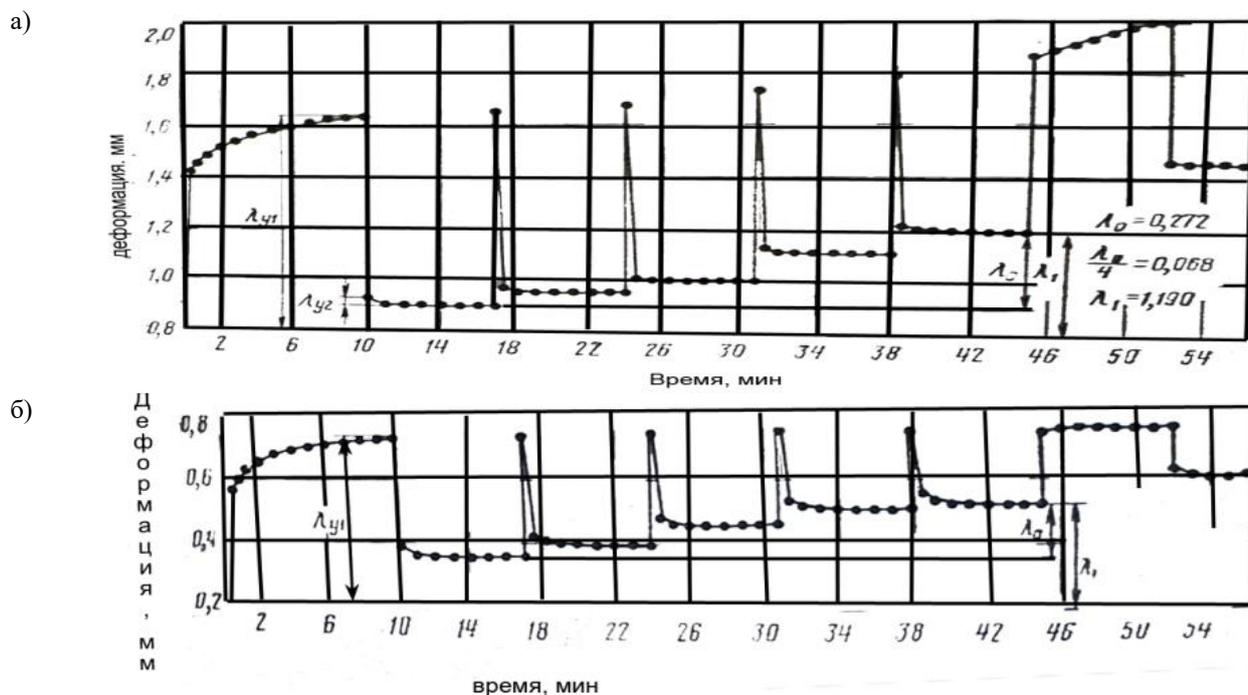
пушонки, которая значительно повышает адгезию битумного вяжущего. В рамках исследований был испытан один асфальтобетон с добавлением извести – пушонки в количестве 0, 1 и 1,5 %. Испытания проведены были на приборе оценки колееобразования путем нагружения 16000 циклов колесной нагрузки. В результате глубина колеи составила соответственно 2,2 мм, 1,2 мм и 0,9мм. Испытания проводились при температуре 50°С. Подобные результаты подтверждают необходимость применения высокоактивных добавок и говорят о влиянии активности материалов на сдвигоустойчивость.

В работах Л.Б. Гезенцева, М.И. Кучмы и А.М. Алиева [20, 22, 28] по применению активированных минеральных порошков было показана. Что применение активированного заполнителя позволяет существенно снизить количество свободного битума в асфальтобетоне и усилить его структурные связи. Такие изменения в структуре асфальтобетона позволяют добиться резкого увеличения сдвигоустойчивости покрытия и его прочности при высоких летних температурах, а кроме того снизить битумоемкость на 15-25% в зависимости от применяемых веществ при активации материала. В этих же работах авторами были проведены исследования, показывающие, что накопление остаточных деформаций происходит значительно медленнее при применении активированного минерального порошка. Кроме того, полученные авторами данные показывают, что скорость релаксации напряжений в асфальтобетонных образцах выше при применении в асфальтобетоне активированного минерального порошка. (рис.1)

Таким образом, применение активированных минеральных порошков является дополнительным средством регулирования сдвигоустойчивости асфальтобетона и его способности сопротивляться накоплению остаточных деформаций.

Различие в пространственном расположении зерен в смесях непрерывной и прерывистой гранулометриях состоит в том, что в смесях с непрерывной гранулометрией крупные зерна, слагающие каркас, не могут опираться друг на друга. Происходит это из-за того, что следующая по величине фракция, размер которой только вдвое меньше предыдущей, не заполняет пустоты, а раздвигает крупные зерна, нарушая принцип каркасности. Н.Н. Ивановым и Н.В. Горельшевым было показано, что смеси прерывистой гранулометрии во всех случаях обладают большей плотностью каменного остова, чем смеси

непрерывной гранулометрии. Позднее, теорию каркасного асфальтобетона развил и внедрил в практику Н.В. Горельшев [19].



а)- с неактивированным порошком б) – с активированным порошком.

Рисунок 1 - Накопление сдвиговых деформаций асфальтобетонов

Помимо соотношения зерен по размерам и форме не малое влияние на способность сопротивляться колееобразованию и величину сдвигоустойчивости оказывает остаточная пористость асфальтобетона. Сама по себе остаточная пористость характеризуется заданной при проектировании состава асфальтобетонной смеси гранулометрической кривой. Как было отмечено выше, более плотный асфальтобетон имеет более высокую сдвиговую устойчивость. Однако остаточная пористость делает так же отрицательный вклад, с точки зрения способности асфальтобетона сопротивляться колееобразованию. Опыты, проведенные зарубежными учеными показали [8], что помимо снижения сдвигоустойчивости в более пористом асфальтобетоне, величина остаточной пористости сильно влияет на скорость накопления остаточных деформаций и на их конечную величину при одинаковом количестве приложения нагрузки. На рисунке 2 показана обобщенная кривая, полученная в результате проведения многочисленных испытаний на колееность. Из рисунка 2 видно, что снижение остаточной пористости асфальтобетона значительно увеличивает количество

циклов необходимое для достижения заданной величины необратимой пластической деформации при испытании на приборе АРА [29, 30].

Из графика видно, что остаточная пористость асфальтобетона сильно влияет на способность асфальтобетона сопротивляться пластическим деформациям. Однако стоит заметить, что эта зависимость для разных асфальтобетонов разная и влияние остаточной пористости на сопротивление появлению остаточных деформаций может так же проявляться в большей или меньшей степени. На основе этих данных можно сделать вывод, что к появлению деформаций более устойчивы покрытия из плотных асфальтобетонов. Данное заключение, нашло свое выражение в действующих нормативных документах, регламентирующих применение различных видов асфальтобетонов для автомобильных дорог с различными условиями эксплуатации, где для верхних слоев рекомендованы более плотные смеси.



Рис. 3 Зависимость количества циклов для достижения предельной деформации от остаточной пористости.

Рисунок 2 – Зависимость количества циклов для достижения предельной деформации от остаточной пористости

Помимо классического асфальтобетона по [31], в последнее время в Украине, и в Странах Европейского Союза активно применяют щебеночно-мастичный асфальтобетон [32]. Этот материал является наиболее подходящим материалом для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог с тяжелым и интенсивным движением и покрытий аэродромов. Щебеночно-мастичный асфальтобетон положительно зарекомендовал себя в течение более 35 лет во всем мире как долговечный износостойкий вариант верхнего слоя покрытия [3, 4]. Щебеночно-мастичный асфальтобетон представляет собой смесь из щебня, песка из отсевов дробления, наполнителя, битумного вяжущего и добавок [32]. Характерной особенностью щебеночно-мастичного асфальтобетона является большое

содержание щебня прерывистого гранулометрического состава и содержания стабилизированного асфальтового вяжущего с большим содержанием битума. Основу механизма работы щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет самоподдерживающийся каркас и асфальтовый раствор.

Содержание щебня достигает порядка 70-80%, что позволяет создать жесткую скелетную структуру, которая обуславливает высокую сопротивляемость материала пластическим сдвиговым деформациям, а наличие значительного количества битумного вяжущего, образующего толстую пленку вяжущего на поверхности каменных зерен и заполняющих пустоты – делает его чрезвычайно устойчивым к различным агрессивным средам и более долговечным. Щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает прочным каркасом, высоким углом внутреннего трения и остаточной пористостью стремящейся к 0%, что делает его одним из лучших материалов для покрытия автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения, высокими нагрузками. [32, 33]

М.И. Волковым совместно с рядом авторов ХНАДИ были проведены исследования, которые позволили сравнить удельных вес каждой составляющей в уравнении кулона для асфальтобетона с различным содержанием щебня. В качестве испытуемых асфальтобетонов были выбраны асфальтобетоны типов А и В. При вертикальной нагрузке равной 0,5 МПа в асфальтобетоне типа А на каркас приходится нагрузка равная 91% и 9% на долю асфальтового вяжущего от сдвигающей нагрузки. Для асфальтобетона типа В эти показатели составили соответственно 76% и 24%. Данные результаты показывают то, что с уменьшением удельной доли воспринимаемой битумом сдвиговой нагрузки снижается и чувствительность асфальтобетона к высоким температурам.

Помимо этого, авторами были получены результаты, которые говорят о том, что при изменении скорости нагружения образцов с 50 мм/мин до 0,01 мм/мин прочность асфальтобетона типа А падает на 28%, а типа В на 45%. Данный факт говорит о том, что увеличение количества щебня в асфальтобетоне повышает его способность сопротивляться деформациям при длительном нагружении.

Зависимость сдвигоустойчивости от свойств вяжущего и асфальтового вяжущего вещества. Как показано в исследованиях некоторых авторов [20, 34], сдвигоустойчивость минерального остова выше, чем его же, но смешанного с битумом. Основной задачей битума является склеивание частиц

минерального материала с минимальным изменением показателя сдвигоустойчивости. Таким образом, при подборе вяжущего необходимо подбирать такое, которое смогло бы минимизировать снижение сдвигоустойчивости и как можно меньше способствовать накоплению микроскопических деформаций.

По мнению ряда авторов [1-5, 10-12, 18-22, 24, 26, 28, 33], основным недостатком асфальтобетона, как дорожно-строительного материала является его высокая чувствительность к температурам, а именно его прочности и деформативным свойствам. При повышении температуры вязкость битума снижается, а связи между частицами ослабевают, что влечет за собой уменьшение прочности. В случае понижения температуры происходит обратный процесс. Так если средняя прочность асфальтобетона при +50 °С составляет 10-20 кгс/см², а при понижении температуры может достигать 300 кгс/см². Такие свойства асфальтобетона не могут не накладывать дополнительных условий на условия работы самого асфальтобетона.

Как упоминалось ранее, если сравнивать сдвигоустойчивость сухой смеси и смеси с битумом, то сухая смесь будет иметь более высокие показатели угла внутреннего трения и зацепления частиц. Вызвано это в первую очередь тем, что битум работает как смазка [18-20, 28]. Однако в работах ряда авторов показано, что битум в асфальтобетоне находится в пленочном состоянии, при котором его вязкость значительно возрастает, именно поэтому при содержании в смеси битума меньше или больше оптимального его прочность падает. В первом случае не происходит полного обволакивания частиц минеральных материалов и материал склеивается не по всей своей массе. Во втором случае, из-за избытка битума он переходит из пленочного состояния в объемное и начинает вести себя как менее вязкий материал. Учитывая вышесказанное, одним из важнейших элементов управления сдвигоустойчивостью, является подбор оптимального количества вяжущего в смеси.

Таким образом, при сравнении сдвигоустойчивости двух различных асфальтобетонов необходимо сравнивать смеси с оптимальным количеством вяжущего. В формуле (1) Σ_6 - это именно вязкое сцепление в структуре асфальтобетона, обусловленное свойствами вяжущего. Именно недостаточная вязкость битума в момент приложения нагрузки заставляет деформироваться асфальтобетон без восстановления его первоначального состояния. Рядом

авторов выдвинуто положение говорящее, что битум удовлетворяет своему назначению в пределах интервала пластичности, то есть того интервала, в пределах которого вяжущее работает как упруго – пластический материал. Нижней границей этого интервала считается температура хрупкости по Фраасу, при охлаждении битума до более низкой температуры переводит битум в разряд твердых тел (проявляет упругие свойства), которые характеризуются хрупкостью. Как показали исследования [22] температура хрупкости сильно зависит от толщины пленки, и чем толщина меньше, тем температура хрупкости ниже. Из этого можно сделать вывод, что в асфальтобетоне битум, находящийся в тонкой пленке имеет более температуру перехода в упругое состояние, чем температура полученная на приборе Фрааса, когда битум находится в свободном состоянии. Верхней границей интервала пластичности считается показатель температуры размягчения, при превышении которой битум переходит в состояние, при котором ему присущи свойства пластичного тела и он не способен сопротивляться пластическим деформациям. Температура размягчения битума зависит от вязкости битума при 25 °С, чем она выше, тем выше температура размягчения. Таким образом, более вязкий битум имеет более высокую температуру хрупкости и обладает большей тепловой устойчивостью при эксплуатации асфальтобетона в период повышенных температур.

Однако у более вязких битумов возникает проблема хрупкости при низких зимних температурах. Таким образом, применяя более вязкие битумы для предотвращения появления пластических деформаций летом, увеличивается риск возникновения температурных трещин зимой. Данная проблема обостряется тем, что на большинстве территории России присутствует резко континентальный климат, в условиях которого асфальтобетонное покрытие должно быть способным сохранять работоспособность при температурах зимой до минус 30-50°С а летом до плюс 50-70 °С. Решением этой проблемы стало применение комплексных органических вяжущих с увеличенным интервалом пластичности [35].

Как показали исследования полимерно-битумных вяжущих, имея вязкость примерно равную вязкости обычного битума при 25 °С они имеют более высокую температуру пластичности и более низкую температуру хрупкости. Данные, представленные в стандарте [36] показывают сравнение Полимерно-битумного вяжущего и битума одинаковой вязкости. Основной идеей создания таких вяжущих является введение полимера в состав битума с целью получения

структур имеющих более широкий интервал пластичности и более высокую устойчивость к появлению деформаций.

К этим вяжущим материалам относятся вяжущие материалы на основе следующих групп полимеров [36]: Термоэластопласты (сополимеры стирол-бутадиен-стирол (SBS), стирол-изопрен-стирол (SIS), Стирол-бутадиен (SB), статические сополимеры стирол-бутадиен); Термопласты (Сополимеры этилен-винилацетата (EVA) , этилен-метилакрилата (ЕМА), этилен-бутилакрилата и др.); Латексы (эластомеры) (Полихлорпреновые, различные каучуки).

Определение конкретного вида применяемого полимера для модификации битума зависит от свойств исходного битума, условий эксплуатации полученного вяжущего. В России наибольшее распространение получили термоэластопласты типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), а так же резинобитумные вяжущие на основе измельченной резиновой крошки.

Исследование показали, что введение полимеров в битум позволяет значительно увеличить интервал пластичности вяжущего, чем самым перейти к производству вяжущих с заданными эксплуатационными характеристиками, а в результате этого получить асфальтобетоны с улучшенными эксплуатационными свойствами. Особенностью вяжущих с добавлением таких полимеров является не только увеличенный интервал пластичности, но и появление эластичности, что очень важно для сопротивлению процессу накопления остаточных деформаций при многократном нагружении. Вяжущие на основе этих полимеров обладают высоким показателем эластичности и имеют способность восстанавливаться до первоначального размера при значительных относительных деформациях.

Результаты испытаний показали, что применение асфальтобетонов на модифицированных битумах значительно сокращает образование на покрытии пластических деформаций [1-5, 10-12, 18-22].

Основным свойством вяжущего, влияющим на показатель сдвигоустойчивости является его вязкость при различных температурах. Косвенными показателями вязкости вяжущего при различных температурах являются его показатели пенетрации и растяжимости при 25°C и 0 °C, а так же температура размягчения и температура хрупкости вяжущего. В работах Л.М. Гохмана [35], по сравнению с предлагаемым ранее ставится принципиально новый подход к подбору вяжущего для асфальтобетона. Автором предлагается определять интервал эксплуатационных температур вяжущего, в зависимости от

климатических условий региона строительства и применяют вяжущие, интервал пластичности которых удовлетворяет интервалу эксплуатационных температур. Для получения вяжущего с заданными характеристиками (в том числе интервала пластичности) предлагается использование полимерно-битумных вяжущих материалов на основе термоэластопластов [35].

Аналогичные работы были проведены в Соединенных Штатах в рамках исследовательской программы SHRP (стратегическая программа дорожных исследований) была выделена программа создания технических условий на органические вяжущие на основе их эксплуатационных показателей, что позволило бы увязать результаты лабораторных испытаний с поведением материала во время эксплуатации. Данная программа получила название "Superpave" (Superior Performing Asphalt Pavements), что можно перевести как «высококачественные асфальтобетонные покрытия». Результатом проведения данной программы стало введение марки свойств вяжущего (PG) которая в своем обозначении несет рабочий интервал температур вяжущего. [37] Наибольшей им верхним интервалом в данном показателе предусматривается температура 72°C, что в большинстве случаев соответствует температуре покрытия в летний период.

Помимо вышеописанного способа повышения качества битума и регулирования его структурно-реологических характеристик имеется и ряд других. Среди них каучук, сера, резина, прочие полимеры, минеральные волокна, другие химические отходы.

Так И.М. Руденская и А.И. Руденский установили, что особое влияние на свойства асфальтобетона с добавкой резины имеет способ введения в состав асфальтобетона. Ими предложены 2 метода введения резины: применение резины в виде наполнителя минеральной части асфальтобетона, применение расплавленной резины и введения её в битум. При первом методе применяется порошок из резины размером частиц до 0,063 мм, который смешивается со смесью минеральных материалов в количестве 1,5-3,0% от массы каменных материалов, подогретых до температуры 180°C. После смешения с битумом асфальтобетонную смесь выдерживают в течении 3-5 часов в течении которых происходит модификация. При втором способе добавления резины к порошку добавляется пластификатор. Который делает ее пригодной для введения в битум, что позволяет получить вяжущее с широким интервалом пластичности.

Выводы

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы, что для получения более сдвигоустойчивого и стойкого к колееобразованию асфальтобетона следует стремиться к следующему:

1. Применять каркасные виды асфальтобетона – асфальтобетон с большим содержанием щебня и прерывистой гранулометрией.
2. Применять более плотные асфальтобетоны, которые снижают возможность доуплотнения асфальтобетона в процессе эксплуатации и обладают более высокой сдвиговой устойчивостью.
3. Применять каменные материалы с повышенной прочностью и износостойкостью, а так же щебень кубовидной формы и низким содержанием лещадных частиц, а природный песок заменять на отсеvy дробления.
4. В качестве минерального заполнителя применять высокоактивные минеральные по заполнители, а так же адгезионные добавки к битумам.
5. Для обеспечения сдвигоустойчивости необходимо применять экспериментально подобранное оптимальное количество вяжущего.
6. Для получения более сдвигоустойчивого асфальтобетона необходимо применять битум с более широким интервалом пластичности и высокой температурой размягчения.
7. Для предотвращения накопления пластических деформаций в асфальтобетоне необходимо применять комплексные органические вяжущие на основе термоэластопластов (полимерно-битумные вяжущие).
8. Для повышения стойкости асфальтобетона к колееобразованию необходимо разработать практические методы, а именно материаловедческие, конструктивные и технологические.

Литература

1. Жданюк В.К., Даценко В.М., Чугуенко С.А., Воловик О.О. До питання про методи оцінки та показники зсувостійкості асфальтобетонів. // Автошляховик України. – 2008. - №3. – С.28-30.
2. Воловик А.А. Колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона на битумах разных марок / Воловик А.А., Костин Д.Ю., Чугуенко С.А., Жданюк В.К. // Международная научно-практическая конференция молодых ученых: «Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений». – 2009. – С. 92-97.

3. Онищенко А.Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов и способы повышения колееустойчивости / А.Н. Онищенко // Дорожная техника. – Санкт-Петербург – 2013 – С. 134-144.
4. Поздняков М.К. Разработка метода оценки сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию / Поздняков М.К., Быстров Н.В. // Ассоциация исследователей асфальтобетона. Сборник докладов. – 2010. – С. 91-99.
5. Онищенко А.М. Існуючі способи підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг/ Онищенко А.М. // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов. В кн.: Мат. Межд. науч. – практ. конф. 01-04.11.12. – Харьков. – С. 193-198.
6. Б.Б. Каримов, Е.К. Салимбаев Автомобильные дороги содружества независимых государств (состояние, проблемы, перспективы, управление, финансирование, безопасность, экология) – М.: Интрансдорнаука, 2006. – 264 с.
7. «Научно-техническое обоснование причин образования колеейности на участке км 345-405 автодороги Москва – Минск с разработкой предложений» Отчет НИР по договору № 56/НТР-02. ДП ФГУП «СоюздорНИИ».
8. Validation of asphalt binder and mixture tests that measure rutting susceptibility. FHWA-RD-99-204. 2000.
9. ВБН В.2.3-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.
10. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М.: Высшая школа, 1969.
11. Богуславский А.М. , Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. - М.: Высшая школа, 1972. - 200 с.
12. Васильев А.П., Яковлев Ю.М., Руденский А.В. ОДМ «Рекомендации по выявлению и устранению колеей на нежестких дорожных одеждах»: Росавтодор, М. 2002, 180 с.
13. Г.Н. Кирюхин, Методы проектирования и испытания асфальтобетона. Обзорная информация СОЮЗДОРНИИ 6.2005.
14. Еремин В.Г., Еремин А.В., Волокитин В.П. Результаты исследования деформационно-прочностных свойств асфальтобетона методом вдавливания сферического штампа. Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, серия «Дорожно-транспортное строительство» вып. №1, 2003 г., с. 69-72.
15. Страгис В.И. Обоснование требований к сдвигоустойчивости асфальтобетона применительно к местным условиям Литовской ССР. :Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Каунас, 1974.-29 с.
16. Ладыгин Б.И. Основы прочности и долговечности дорожных бетонов. - Минск: МВСС и ПО БССР, 1963, с. 127.
17. Ребиндер П.А. Образование и механические свойства дисперсных структур. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1963, №8, с.162.
18. Никольский Ю.Е., Гмыря Б.С, Губач Л.С., Старков Г.Б. Новый эффективный способ оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона. Автомобильные дороги N 11-12, 1992, с.20.
19. Н.В. Горельшев Каркасный асфальтобетон. Дисс. Д.т.н. / М. – 1978
20. Л.Б. Гезенцевей. Асфальтовый бетон, «Стройиздат» Москва, 1964 (625.8 Г-28) УДК 624.01.12.3: 666.97.03.004
21. Н.Н. Иванов Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. В кн.: Повышение качества асфальтобетона . М. 1975, с21-25. Труды СОЮЗДОРНИИ. Вып. 79.
22. Л.Б. Гезенцевей Дорожный асфальтобетон М. «Транспорт», 1976. 336с.
23. М. Иваньски, Н.Б. Урьев Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами). М., Техполиграфцентр, 2007.-668с.
24. Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочности и долговечности дорожных бетонов. – Минск. Наука и техника. 1972.

25. Михайлов Н.В. Упруго-пластические свойства нефтяных битумов// Уоллоидный журнал. 1955.-17.-№3.
26. Михайлов Н.В. Основы улучшения и регулирования свойств дорожных битумов и битумоминеральных материалов. Балашиха: СоюздорНИИ, 1965.
27. Luxemburg F. Limite hydrate as an additive to improve the adhesion of bitumen to aggregates// II international conference "Durable and save road pavements". Poland, Kielce, 1996.
28. А.М. Алиев Исследование сдвигоустойчивости асфальтобетонов при высоких температурах. В кН.: Повышение качества асфальтобетона. М.. СоюзДорНИИ, 1975, с. 119-124 (Труды союздорнии вып. 79).
29. NCHRP Report 465. Simple Performance Test for Superpave Mix Design: National Academy Press, Washington D.C. - 2002, s.105.
30. Larry Santucci «Rut resistant asphalt pavements» , Technology transfer program report., 2002.
31. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-119-2011. – [2012-10-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 37 с.
32. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-127:2015. – [Чинний від 2016-07-01]. – К.: Мінбуд України, 2015. – 28 с.
33. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. – М., 2003. – 96 с. – (Автомоб. Дороги и мосты: Обзор. Информ./ Информавтодор; Вып. 2).
34. EN 12697-22:2003+A1:2007 «Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking».
35. .М. Гохман Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. Учебное пособие. – М. 2004
36. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-135:2014. – [Чинний від 2015-04-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 23 с. – (Національний стандарт України).
37. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing Superpave Series №1 (SP-1) - Asphalt Institute, 1995.

Рецензенти:

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **17.03.2017 р.**