

DOI: 10.12737/24133

Юшков Ф.В., нач. отд. аэродромного строительства
АО УК «Аэропорты Регионов»
Высоцкая М.А., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ СЦЕПЛЕНИЯ МЕЖДУ СЛОЯМИ АЭРОДРОМНЫХ И ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

roruri@rambler.ru

В работе предложен метод численной оценки сцепления слоями аэродромных и дорожных покрытий. Выполнены натурные исследования, подтверждающие эффективность предложенной методики.

Ключевые слова: *слои наращивания из асфальтобетона, геосетка, сцепление между слоями, методика численной оценки сцепления.*

Введение. Повышение безопасности полетов воздушных судов, обеспечение авиационной безопасности и надежности при эксплуатации ИВПП, улучшение качества обслуживания авиапассажиров и увеличение пропускной способности аэропортов – приоритетные направления развития авиации каждого цивилизованного государства.

Это выдвигает высокие требования к аэродромным покрытиям, которые должны отвечать показателям: безопасности выполнения взлетно-посадочных операций воздушных судов, а также комплексу требований, таких как: прочность, надежность и долговечность конструкции в целом и ее составных элементов. При этом под совокупностью прочностных характеристик аэродромных покрытий понимают способность сопротивляться процессу развития деформаций и разрушений под воздействием касательных и нормальных напряжений, возникающих в конструктивных слоях, на границах сопряжения (сращивания) слоев многослойных конструкций.

Максимальное разрушающее силовое воздействие испытывают верхние слои, особенно жестких аэродромных покрытий, непосредственно воспринимающие нагрузки от колес воздушного транспорта. Воздействия природных факторов (переменного температурно-влажностного режима, многократного замораживания и оттаивания, влияния солнечной радиации, ветровой эрозии), тепловые и механические воздействия газоздушных струй авиационных двигателей и механизмов, предназначенных для эксплуатации аэродрома, а также воздействие антигололедных химических средств – также оказывают негативное влияние на работу аэродромного покрытия. Совокупность этих факторов инициирует на бетонных покрытиях такие дефекты как сплошное шелушение плит, выбоины и раковины, уступы в швах, которые существенно не снижают несущую способность

покрытия, но значительно влияют на безопасность выполнения взлетно-посадочных операций. На жестких покрытиях влияние негативных факторов отражается в виде появления хаотично расположенных трещин, эрозий несущего слоя различного вида, выкрашивание материала асфальтобетона с дальнейшим образованием выбоин и очагового разрушения. Необходимо понимать, что любые разрушения покрытия с появлением на поверхности полосы посторонних предметов являются предпосылками к летным происшествиям, влияющим, прежде всего, на безопасность полетов.

Для устранения указанных дефектов широко применяется технология устройства асфальтобетонных слоев усиления, устраиваемых как на существующих покрытиях жесткого типа, так и на покрытиях жесткого типа, в том числе и на сборных покрытиях из плит типа ПАГ.

В этом случае актуальной становится проблема повышения сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетона в аэродромных покрытиях. Кроме того, важен вопрос оценки качества совместной работы слоев нового покрытия. К сожалению, асфальтобетонные покрытия взлетных полос не могут быть абсолютно ни трещиностойкими, ни сдвигоустойчивыми. Это обусловлено их чувствительностью к колебаниям температуры внешней среды, служащей источником непрекращающихся структурных изменений, протекающих в совокупности с большими механическими воздействиями при взлете и посадке воздушных судов. Под влиянием этих воздействий практически непрерывно изменяется пластичность асфальтобетона и его вяжущей части. В сочетании с переменным (постоянно меняющимся) напряженным состоянием от механических и динамических усилий это приводит к нарушению сплошности структуры - трещинообразованию, которое, также является

следствием отраженных трещин нижележащих жестких слоев покрытия, наблюдается также потеря деформационной устойчивости – сдвиги, колейность и наплывы и т.д.

Одним из эффективных методов борьбы с трещинообразованием и сдвиговыми деформациями в асфальтобетонных слоях сегодня считается использование геосеток [1–4]. Однако, в аэродромных покрытиях, состоящих из жесткого нижнего слоя, в том числе из сборных железобетонных плит и нарощенных асфальтобетонных слоев, помимо повышенных требований к трещиностойкости и сдвигоустойчивости, важно обеспечить сцепление конструктивных слоев покрытия между собой, не допускающее отрыва асфальтобетона под действием газодинамических струй от воздушных судов.

Анализ нормативной базы РФ показал, что сегодня отсутствует методика численной оценки качества сцепления слоев между собой в аэродромных и дорожных покрытиях.

Это вносит определенное недопонимание, а в ряде случаев провоцирует конфликтные ситуации между заказчиком и подрядчиком при приемке работ и в течение гарантийного срока объекта.

Основная часть. В России сцепление асфальтобетонных слоев определяется в соответствии с пунктом 12.5.2 СП [5]. В соответствии [5] предусматривается контроль качества сцепления слоев асфальтобетонного покрытия, при этом метод контроля, а также численные показатели не оговариваются. Можно предположить, что это визуальный контроль монолитности извлеченного керноотборником керна без определения численного значения силы сцепления. С помощью данного метода можно визуально констатировать отсутствие сцепления, но при наличии сцепления оценить его качество невозможно. Еще один немало важный момент, в течении какого нормативного времени должно сохраняться сцепление между слоями? Должна ли монолитность слоев фиксироваться только при приемке-сдаче объекта, или сцепление между слоями дорожных или аэродромных покрытий должно сохраняться в течение всего нормативного срока службы? Ответа на эти вопросы пока не существует.

Как альтернатива, для определения качества сцепления асфальтобетона с армирующим материалом предлагается методика испытания адгезии защитных покрытий бетонных и железобетонных конструкций по ГОСТ 28574-90 [6]. Результаты испытаний позволяют количественно определить адгезию защитных лакокрасочных покрытий по силе отрыва от бетонной поверхности с помощью металлического диска и дина-

мометра. Применительно к армирующему материалу в асфальтобетонном покрытии данные результаты испытания лишь косвенно говорят о качестве «прилипания» геосинтетического материала или непосредственно слоя усиления (наращивания) асфальтобетона к нижнему слою покрытия и не отражают совместную работу армирующего материала в покрытии в целом.

Методику исследования на сдвигоустойчивость на границе асфальтобетонных слоев при армировании образцов различными материалами предложили в Технологическом университете г. Дельфта, Голландия [7]. Полученные по данной методике результаты позволяют оценить прочность на сдвиг образцов из покрытия без армирующего геосинтетического материала и с ним.

Как отмечалось выше, при использовании асфальтобетона определяющую роль играет сдвигоустойчивость покрытия, особенно в случае его армирования. Поэтому, в Европе, при использовании геосинтетических материалов в слоях покрытия, одним из основных является испытание на срез асфальтобетонного керна по армирующему материалу. В России на сегодняшний день не существует нормативных документов, регламентирующих данное лабораторное испытание. Исходя из этого, в случае крайней необходимости, ссылаются на способ определения сцепления, используемый в Германии, который показывает величину сопротивления сдвигу. Но, как показала практика, лаборатории данным оборудованием не оснащены и не владеют данной методикой.

В соответствии с немецким стандартом DIN1996 T7 [8] сцепление слоев асфальтобетонного покрытия определяется по величине сопротивления на сдвиг керна диаметром 0,15 м, численное значение которого должно составлять не менее 15 кН. Общий вид установки в момент проведения эксперимента и схема нагружения представлены на рис. 1.

Требования к сопротивлению асфальтобетонного керна на сдвиг также предъявляются нормативным документом FGSV Nr 69 [9]. В случае изменения диаметра испытываемого керна требование к минимальному значению сопротивления образца на сдвиг коррелируется с учетом пропорциональности значения квадрату диаметра керна [10].

Опыт работы на аэродромах РФ показал, что проблема в невозможности численной оценки сцепления между слоями покрытий как нежесткое–нежесткое, так и нежесткое–жесткое носит массовый характер, а отсутствие нормативной базы существенно ее усугубляет. Подоб-

ное положение вещей обусловило необходи-



Рис. 1. Испытание керн из асфальтобетонного покрытия на сопротивление сдвигу по стандарту DIN

Разработанная методика численной оценки сцепления заключается в следующем. Предварительно в покрытии аккуратно делается кольцевой надрез на глубину, превышающую толщину асфальтобетона. Эта операция выполняется с использованием керноотборника при пониженной подаче коронки и повышенном расходе воды для того, чтобы не повредить керн, в нашем случае использовался керноотборника Gölz KB-200. Если керн отрывается в процессе сверления, то сцепление исследуемых слоев считается неудовлетворительным.

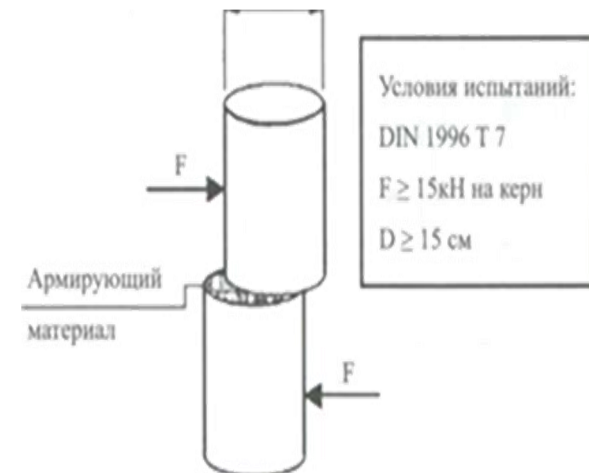
После засверливания коронки на глубину большей, чем проектная толщина исследуемых слоев (определяется по характерному изменению цвета пульпы или трудности прохождения засверливания) на керн устанавливается захват, который подсоединяется к предварительно оттарированному гидроцилиндру. Медленно повышается давление в гидроциindre на уборку штока. По максимальному давлению в гидроциindre определяется усилие в момент отрыва керн. Схема испытания представлена на рис. 2.

Для измерения усилия отрыва асфальтобетонного керн по разработанной методике необходимо оборудование:

- специальный разработанный цанговый захват керн $\varnothing 97$ мм,
- гидроцилиндр, шарнирно подвешенный к треноге и соединенный с захватом,
- насосная станция с образцовым манометром, для определения давления в гидроциindre.

Для экспериментальной апробации предложенной методики и оценки влияния геосинтетических материалов между асфальтобетонными слоями усиления и сборным покрытием из плит

ПАГ-18 напесчаном основании толщиной 0.15 – 0.20 м на полигоне 26 ЦНИИ МО РФ было выполнено наращивание асфальтобетоном в двух вариантах:



1. вариант – двухслойная конструкция с верхним слоем из мелкозернистого асфальтобетона толщиной 0.05 м и с нижним слоем толщиной 0,07 м из крупнозернистого плотного асфальтобетона, рис. 3а;

2. вариант – двухслойная конструкция со сплошным армированием георешеткой Амдор между слоями аналогичными 1 варианту, рис. 3б.



Рис. 2. Оценка сцепления слоев асфальтобетона в покрытии

Прочность сцепления асфальтобетонных слоев при армировании геосинтетическим материалом значительно зависит от ряда факторов и, в первую очередь, от температуры укладываемого

мой асфальтобетонной смеси. При строгом соответствии технологии выполнения работ добиться сцепления асфальтобетонных слоев в конструктиве – посильная задача. В этом случае керны отбираемых слоев покрытия должны из-

влекаться монолитом, а прочность сцепления будет соответствовать или превышать величину не менее 1 кгс/см² или 0.1 МПа, и определить качество сцепления таких слоев возможно только в лабораторных условиях.



Рис. 3. Конструктивные решения опытного участка

Наибольший интерес представляют спорные случаи. Когда образец извлекается целостным керном из покрытия, а при незначительной нагрузке (падении, ударе) разделяется на составные части. В эту категория довольно часто попадают керны, извлеченные из смешанного покрытия с наращенными слоями из асфальтобетона, слабым местом которых является плоскость сопряжения разнородных материалов (бетон-асфальтобетон).

Интерпретация результатов по определению сцепления в этом случае может быть спорной, особенно если учесть, что подобной манипуляции, с извлечением кернов для определения сцепления, в подавляющем большинстве предшествует какая-нибудь история, связанная с проблемами при эксплуатации покрытия летного поля (отрыв слоев при выполнении взлетно-посадочных операций, поднятие-просадка нижележащих жестких слоев (плит) и т.д.). То есть, это случаи, чаще всего связанные с нарушением или отклонением в технологии производства работ или эксплуатации.

Из устроенного покрытия был отобран 21 керн на участках с армированием асфальтобетонных слоев и без него. Все они подвергались извлечению по разработанной методике с определением усилия отрыва между слоями.

Результаты по определению толщины, сцепления конструктивных слоев покрытия приведены в табл. 1 и 2, соответствующих вариантам конструкций слоев усиления.

При отборе кернов из покрытия фиксировалось значение сцепления асфальтобетонного слоя усиления с бетонными плитами. Как видно из результатов таблицы 1 керн №3 первоначально оторвался на границе сращивания верхнего и нижнего слоев асфальтобетона, достигнув величины сцепления 25 кПа. Завершение отрыва оставшейся части керна составило величину отрыва 42 кПа. В виду отсутствия методики определения сцепления между слоями асфальтобетона принято следующее допущение – в случае если керн из двухслойного покрытия был извлечен полностью, величина сцепления между слоями, пересчитанная без учета веса керна, принималась не менее, чем величина сцепления асфальтобетона и бетона.

Необходимо отметить, что при выполнении эксперимента по определению усилия отрыва между слоями асфальтобетонного слоя и плитой ПАГ, в подавляющем большинстве наблюдалось недостаточное сцепление или его отсутствие.

Таблица 1

Результаты отбора кернов из покрытия с асфальтобетонными слоями наращивания на сборном покрытии без армирования

№ керна	Толщина, см.		Сцепление, кПа	
	общая	верх. слоя	а/б-ПАГ	верх. - ниж. сл. а/б
1	9,7	4,5	54	>54
2	12,2	5,6	17	>17
3	13,0	5,6	42	25
4	12,4	5,5	22	>22
5	14	6	57	>57
6	14	6	60	>60
7	12,7	5,3	62	>62
8	13,4	5	11	>11
9	14,2	5,8	48	>48
10	13,4	5	6	>6
11	9,5	4,3	94	94

Таблица 2

Результаты отбора кернов из покрытия с асфальтобетонными слоями наращивания на сборном покрытии с армированием между слоями

№ керна	Толщина, см.		Сцепление, кПа	
	общая	верх. слоя	а/б-ПАГ	верх. - ниж. сл. а/б
1	13.8	5.9	28	неуд.
2	12.6	5.4	102	неуд.
3	11.8	5.3	14	неуд.
4	13.2	6.0	25	>25
5	14.6	6	51	неуд.
6	14.6	6	39	неуд.
7	11.8	5.2	39	неуд.
8	13.3	5.5	>37	28
9	14,3	5,1	45	19
10	12,5	5,3	34	11

Как видно из представленных данных, наличие армирующей прослойки между слоями асфальтобетона значительно снизило сцепление этих слоев: почти 70% кернов с армирующей прослойкой имели неудовлетворительное сцепление.

Также, выполненные исследования позволили в первом приближении характеризовать прочностью сцепления слоев следующими значениями:

до 15 кПа – отдельные слои (отсутствие сцепления);

15 – 50 кПа – отделение при легком ударе (недостаточное сцепление);

50 – 70 кПа – отделение в лаборатории при нагреве (удовлетворительное сцепление для эксплуатации покрытия);

более 70 кПа – разделение только при механическом воздействии в лаборатории (гарантированное сцепление для эксплуатации покрытия в период срока эксплуатации).

Измеренная величина сцепления кернов находилась в диапазоне от 10 кПа до 110 кПа. При этом следует отметить, что для предотвращения отрыва слоев асфальтобетона от аэродромного покрытия из сборных плит горизонтальными реактивными струями от обычных воздушных судов необходимо, чтобы величина сцепления, соответствующая суммарной толщине слоев усиления 0,12 м, гарантированно превосходила отрывающее усилие, отнесенное к единице площади $R_{отр}$, равное 30 кПа [11].

Более интересная картина была зафиксирована при определении усилия отрыва между слоями асфальтобетонного наращивания при наличии и отсутствии армирования. Как видно из данных табл. 2 при наличии армирующей прослойки между слоями практически отсутствует сцепление, образцы извлекались, в основном, как отдельные слои. Отсутствие же ар-

мирующей прослойки позволило сохранить целостность извлекаемых кернов.

При устройстве слоев усиления на сборных покрытиях помимо основных несущих слоев из плотного асфальтобетона укладывают выравняющий слой из мелкозернистого или пористого асфальтобетонов, реже из черного щебня. Данные слои выполняют еще и роль трещинопрерывающей прослойки. В результате суммарная толщина нежесткой части покрытия составляет не менее 0,15 м, что делает неактуальным наличие сцепления слоя усиления с покрытием из плит ПАГ. В то же время, отсутствие сцепления между жестким и нежестким слоями позволяет сократить (или исключить на расчетный период времени в случае применения геотекстильных материалов) негативное воздействие горизонтальных перемещений сборного покрытия при сезонных перепадах температур, влияющих на величину раскрытия трещин и скорость их выхода на поверхность асфальтового слоя.

Основное внимание следует обратить на величину сцепления слоев асфальтобетона между собой, особенно при устройстве аэродромных покрытий. Т.к. минимальная толщина конструктивного верхнего слоя асфальтобетона должна составлять не менее 0,05 м [12], то, соответственно, для разрушения конструкции достаточно приложения отрывной нагрузки 12 кПа [11], что значительно ниже значений воздействия струй реактивных двигателей современных самолетов, составляющих 15-50 кПа для воздушных судов гражданской авиации и до 40 - 70 кПа для воздушных судов истребительной авиации. Сцепление асфальтобетонных слоев усиления достигается технологией укладки верхних слоев без остывания смесей нижнего слоя, приливом битумной эмульсии.

Выводы. При устройстве однослойного асфальтобетонного слоя, выполняющего роль слоя износа, в дорожных и особенно в аэро-

дромных покрытиях необходимо обеспечить надежное сцепление данного слоя с бетонной поверхностью существующего покрытия.

При устройстве двухслойных асфальтобетонных слоев усиления необходимо обеспечить сцепление между слоями асфальтобетона. При этом армирующие материалы укладываются непосредственно на бетонную поверхность. Толщина верхнего слоя на участках максимального силового и газовоздушного воздействия должна определяться в зависимости от величины отрывной нагрузки от нижележащих слоев (сцепление зависит от склейки слоев и веса конструкции).

При устройстве многослойных конструкций со слоем выравнивания армирующие слои необходимо укладывать на данный слой непосредственно перед укладкой верхних асфальтобетонных слоев. Наиболее целесообразной является сплошная укладка геосинтетических материалов.

Для уточнения численных показателей величины сцепления асфальтобетонных слоев усиления необходимо продолжить проведение экспериментальных исследований по отбору кернов для различных условий с целью набора статистических данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарева Э.Д. Применение геосинтетических материалов в дорожных конструкциях автомобильных и городских дорог и улиц. СПб.: ЦПО Информатизация образования, 2000. 56 с.
2. Бондарева Э.Д., Ладыженский И.С. Российские дороги осилит... наука! Армирование асфальтобетонных покрытий геосетками // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. 2001. № 46. С. 106–107.
3. Высоцкая М.А., Денисов В.П., Кузнецов Д.А. Влияние геосетки и технологических фак-

торов при ее использовании на сцепление слоев асфальтобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №5. С. 16–19.

4. ОДМ 218.5.001-2009 Методические рекомендации по применения геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтовых слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. М.: Росавтодор. Введен 26.11.2009 № 502-р, 2010. 53 с.

5. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. Утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 272 и введен в действие с 1 июля 2013 г. 53 с.

6. ГОСТ 28574 – 2014. Межгосударственный стандарт. Методы испытаний адгезии защитных покрытий. М.: Стандартинформ 2014. Введен 01.01.2015 12с.

7. De Bondt A. H. Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphalt Overlays. — Delft: Delft University of Technology, 1999. 411p.

8. DIN 1996 Teil 7. Priifung von Asphalt. Bestimmung von Rohdichte, Raumdichte, Hohiraumgehalt und Verdichtungsgrad. – Berlin: DIN Deutsches Institut fur Normung e. V. 1992. 10 S.

9. Verwendung von Vliesstoffen, Gittern und Verbundstoffen im Asphaltstraßenbau. FGSV-Arbeitspapier Nr. 2010. 14 S.

10. Быстров Н.В., Генералов Г.А. Оценка эффективности геосинтетических материалов при ремонте асфальтобетонных покрытий // Доркомстрой. 2005. № 1. С. 14-16.

11. Тригоны В.Е., Лещицкая Т.П., Юрченко А.И. Повышение долговечности асфальтобетонных слоев усиления при реконструкции аэродромов. Москва 1998.

12. СП 121.13330-2012 «СНиП 32-03-96 «Аэродромы», Минрегион России, Москва 2012. 98 с.

Yushkov F.V., Vysotskaya M.A.

INFLUENCE OF A GEOGRID AND TECHNOLOGY FACTORS AT ITS USE ON COUPLING OF LAYERS OF ASPHALT CONCRETE

This paper presents a method for numerical evaluation of the adhesion layers in airfield pavements. Completed field studies confirming the effectiveness of the proposed method.

Key words: building layers of asphalt concrete, geogrid, adhesion between the layers, the technique of numerical evaluation of the adhesion.

Юшков Федор Владимирович

АО УК «Аэропорты Регионов», начальник отдела аэродромного строительства
Адрес: Россия, 115054, г. Москва, ул. Валовая, д. 26.

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.
E-mail: roruri@rambler.ru