

Статистический анализ деформативности армированных асфальтобетонных слоев усиления

Т.П. Лещицкая,
профессор;
А.С. Михайловский,
м.н.с.
МАДИ (ГТУ)

В последнее время увеличиваются объёмы работ по усилению асфальтобетонными слоями дорожных и аэродромных покрытий, основания которых состоят из цементобетона, склонного к неизбежному трещинообразованию и имеющего деформационные швы или из эксплуатировавшегося асфальтобетона, имеющего трещины. В таких случаях возрастает опасность образования в асфальтобетонных слоях усиления отражённых трещин, копирующих раскрывающиеся при понижении температуры трещины или швы оснований.

Разрушение асфальтобетонных слоёв усиления, уложенных на цементобетонное основание, происходит в результате возникновения в асфальтобетоне растягивающих усилий, превосходящих его прочность на растяжение. Растягивающие усилия возникают в асфальтобетоне при резком понижении температуры, когда его деформативность является наименьшей. Проблемы, возникающие при усилении жёстких покрытий, связаны с устройством новых слоёв из асфальтобетона, так как приходится обеспечивать их трещиностойкость [1, 2].

При рассмотрении вопросов трещиностойкости асфальтобетонных слоёв в случае усиления и реконструкции покрытий аэродромов в данной работе решается проблема повышения отражённой трещиностойкости.

В настоящее время отсутствует объективный экспериментальный показатель, позволяющий оценить трещиностойкость того или другого конструктивного решения при усилении покрытия. Нормируют лишь отдельные косвенные показатели свойств асфальтобетона без учёта параметров температурного режима и тем более конструкции асфальтобетонных слоёв усиления. Научная база обеспечения отражённой трещиностойкости при проектировании и строительстве асфальтобетонных покрытий разработана недостаточно.

С целью определения эффективности применения армирующих сеток для сдерживания появления и развития «отраженных» трещин в асфальтобетонном покрытии над деформационными швами жестких оснований был построен экспериментальный участок, на котором проводилось армирование асфальтобетонных слоёв усиления различными видами сеток.

Была принята конструкция усиления существующего железобетонного покрытия:

- выравнивающий слой из асфальтобетона типа Б марки I средней толщины 7 см;
- ленточное армирование над швами между выравнивающим и верхним слоями;
- верхний слой толщиной 5 см из асфальтобетона типа Б марки I.

Основные физико-механические показатели армирующих сеток приведены в табл. 1.

Разработана принципиальная схема расположения точек измерений для определения величин деформаций асфальтобетона в зоне армирования и в контрольных зонах неармированных швов. Над швами в бетонном основании были выбурены отверстия до подстилающего щебёночного слоя диаметром 10 см, в них забивались реперные штыри. Через каждые 15 см от реперных штырей в сторону поперечной оси плиты бурились 4 отверстия в асфальтобетоне, на дне которых эпоксидным клеем были приклеены марки. Проведение измерений включало определение расстояний между марками, установленными в измерительных отверстиях, и реперным штырём. Период измерений охватывал годичный цикл изменений температуры воздуха. Измерения производились один раз в неделю и при резких перепадах температуры (10°C и более). В момент проведения измерений фиксировалась температура покрытия и воздуха. Измерения выполнялись в один и тот же день недели в утренние часы зимой (9-10 часов утра) и после обеда (14-15 часов) летом.

По результатам полученных экспериментальных данных выполнен сравнительный статистический анализ. Согласно разработанной ранее методики критерием оценки эффективности работы армирующих сеток является сглаживание пиков деформаций (минимальные амплитуды колебаний) и максимально возможное вовлечение асфальтобетона в работу по восприятию растягивающих деформаций.

Статистический анализ выполнен с помощью программы SPSS 11 [3]. Преимуществом программного комплекса SPSS 11 является самый широкий охват существующих статистических ме-

Таблица 1

Технические характеристики армирующих сеток

	СБП-Д 25x25 (шов 10)	GLAS BITU- TEX 50/ 50- 30С (шов 4)	Polyfelt PGM 14 (шов 3)	Polyfelt PGM-G 50/50 (шов 1)	HaTelit - C40/ 17 (шов 6)	Enka- grid - TRC 40 (шов 14)	Enka- grid - TRC 20 (шов 15)
Прочность при разрыве, кН/м	40	50	9	50	50	40	20
Максимальное удлинение при разрыве, %	5	5	80	3	12	3,5	3,5
Размер ячейки, мм	25x25	30x30	—	40x40	40x40	15x15	15x15

тодов, который удачно сочетается с большим количеством удобных средств визуализации результатов обработки. Данная программа наиболее адаптирована по сравнению с аналогичными для обработки научных экспериментов и наиболее удобна для пользователя. С её помощью удалось выявить зависимости при большом количестве результатов с близкими по величине значениями.

Для исключения влияния на деформацию расстояния от шва до марки предлагается использовать преобразование исходных данных – переход к относительной деформации в соответствии с формулой:

$$DR(t) = |d(t_0) - d(t)| / d^*2(t_0), \text{ где } t \geq t_0,$$

где: DR(t) – относительная деформация в момент времени t,

d(t₀) – первоначальное расстояние от шва до марки в момент времени t₀,

d(t) – расстояние от шва до марки в момент времени t.

С помощью SPSS 11 проведены расчеты статистических параметров относительной деформации для анализируемых конструкций швов: математического ожидания (среднего) относительной деформации, стандартного отклонения и 95% доверительного интервала для среднего.

Статистические параметры для средней относительной деформации в зоне швов приведены в табл. 2. Конструкции швов отсортированы по возрастанию средней относительной деформации. Сделать однозначные выводы о качестве работы армирующих материалов по полученным данным средних относительных деформаций не представляется возможным, так как доверительные интервалы для некоторых средних значений существенно пере-



Таблица 2

Статистические параметры относительной деформации швов.

Номер шва	Кол-во измерений	Средняя отн. деформация	Стандарт. отклонение	95% доверительный интервал для среднего для средней отн. деформации	
				Нижняя граница	Верхняя граница
14	216	0,011	0,006	0,010	0,012
15	216	0,014	0,015	0,011	0,017
1	216	0,016	0,023	0,012	0,021
10	216	0,026	0,014	0,023	0,029
6	216	0,032	0,148	0,003	0,060
3	216	0,033	0,032	0,027	0,039
4	216	0,039	0,193	0,002	0,076
8	216	0,063	0,107	0,042	0,083

секаются. В связи с этим был проведён дополнительный статистический анализ для подтверждения различий между деформациями конструкций швов. Для этого воспользуемся t-критерием (методом Стьюдента) для парных сравнений средних значений относительных деформаций.

Целесообразно провести сравнение всех конструкций швов, имеющих сетку, с конструкцией шва без сетки (№ 8), чтобы выявить зону над швом со значимо меньшей относительной деформацией, что позволит в дальнейшем выявить наиболее лучше работающую конструкцию швов.

Результаты расчета на SPSS 11 по методу Стьюдента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета парных разностей по методу Стьюдента для швов с сетками со швом без сетки (N 8)

Номер шва	Парные разности						t-статистика	df-число степеней свободы	Знач. P
	Среднее парных различий	Стандарт. отклонение среднего	Стандарт. ошибка среднего	95% довер. интервал для среднего					
				Нижний	Верхний				
1	8	-0,047	0,108	0,010	-0,067	-0,026	-4,495	215	0,000
3	8	-0,030	0,108	0,010	-0,051	-0,009	-2,878	215	0,005
4	8	-0,024	0,219	0,021	-0,066	0,018	-1,136	215	0,258
6	8	-0,031	0,177	0,017	-0,065	0,003	-1,830	215	0,070
10	8	-0,037	0,104	0,010	-0,017	0,057	-3,662	215	0,000
14	8	-0,052	0,106	0,010	-0,032	0,072	-5,102	215	0,000
15	8	-0,049	0,106	0,101	-0,029	0,069	-4,768	215	0,000

По значениям t и P из табл. 3 видно, что относительные деформации конструкций швов №№ 1, 3, 10, 14, 15 значимо меньше, чем в конструкции шва № 8 ($P < 0,05$). Конструкции швов №№ 4, 6 не имеют значительного отличия от конструкции шва № 8 ($P > 0,05$). Из этого следует, что конструкции швов №№ 1, 10, 14, 15 работают значительно лучше конструкции шва № 8. Конструкции швов №№ 4, 6 исключим из дальнейшего анализа, так как они значимо не отличаются от априори наилучшей конструкции шва № 8. Кроме того, целесообразно также исключить из анализа конструкцию шва № 3, как имеющую результаты значительно худшие по отношению к остальным конструкциям.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что лучше всего деформация асфальтобетона распределяется в конструкциях швов 14, 15, 1, 10 (в порядке возрастания средней относительной деформации). Конструкции швов 4, 6, 8 статистически не различимы.

За дополнительный показатель качества работы армированного асфальтобетонного слоя усиления можно принять стандартное отклонение деформации. Конструкции швов с меньшим стандартным отклонением характеризуются меньшей величиной выбросов и их количеством, то есть лучше сглаживают пики деформаций. В табл. 4 приведены значения относительной деформации по

возрастанию стандартного отклонения. Видно, что наименьшее стандартное отклонение имеет конструкция в зоне шва № 14.

Таблица 4

Конструкции швов, упорядоченных по стандартному отклонению

Номер шва	Стандарт. отклонение	Средняя отн. деформация
14	0,006	0,011
10	0,014	0,026
15	0,015	0,014
1	0,023	0,016
3	0,032	0,033
8	0,107	0,063
6	0,148	0,032
4	0,193	0,039

Также было оценено влияние температуры воздуха на деформацию асфальтобетона в зоне швов. Степень подверженности конструкций деформации предлагается оценивать коэффициентом корреляции между относительной деформацией и усредненной температурой воздуха за некоторый интервал времени, предшествующий замеру. По данным Гидрометеоцентра, для территории эксперимента с помощью SQL-процедуры были рассчитаны средние температуры воздуха за несколько суток до снятия данных деформации (от 0 до 10 суток, 0 – это средняя дневная температура на день замера деформации). Коэффициенты корреляции в зависимости от температуры воздуха приведены в табл. 5.



Таблица 5

Корреляции относительной деформацией со средней температурой воздуха

		*Т0	Период (в сутках)										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Козф.кор.	0,307	0,310	0,319	0,313	0,322	0,311	0,311	0,322	0,323	0,325	0,324	0,326
	Знач. Р	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
3	Козф.кор.	0,153	0,149	0,165	0,154	0,141	0,131	0,126	0,127	0,138	0,142	0,139	0,133
	Знач. Р	0,114	0,123	0,087	0,112	0,146	0,177	0,194	0,189	0,156	0,143	0,152	0,170
4	Козф.кор.	0,183	0,163	0,167	0,144	0,136	0,129	0,148	0,156	0,155	0,165	0,174	0,172
	Знач. Р	0,058	0,092	0,085	0,137	0,162	0,182	0,126	0,106	0,109	0,087	0,072	0,074
6	Козф.кор.	0,173	0,170	0,196	0,181	0,161	0,146	0,142	0,148	0,156	0,154	0,150	0,139
	Знач. Р	0,074	0,078	0,042	0,061	0,096	0,130	0,143	0,126	0,107	0,111	0,121	0,150
8	Козф.кор.	0,013	0,014	0,021	0,004	-0,018	-0,010	-0,017	-0,040	-0,032	-0,033	-0,038	-0,043
	Знач. Р	0,896	0,884	0,832	0,966	0,850	0,920	0,865	0,682	0,743	0,735	0,694	0,656
10	Козф.кор.	0,052	0,061	0,064	0,069	0,070	0,067	0,062	0,058	0,066	0,065	0,057	0,055
	Знач. Р	0,596	0,530	0,509	0,479	0,471	0,491	0,523	0,552	0,496	0,502	0,559	0,571
14	Козф.кор.	0,392	0,398	0,415	0,406	0,389	0,379	0,378	0,377	0,384	0,383	0,378	0,373
	Знач. Р	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	Козф.кор.	0,000	-0,007	0,020	0,001	0,015	0,024	0,038	0,042	0,045	0,046	0,056	0,069
	Знач. Р	0,997	0,942	0,836	0,996	0,880	0,803	0,695	0,665	0,645	0,637	0,564	0,477

*Т0 – температура воздуха в момент замера, количество измерений – 216.

Конструкции швов №№ 1,14 имеют значимые коэффициенты корреляции для всех временных интервалов. Это говорит об устойчивой линейной связи между деформацией и температурой на протяжении больших временных интервалов (до 10 суток), т.е. о том, что физические свойства армированного асфальтобетонного покрытия оставались неизменными, а также показывает ста-

бильность совместной работы асфальтобетона и армирующей сетки. Деформации в других конструкциях швов нелинейно зависят от температуры.

Выполненный статистический анализ результатов эксперимента показал что:

- меньшей относительной деформацией обладают конструкции швов № 14, № 15, № 1;
- лучше сглаживаются пики деформаций в конструкциях швов № 14, № 15, № 10, № 1;

– наиболее стабильная совместная работа асфальтобетона и армирующей сетки наблюдается в конструкциях швов № 14 и № 1.

По совокупности показателей в условиях натурального эксперимента наибольшая эффективность повышения отражённой трещиностойкости наблюдалась в конструкциях швов № 14 и № 1, армированных соответственно геосетками EN^okagrid – TRC 40 и Polyfelt – PGM-G 50/50.

Используемая литература:

Кретов В.А., Крамер Е.Л., Руденский А.В. Отраженное трещинообразование в асфальтобетонных покрытиях. //Наука и техника в дорожном хозяйстве. – 1998. – № 1. – С. 7– 9.

Нерубенко С. Л. Использование асфальтобетона при реконструкции цементобетонных покрытий. – МО РФ 26 Центральный научно-исследовательский институт. Материалы и технологии строительства и ремонта аэродромных покрытий (научно-технический сборник). М., 2001 г.

Бюль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. DiaSoft 2005.

