

Астафьев Я.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ИЗВЕСТИ НА ДЕФОРМАЦИИ РАСШИРЕНИЯ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА

### Введение

При проектировании составов напрягающих бетонов, выполненных из самоуплотняющихся смесей, возникают две противоречивые задачи. С одной стороны необходимо обеспечить достижение требуемых реологических характеристик бетонных смесей, с другой – прочностных и деформационных характеристик бетона. Составы самоуплотняющихся бетонных смесей отличаются от традиционных наличием мелкодисперсных добавок-наполнителей, а также обязательным использованием суперпластификаторов. Введение этих компонентов, как правило, оказывает влияние на деформации расширения напрягающих бетонов. Выполненные исследования [1, 2] показали, что присутствие в цементном камне мелкодисперсного наполнителя уменьшает энергоактивность матрицы, а применение традиционных суперпластификаторов поверхностно-активного принципа действия оказывает существенное влияние на деформации расширения. Улучшить свойства напрягающего бетона с точки зрения получения более высоких характеристик расширения позволяет использование четырехкомпонентного напрягающего цемента. Вместе с тем применение четырехкомпонентного напрягающего цемента позволяет не только получать более высокие характеристики расширения, но и обеспечивать стабильность сульфатоалюминатных фаз в цементном камне во времени [3,4].

Поскольку целью настоящей работы является получение напрягающих бетонов, выполненных из самоуплотняющихся смесей, то главным объектом данного фрагмента исследования было выявление влияния при введении извести в композиции четырехкомпонентных напрягающих цементов.

### 1. Влияние добавки извести на структурообразование расширяющихся вяжущих

Опыты, выполненные на начальных этапах разработки различных расширяющихся вяжущих (ВРЦ, ВБС) [3], показали, что создание среды гидроокиси кальция в процессе образования высокоосновного гидроалюмината кальция и гидратов сульфатоалюминатов кальция всех форм ускоряет гидратацию глиноземистого цемента и вводит в соответствующее русло возникновение низкосульфатной и высокосульфатной форм гидратов сульфатоалюмината кальция. Многие зарубежные ученые объясняют устойчивость низкоалюминатной формы гидросульфатоалюмината кальция присутствием в системе определенного количества окиси кальция. Д'Анс и Эйк установили, что при концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  свыше 0,3 г/л невозможно существование трехсульфата, а наблюдается моносulfат [4].

В работе [5] проведены исследования, в которых была проверена возможность затормаживания процессов гидратации НЦ в направлении преимущественно образования моносulfатоалюминатов кальция путем введения добавки извести при помоле и нагревом затвердевшего цементного камня до высокой температуры (это способствует также быстрому затвердеванию портландцементной составляющей). Эти оба процесса – замедление кристаллизации и ускорение роста прочности на первом этапе гидратации направлены на увеличение степени

самонапряжения в процессе последующей перекристаллизации гидратов сульфатоалюминатов кальция при большой прочности цементного камня. Для определения оптимальной величины добавки извести, вводимой при помоле в НЦ, в работе [5] были исследованы различные соотношения компонентов «портландцемент – глиноземистый цемент – гипс – известь». Из размолотых составов НЦ приготавливали тесто нормальной густоты и бетон, из которых изготовляли образцы для определения характеристик по методике НИИЖБ [5]. Результаты исследований показали, что деформации свободного расширения напрягающего цемента возрастают с увеличением добавки извести. Это характерно для составов с различным содержанием глиноземистого цемента. Наиболее заметно влияние добавки извести на свободное расширение цементов, имеющих в своем составе дозировки гипса 13, 14 и 15 %. При дозировке гипса 7 и 10 % в составе НЦ свободное расширение даже при добавке извести в количестве 10% увеличивается незначительно. Так, в напрягающем цементе с 10% гипса при дозировке глиноземистого цемента в количестве 25% свободное расширение увеличивается на 0,2%, а при дозировке глиноземистого цемента 20% - на 0,7%. Это говорит о недостаточном количестве  $\text{CaSO}_4$  в расширяющей добавке этих цементов. Прочность напрягающего цемента с добавкой извести в количестве 1...5% имеет практически те же значения, как и у контрольного образца НЦ. Снижение прочностных характеристик наблюдается при добавке извести к НЦ не менее 6%. При добавке  $\text{CaO}$ , равной 10%, прочность (в свободном состоянии) снижается на 40% [5].

Существенным для химических процессов образования гидросульфатоалюминатов кальция является присутствие в расширяющем компоненте свободной извести, в частности извести-кипелки. Такая известь гидратируется очень быстро: достаточно нескольких часов чтобы гидратация закончилась. Когда свободная известь включена в состав расширяющего компонента, то, гидратируясь, она быстро понижает количество свободной воды в цементном камне, снижая быстроту образования гидросульфатоалюмината кальция и насыщение его водой [6].

В работе [7] авторы специально исследовали влияние добавки извести на скорость процесса образования  $\text{C}_3\text{A}(\text{CS})\text{H}_{31}$  и на величину свободного расширения. Исследовался состав РПЦ с расширяющимся компонентом содержащим 15% глиноземистого цемента, 8% гипса, 12% шлака, известь добавляли в количестве 2..6%. Без извести процесс образования трисульфата кальция заканчивался практически за первые сутки, с известью он замедлялся и продолжался 4-5 суток. Добавка извести в несколько раз увеличивала свободное расширение. Авторы [7] приходят к выводу, что при соотношении  $\text{CS}:\text{A} \geq 1,5$  может возникать только трисульфат кальция, образование которого заканчивается в течение первых суток. Введение извести изменяет темпы образования трисульфата кальция.

Согласно [6] при добавлении извести процесс образования трисульфата кальция не останавливается, а образуются обе формы моно- и трисульфата кальция, первый из которых переходит в трисульфат кальция.

Астафьев Ярослав Вячеславович, ассистент кафедры строительные конструкции здания и сооружения Белорусско-Российского университета.

Беларусь, БРУ, 212005, г. Могилев, пр. Мира, 43.

Таблица 1. Составы и характеристики растворов

Номер состава	Фактический состав растворов						Содержание компонентов в напрягающем цементе, %				Технологические характеристики	
	Напрягающий цемент, кг/м <sup>3</sup>	Вода, кг/м <sup>3</sup>	Доломитовая мука, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Vinnapas, % по весу воды	Melment F10, % по весу цемента	Портландцемент класса 42,5	Глиноземистый цемент	Гипс	Известь	Расплав конуса, см	Время истечения из V-образной воронки, с
1	886,6	311	-	1060	-	-	77	13	10	-	-	-
2	886,6	311	-	1060	-	-	75,82	12,8	9,85	1,54	-	-
3	886,6	311	-	1060	-	-	74,69	12,61	9,7	3	-	-
4	886,6	311	-	1060	-	-	73,45	12,4	9,54	4,615	-	-
5	592,1	299	293	1060	-	1	74,69	12,61	9,7	3	25	10
6	886,6	311	-	1060	3,315	0,63	74,69	12,61	9,7	3	25	10

Таблица 2. Технические параметры гидратной извести 2-го сорта

№	Наименование параметра	По ГОСТ 9179-77	Известь ОАО "Забудова"
1	Содержание CaO + MgO, %	не менее 67	61-64
2	Содержание CO <sub>2</sub> , %	не более 5	2,5-4,5
3	Влажность, %	не более 5	max 0,6-1
4	Остаток на сите d 0,2 мм, %	не более 1,5	max 1
5	Остаток на сите d 0,08 мм, %	не более 15	1

Таблица 3. Химический состав цемента

Компоненты	Содержание окислов, %					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	MgO	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Портландцемент класса 42,5	4,6	64,88	2,14	5	1,61	
Глиноземистый цемент	34,92	35,5	0,79			
Гипс						73,2

## 2. Методика исследования

Исследования производили на цементно-песчаных растворах, составы и характеристики которых приведены в табл. 1. В составе 2-4 варьировали содержание добавки извести в напрягающем цементе. Отношение напрягающего цемента к наполнителю в составе 5 принимали с учетом требований по достижению наибольших деформаций расширения и получения требуемых для самоуплотняющихся растворов технологических параметров. Самоуплотняющийся раствор состава 6 проектировали с применением модификатора вязкости без мелкодисперсного наполнителя.

В выполненных исследованиях применяли известь производства ОАО "Забудова". Технические характеристики извести приведены в табл. 2. Данные о химическом составе цемента представлены в табл. 3. В качестве мелкодисперсного наполнителя использовали минеральный доломитовый наполнитель Витебского ОАО «Доломит» (истинная плотность 2650 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность 2900 см<sup>2</sup>/г). Мелкий наполнитель - песок Сморгоньского карьера с модулем крупности  $M_k=2,32$ . Для получения требуемой подвижности использовали суперпластификатор, с коммерческим названием Melment F10 (на базе сульфированных меламинформальдегидов). В качестве модификатора вязкости использовали препарат с коммерческим названием Vinnapas Re 5044N, являющийся редиисперсионным порошком на основе сополимера винилацетата, одним из показателей которого является улучшение водоудерживающей способности цементных систем.

Измерение деформаций свободного расширения и самонапряжения производили по стандартным методикам [8].

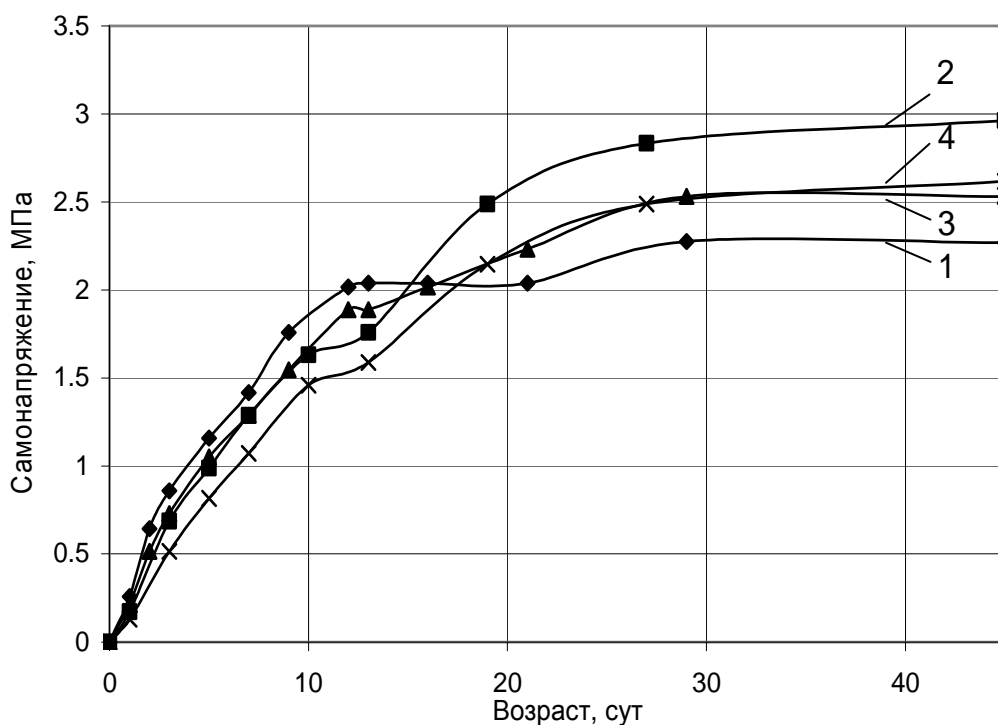
## 3. Результаты исследования и их анализ

Как следует из рис. 1а, интенсивное расширение образцов базового состава (состав 1) происходило до возраста примерно 14 суток. Затем происходила стабилизация процесса расширения. Рост самонапряжения опытных образцов с добавкой извести продолжался также и после 14 суток, в результате чего величина самонапряжения превысила самонапряжение образцов базового состава. Стабилизация процесса расширения в связных условиях завершилась примерно на 30 сут. Максимальное значение самонапряжения показали образцы состава 2, при этом это значение было на 20 % больше, чем у образцов базового состава. Самонапряжение образцов третьего и четвертого состава оказалось примерно равным и больше базового на 12%.

Самонапряжение образцов самоуплотняющихся растворов без микронаполнителя (состав 6) с добавкой активной извести 2% оказалось примерно равным базовому (рис 1б), что показывает эффективность применения четырехкомпонентных напрягающих цементов для составов самоуплотняющихся бетонов, при этом добавкой извести компенсируется негативное влияние суперпластификатора на деформации расширения. Применение четырех компонентного напрягающего цемента для самоуплотняющихся растворов с мелкодисперсным наполнителем позволило также получить составы с более высокими значениями деформаций расширения. Применение четырехкомпонентного напрягающего цемента для самоуплотняющихся растворов с применением мелкодисперсного наполнителя (состав 5) также позволило увеличить самонапряжение.

Как следует из рис. 2, стабилизация процесса расширения в свободных условиях образцов базового состава происходит примерно на 14 сут., в то время как при наличии добавки

а)



б)

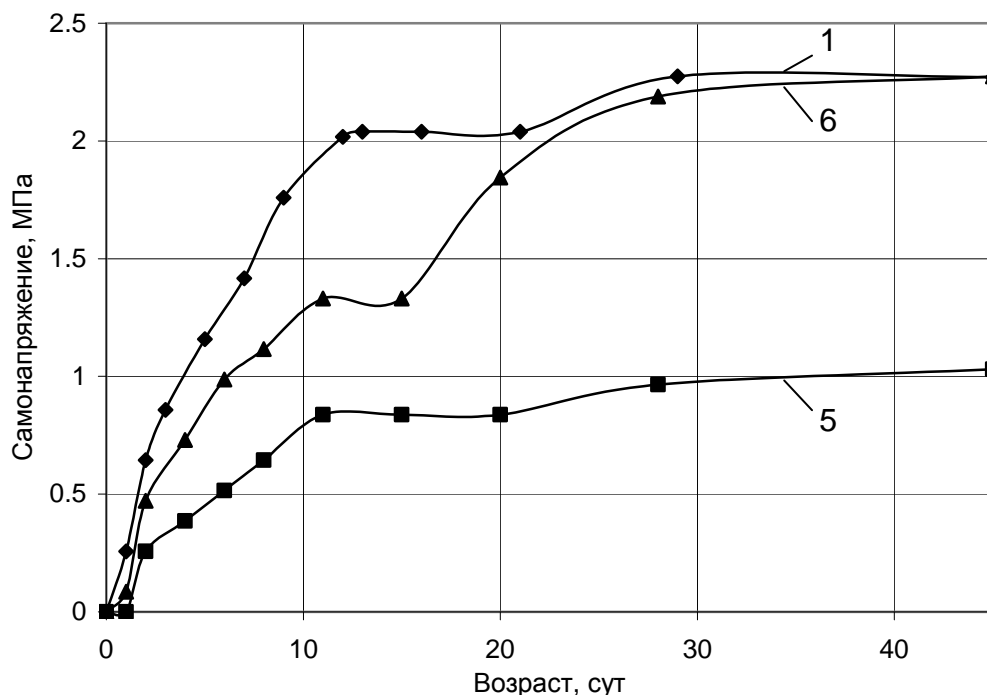


Рис. 1. Графики развития самонапряжения опытных образцов самоуплотняющихся растворов (табл. 1) во времени  
 а) растворы с различным содержанием добавки извести в напрягающем цементе;  
 б) самоуплотняющиеся растворы с и без мелкодисперсного наполнителя.

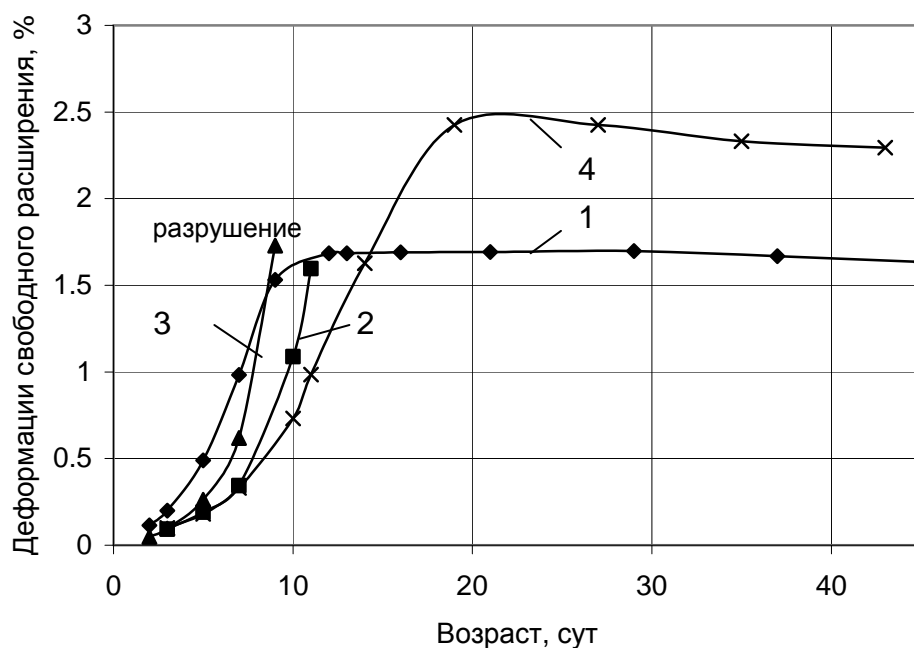
известии процесс стабилизации расширения происходит несколько позже примерно на 20 сут. Образцы составов 2 и 3 разрушились в результате их большой энергоактивности.

Деформации свободного расширения образцов состава 5 оказались примерно равными деформациям образцов базового состава.

#### 4. Выводы

1. Рост деформаций расширения образцов растворов с использованием четырехкомпонентного напрягающего цемента происходит до 14 суток медленнее, чем у образцов базового состава. При этом стабилизация процесса расширения происходит несколько позже, что способствует получению составов с более высокой энергоактивностью.

а)



б)

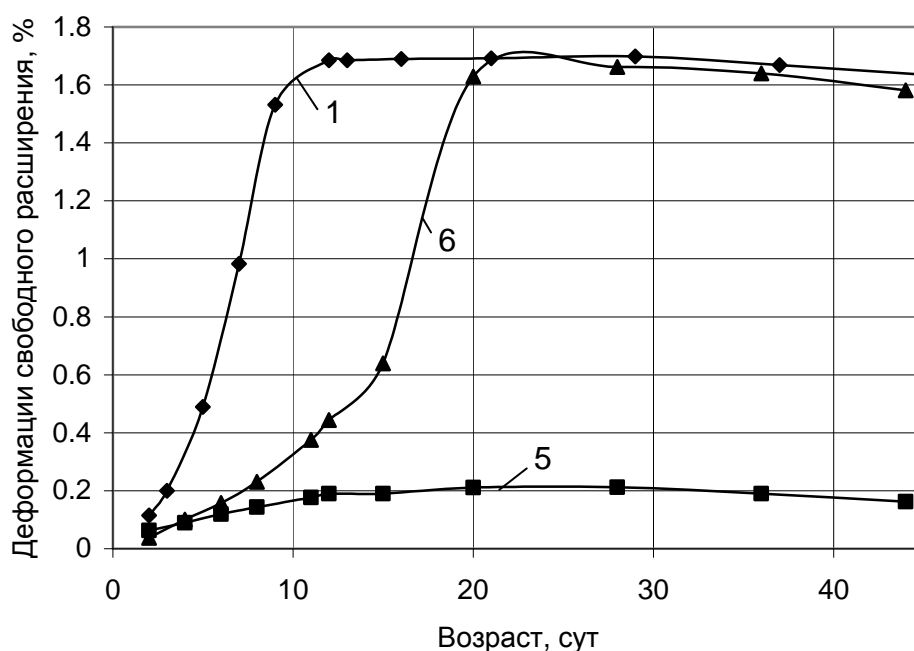


Рис. 2. Графики развития деформаций свободного расширения опытных образцов самоуплотняющихся растворов (табл. 1) во времени

- а) растворы с различным содержанием добавки извести в напрягающем цементе;  
 б) самоуплотняющиеся растворы с и без мелкодисперсного наполнителя.

- Самонапряжение образцов самоуплотняющихся растворов с применением четырехкомпонентного напрягающего цемента без микронаполнителя (состав 5) оказалось примерно равным базовому, что указывает на эффективность применения четырехкомпонентных напрягающих цементов для составов самоуплотняющихся бетонов, при этом компенсируется введением добавки извести влияние суперпластификатора на деформации расширения.
- Применение четырехкомпонентного напрягающего цемента для самоуплотняющихся растворов с мелкодисперсным наполнителем позволило также получить состав с более высокими значениями деформаций расширения.
- Максимальные деформации расширения показали образцы растворов, в составах напрягающего цемента которых содержалось 1% активной извести.

Работа выполнена под руководством профессора, д.т.н. Тура В.В.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тур В.В. Игнашева О.Е. Направления развития технологии бетона в третьем тысячелетии // Архитектура и строительство №5, 2002 -17-20 с.
2. Астафьев Я.В. Основные технологические параметры растворной части самоуплотняющихся бетонов на основе напрягающего цемента // Вестник Брестского государственного технического университета. –2004.–№1(25): Строительство и архитектура. – с.149-153.
3. Михайлов В.В., Юдович Э.З., Попов А.М. Водонепроницаемый расширяющийся цемент и его применение в строительстве. – М. Стройиздат, 1951.
4. D'Ans J., Eick H. Untersuchten uber das Abbinden hydraulischen Hochofenschlacken, Zement-Kalk-Gips, № 12, 1954.
5. Технология напрягающего цемента и самонапряженных железобетонных конструкций. Под ред. В.В. Михайлова и С. Л. Литвера. – М.: Стройиздат, 1975. 183 с
6. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные конструкции. – М.: Стройиздат, 1974. - 312 с.
7. Лейрих В. Э., Веприк И. Б., Прохоров В. Х., Способы получения безусадочного вяжущего на основе портландцемента и расширяющейся компоненты. Английский патент №1 083.723
8. СТБ 1335-2002 Цемент напрягающий. Технические условия.

УДК 624.012.45

*Радзишевски П.*

## КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ „PERPETUAL” СО СВЯЗУЮЩЕЙ ПРОСЛОЙКОЙ, В СОСТАВ КОТОРОЙ ВХОДИТ ВЯЖУЩЕЕ, МОДИФИЦИРОВАННОЕ ДОБАВКОЙ ОРГАНО–МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СОЛИ

### 1. Введение

Исследования, проведенные в США в рамках программы SHRP, показали, что для обеспечения сопротивления возникновению повреждений минерально-асфальтовых смесей для дорожных покрытий значительное влияние оказывает тип используемого вяжущего. Доказано, что это влияние составляет: для появления выбоин - 40%, на возникновение усталостных трещин (сопротивление усталости) – 60% и более чем 90% при возникновении температурных трещин. Существующая на сегодняшний день практика, подтвержденная проведенными в разных странах лабораторными и натурными исследованиями, показала, что добавление в асфальтовое вяжущее соответствующих модифицирующих добавок может различным образом улучшить механические свойства минерально-асфальтовых смесей и значительно увеличить сопротивление усталости слоев конструкции покрытий дорожного полотна.

Очень опасным типом разрушения дорожных покрытий являются постоянные деформации, проявляющиеся в виде выбоин. С целью уменьшения податливости минерально-асфальтовых смесей деформациям, в РП применяют минерально-асфальтовые смеси повышенной жесткости. Во многих случаях проектируют и используют смеси с малым содержанием твердого, немодифицированного асфальта. Такие решения увеличивают опасность преждевременного возникновения в покрытии усталостных и низкотемпературных трещин. Возникновение подобных повреждений особенно вероятно для регионов с экстремальными температурами, например на северо-востоке РП. Для данного региона, в сравнении с остальными, характерны неблагоприятные климатические условия (низкие температуры зимой, много ниже нуля, большие амплитуды температурных колебаний и т.п.).

За последнее десятилетие в РП значительно возросли нагрузки на дорожные покрытия от большегрузных автомобилей, с большой долей 42 – тонных грузовиков. В результате воздействия повышенных механических нагрузок в сочетании с переменными неблагоприятными климатическими факторами значительная часть асфальтового дорожного покрытия покрылась выбоинами, а также разрушению в виде усадочных и температурных трещин.

С целью предотвращения дальнейшего разрушения дорожного покрытия и обеспечения возможности проектирова-

ния конструкций, способных воспринимать повышенные нагрузки, возникла необходимость поиска новых решений в сфере подбора материалов для покрытий, так же, как и применения новых норм проектирования, тесно связанных с проектированием составов минерально-асфальтовых смесей.

Кроме свойств используемых материалов, на долговечность дорожных покрытий оказывают влияние: принятые характеристики слоев, их толщина и расположение в конструкции покрытия. Традиционные решения слоев покрытий – из асфальтобетона, толщина которых возрастает, а жесткость уменьшается пропорционально глубине заложения, что не соответствует новым концепциям поверхностей со значительно более длительным, в сравнении с традиционными решениями, сроком эксплуатации. Исследования французских, британских, голландских ученых и особенно достижения исследователей в США свидетельствуют об огромном потенциале дорожных покрытий. Возведенные согласно новым методам дорожные покрытия доказывают справедливость предположения о том, что существует возможность конструирования долговечных дорожных покрытий, обеспечивающих 50 – летний период эксплуатации несущих слоев. Предложенная концепция конструирования т.н. покрытий „perpetual” характеризуется следующими параметрами:

- различные слои покрытия – податливые, выполнены из соответствующим образом подобранных минерально-асфальтовых смесей (например, SMA),
- тонкий истираемый слой, выполненный из минерально-асфальтовой смеси, стойкой к образованию выбоин, прочный, непроницаемый и жесткий (стойкие к истиранию каменные материалы),
- связующий слой, более толстый в сравнении с обычно используемыми в РП (более 10 см), характеризующийся высокой стойкостью к постоянным деформациям и большим сопротивлением усталости,
- основание – более тонкое в сравнении с используемыми ранее, менее жесткое, с большим сопротивлением усталости. Особого уточнения с точки зрения данной концепции заслуживает связующий слой, оказывающий наибольшее влияние на долговечность конструкции. Он должен обладать повышенной стабильностью (более жесткий слой с большей стойкостью к образованию выбоин) и большой прочностью.

*Радзишевски Петр, профессор Политехники Белостоцкой, Республика Польша.*