

КИНЕТИКА ТВЕРДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ БЕТОНОВ И ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ИХ ПРОЧНОСТИ

Толмачев С.Н., д.т.н, проф.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
г. Харьков, Украина*

В технологии современных дорожных и аэродромных бетонов широко применяются высококачественные инертные заполнители, цементы с гарантированной активностью, соответствующей маркам 500 и 550, а часто их превышающие. Особую роль играют суперпластификаторы, как традиционные, сульфированные меламина- или нафталинпроизводные, так и относительно новые, но практически не используемые в технологии бетонов транспортного назначения, карбоксилатные суперпластификаторы. Отличительной особенностью всех современных суперпластификаторов является то, что их действие является комплексным, поскольку в их составе кроме собственно пластификатора содержатся дополнительные соединения, которые придают им особые свойства. Например, замедляющие или ускоряющие твердение, противоморозные. Кроме этих добавок, в монолитные бетоны для промышленного и гражданского строительства вводят минеральные добавки, позволяющие существенно улучшить технологические свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики бетона. Это касается, например, снижения распадаемости в высокоподвижных смесях, повышения плотности и прочности твердеющего бетона. К сожалению, несмотря на то, что за рубежом дорожные и аэродромные бетоны отнесены к высокофункциональным бетонам (НРС-бетонам), минеральные добавки в них практически не используются. В первую очередь это связано с высокой стоимостью микронаполнителей, таких, как метакралин или микрокремнезем. Но в последние годы появились новые виды наполнителей, стоимость которых в несколько раз ниже стоимости традиционных, а эффективность даже выше.

Появление современных суперпластификаторов и микронаполнителей позволяет по другому взглянуть на проектные требования к монолитному дорожному бетону, основанные на кинетике его твердения. В проектах производства работ указано:

1. Проектная прочность монолитного бетона достигается в возрасте 28 суток (в соответствии с существующими нормативными документами Украины)

2. Производство работ по устройству слоев поверх уложенного монолитного бетона разрешается производить после достижения бетоном марочной (проектной) прочности.

Это устаревший подход, который опирается на применение в 70-е...90-е годы прошлого века в технологии монолитных бетонов транспортного назначения заполнителей низкого качества, цементов различных заводов, минеральный состав и качество которых заводы не гарантировали. А самым главным было то, что применяемые химические добавки не могли обеспечить не только необходимую скорость набора прочности бетоном, но даже не гарантировали достижение проектных показателей.

Опыт работы с дорожными и аэродромными бетонами в последнее десятилетие показал, что у современных бетонов принципиально другая скорость набора показателей качества, в первую очередь – прочности.

При реконструкции дороги Харьков-Симферополь на участке Харьков-Красноград укладывали бетоны разной подвижности – от П1 (под бетоноукладчик) до П2 (под виброрейку). Расход цемента М500 для этого бетона составлял 380 кг/м³, В/Ц находилось в пределах 0,34...0,36. Использовали суперпластификаторы с регулируемым сроком схватывания Мареу, Релаксол, Muraplast при расходах 0,5...0,8 % от массы цемента. Кроме этих добавок в состав бетонной смеси вводили воздухововлекающие добавки, обеспечивающие воздуходержание на уровне 4...5 %. Температура окружающей среды твердения составляла + 20...+35°С. Кинетика набора прочности бетона приведена в табл. 1

Таблица 1. – Кинетика набора прочности монолитных бетонов

№ п/п	Добавка	Прочность бетона при сжатии в возрасте, сутки, МПа			
		3	7	28	60
1	Мареу	27,9	37,6	45,8	52,6
2	Muraplast FR88	33,3	41,0	51,2	60,2
3	Релаксол С-3Р	31,7	39,4	48,7	56,0

Как видно из анализа табл. 1, бетоны с указанными добавками уже к 3 суткам естественного твердения набирали прочность, соответствующую марке М 300, а к 7 суткам они имели проектную прочность – М

400. Их прочность на 28 сутки твердения превышала проектные требования на марку. В дальнейшем они продолжали набирать прочность и к 60 суткам она соответствовала маркам 550...600. После этого набор прочности замедлился. Очевидно, что уже после 3...7 суток по этим бетонам можно было укладывать верхний слой из асфальтобетона, которым перекрывали эту дорогу в дальнейшем.

При строительстве и реконструкции аэропортов в городах Донецк, Харьков и Львов практически при том же составе бетона применяли суперпластификаторы Muraplast FK 88 и Glenium Fm21. Здесь также применяли воздухововлекающие добавки, обеспечивающие 3,5...5 % воздуха в смеси. Температура твердения монолитных бетонов составляла + 18...+35 °С. Кинетика набора прочности этими бетонами представлена в табл. 2.

Таблица 2. – Кинетика набора прочности аэродромных бетонов

№ п/п	Добавка	R _{сж} , МПа, в возрасте, сутки			F, марка (7 суток)	G, г/см ² (7 суток)
		3	7	28		
1	Muraplast FK 88	29,1	39,6	46,9	200	0,32
2	Glenium Fm 21	30,7	38,9	47,3	200	0,28

Как видно из приведенных усредненных данных, в случае применения этих суперпластифицирующих добавок уже к 3 суткам твердения бетонов, из смесей подвижностью П1, обеспечивается 60 % марочной прочности. По условиям контроля качества при строительстве перрона, ВПП и РД в аэропорту г. Харькова бетоны подвергали испытаниям на морозостойкость и истираемость не только в возрасте 28 суток, но и в возрасте 7 суток естественного твердения. Исследования показали, что уже в возрасте 7 суток прочность бетона и его морозостойкость соответствовали проектным требованиям (М400, F200). Если учесть требования нормативных документов на изготовление бетонных изделий, то в них отмечено, что отпуск таких изделий (а, значит, фактически их ввод в эксплуатацию) допустим при достижении ими прочности 70 % от марочной, а при согласовании с заказчиком – 50 % от марочной.

В период с 2013 до 2015 года в г. Харькове проводят работы по реконструкции трамвайного междупутья. Производят замену старых оснований, рельс и т.д. на новые монолитные бетонные покрытия и основания с установкой рельс на полимерную прокладку. При этом уменьша-

ется шум от движения трамвая и негативное действие блуждающих токов на бетон. При этом используют монолитный бетон из высокоподвижных бетонных смесей П4. Были подобраны составы бетонных смесей для верхнего слоя покрытия, которые обеспечивают марку по прочности бетона М500, с морозостойкостью F 200. Расход цемента ПЦ I М 500 Ивано-Франковского цементного завода составлял от 400 кг/м³ (в летний период) до 420 кг/м³ (в период переходов через 0 °С). Применяли карбоксилатный суперпластификатор Sika ViscoCrete 2508 совместно с полипропиленовой фиброй и минеральным наполнителем Универсал ВМ. Результаты испытаний бетонов приведены в табл. 3.

Таблица 3. – Кинетика набора прочности дорожных бетонов

№ п/п	Добавка	R _{сж} , МПа, в воз- расте, сутки			F, марка	ОК смеси, см
		3	7	28		
1*	Sika ViscoCrete 2508HE	18,6	25,6	40,9	300	16...18
2**	Sika ViscoCrete 2508	35,8	44,9	54,7	300	16...20

* температура твердения смеси составляла +8...-10°С

** температура твердения смеси составляла + 18...+ 30 °С

*** суперпластификатор Sika ViscoCrete 2508HE отличается от суперпластификатора Sika ViscoCrete 2508 наличием в составе первой добавки противоморозного компонента

Результаты испытаний показывают, что для бетона состава 1, твердевшего в условиях знакопеременных температур прочность в возрасте 3 суток составила 45 % от марочной прочности. Достигнутая марочная прочность была ниже проектной (М 500), но несмотря на это испытания показали, что морозостойкость таких бетонов выше проектных требований (F200) и соответствуют марке F 300. При этом укладываемая бетонная смесь имела осадку конуса 16...18 см.

Бетонные смеси состава 2 укладывали при положительной температуре. При такой же подвижности и морозостойкости, как у состава 1, прочность бетона уже на 3 сутки составляла 65 % от марочной (М500).

Приведенные примеры из практики дорожного и аэродромного строительства показывают, что уже к 3 суткам твердения в нормальных температурно-влажностных условиях, а, тем более, при повышенных температурах, применение современных суперпластификаторов, позволяет производить работы по бетонному покрытию уже через 3...7 суток после его укладки. Учитывая данные по истираемости, которые

ниже предельных более, чем в 2 раза, к 7 суткам возможно открытие движения по цементобетонному покрытию. Для этого необходим в первую очередь оперативный контроль прочности бетона.

Дорожно-строительные лаборатории не всегда имеют возможность дать заключение о готовности покрытия к эксплуатации в ранние сроки. Очень приблизительные данные дают ультразвуковые приборы. Механические приборы, типа молотка Шмидта или молотка Кашкарова, дают более или менее реальные результаты при прочности бетона не ниже 15...20 МПа. Кроме того, все эти приборы требуют присутствия квалифицированных специалистов на месте контроля. Иногда необходимо оперативно оценить прочность бетона на месте в условиях отсутствия приборов (которые, кстати, есть далеко не во всех дорожно-строительных лабораториях).

Поэтому на кафедре ТДСМ ХНАДУ разработан экспресс-метод оценки прочности искусственных строительных материалов (в первую очередь – цементного бетона). Для этого была использована шкала твердости Мооса, в которой каждому минералу соответствует своя определенная твердость, определяемая численным значением. Степень твердости минералов оценивается приблизительно, в соответствии с определенными эталонными минералами, расположенными в порядке возрастающей твердости:

ТАЛЬК -	1	ПОЛЕВОЙ ШПАТ -	6
ГИПС -	2	КВАРЦ -	7
КАЛЬЦИТ -	3	ТОПАЗ -	8
ФЛЮОРИТ -	4	КОРУНД -	9
АПАТИТ -	5	АЛМАЗ -	10

В результате исследований было установлено, что существует взаимосвязь между твердостью поверхности материала и его прочностью. Это касается материалов с массивной, или плотной текстурой, а также со сформировавшейся структурой. В первую очередь этот способ можно применить к цементному камню, для оценки, например, активности цемента или его марки. Это также относится к оценке прочности бетона. Метод дает приближенные значения, поскольку в нем необходимо учитывать температуру и влажность поверхности. Однако, для первого приближения этого бывает достаточно. Результаты оценки прочности цементного камня и цементного бетона с применением минералов по шкале Мооса, приведены в табл. 4.

Очевидно, что существует корреляция между твердостью и марочной прочностью цементобетонных изделий, а также между маркой цемента и твердостью цементного камня. На практике, пользуясь данными этой таблицы, возможно оперативно оценивать марку цемента и

прочность цементобетонных изделий. Это позволит быстро вносить изменения в состав бетонной смеси, а также учитывать реальную марку цемента.

Таблица 4. – Зависимость между твердостью и марочной прочностью цементного камня и бетона

№ п/п	Материал	Марка цемента (бетона)	Соотношение между временем определения, сутки, и твердостью по шкале Мооса			
			1	2	3	7
1	Цементный камень	300	2,5	3,0	3,5	3,5
2		400	3,5	4,0	4,0	4,5
3		500	4,5	5,0	5,5	5,5
4	Цементный бетон	200	--	--	1,0	2,0
5		300	--	1,0	1,5	3,5
6		400	--	1,0	2,0	4,0

*Примечание: данные по цементному бетону приведены для расхода цемента 350...400 кг/м³ и R_ц = 50,5 МПа.

Из данных табл. 4 видно, что для определения марки цемента, с достаточной степенью точности, наилучшим временем является период с 1 до 3 суток твердения. На точность определения марки цемента влияет НГ теста и наличие добавок. Для определения марки по прочности бетона наиболее целесообразно определять прочность бетонных изделий в возрасте 7 суток, так как в более раннем возрасте показатели твердости для монолитных бетонов достаточно приближительны.

Вывод. Результаты исследований свидетельствуют о необходимости пересмотра взглядов на степень готовности монолитных бетонов к эксплуатации и внесении изменений в соответствующие проекты и нормативные документы.

SUMMARY

The article shows the results of tests of road concretes with high effective superplasticizers. It is well-proven that such additions provide speed-up growth of strength of concretes. It allows to shorten time to beginning of their exploitation. For rapid determination of strength of concrete an express-method is offered.