

*Рыскалиев М.Ж.*

## СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

*M.Zh. Ryskaliev*

### PROPERTIES OF FOAM CONCRETE, MODIFIED CHEMICAL ADDITIVES

УДК 666.972.16

*Данные о влиянии кератина пены на время схватывания цемента без добавки и с добавкой модификаторов структуры ускорителей, а также прочность пенопласт сырья.*

**Ключевые слова:** пенобетон, кератиновый пенообразователь, пеноконцентрат, модификатор структуры, сроки схватывания цемента, пластическая прочность, структурная прочность пенобетона.

*The data on the effect of keratin foam on the setting time of cement without additives and with the addition of modifiers accelerators of structure, as well as the strength of the plastic foam raw.*

Главным преимуществом зданий, построенных из ячеистого бетона, является благоприятный микроклимат внутри помещений, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства ограждающих конструкций.

Учитывая указанные достоинства ячеистых бетонов, Российская Федерация переупрофилирует свои заводы по выпуску силикатного кирпича автоклавного твердения, на выпуск газобетонов автоклавного твердения. При этом производство ячеистого бетона развивается по двум основным направлениям: ячеистые газобетоны автоклавного и неавтоклавного твердения, а также пенобетоны автоклавного и неавтоклавного твердения.

В Казахстане ячеистые бетоны автоклавного твердения в советское время выпускались на Темиртауском комбинате «Промстройиндустрия», Павлодарском КЖБИ-1 и КЖБИ-4, Джамбулском заводе силикатных изделий и железобетонных конструкций, на Чардаринском комбинате строительных материалов, а также в силикальцитном цехе ПГО «Гурьевнефтегазгеология».

В настоящее время газобетонные блоки автоклавного твердения по резательной технологии, выпускаются только в Алматы, Астане и Актобе, что недостаточно полно обеспечивают потребность рынка для жилищного и гражданского строительства. Производство ячеистых бетонов для крупнопанельного строительства в Казахстане полностью отсутствует. Снижению или полной остановке производства газобетонов автоклавного твердения в Республике Казахстан послужило отсутствие в достаточном количестве алюминиевой пудры – газообразователя, стоимость 1 кг которой достигает 7 - 9 долларов США, и высокая стоимость тепловой обработки изделий в автоклавах.

Поэтому преимущество при организации производства ячеистого бетона в настоящее время отдается неавтоклавному пенобетону, обладающему низкими капитальными вложениями, малой энергоемкостью и более простой технологией в сравнении с технологией газобетона. Простота технологии пенобетона заключается в том, что при его производстве не образуется горбушки, отсутствует дорогостоящее автоклавное оборудование и сопутствующее ему дополнительное энергосиловое хозяйство. Вызревание ячеистого пенобетона менее «капризно» в сравнении с вызреванием газобетона. Так, например, при производстве газобетона в цехе не должно быть сквозняков, а поддоны и формы должны иметь температуру не менее плюс 30°C. Кроме того, при приготовлении ячеистого газобетона используется алюминиевая пудра – взрывоопасный компонент, требующий особых условий транспортировки и хранения, а также условий приготовления суспензии, вводимой в газобетонную смесь. Такое положение делает производство неавтоклавного пенобетона на заводах малой мощности и стройплощадках экономически более целесообразным.

Однако производство наиболее эффективного по теплофизическим свойствам пенобетона в Казахстане сдерживается из-за отсутствия производства в достаточном количестве отечественных пенообразователей, обладающих мелкой дисперсностью и высокой устойчивостью пены.

Предлагаемые в последние годы импортные пенообразователи, выпускаемые, в частности немецкими фирмами «Неопор-Систем» и «ЭДАМА», отличаются высокой стабильностью и дисперсностью пен при применении пеногенераторов, разработанных этими фирмами. Данные пенообразователи являются экологически чистым продуктом на основе протеинов, не вызывают раздражения кожи человека и могут храниться без потери своих первоначальных свойств более трех лет. Замороженные пенообразователи после оттаивания не теряют своих свойств, и после полного оттаивания могут быть использованы для получения пены. Однако немецкие пенообразователи и пеногенераторы имеют высокую стоимость, например, пеноконцентрат фирмы «Неопор-Систем» имеет стоимость от 9 до 15 долл. США за 1 кг, а пеногенератор этой фирмы – около 35 000 долларов США. При существующем экономическом положении Республика Казахстан, да и другие страны СНГ не в

состоянии постоянно закупать в Германии названные пенообразователи и пеногенераторы.

Ранее для производства пенобетонов применяли следующие пенообразователи: клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтовый и гидролизованную кровь (ГК), а в последние годы – лаурилсульфат натрия, оксид амина, различные отходы химических и нефтехимических производств и наиболее эффективный пенообразователь, разработанный во ВНИИПАВ (г. Шебекино), пенообразователь «Пеностром».

Считаем уместным отметить, что названные российские пенообразователи уступают по всем физико-химическим показателям немецким пенообразователям. Кроме того, устойчивость пены, выгнанной из водного раствора пенообразователя «Пеностром», имеет низкую жизнеспособность. Процесс синерезиса протекает в течение 10-15 мин после приготовления пены, а дисперсность пены, имеющей крупные ячейки, не позволяет получать пенобетоны достаточной прочности и требуемой плотности.

Известные из научно-технической и патентной литературы и рекомендуемые сейчас Российской Федерацией пенообразователи, такие как ПО-1, ПО-6, СП-1, СП-2, ПО-3А, Сампо, Морпен и др., не обеспечивают получения пенобетонов высокого качества с заданными физико-механическими показателями. Причиной тому является низкая устойчивость пены во времени, связанная с её высоким синерезисом и относительно высокая кратность.

Учитывая достоинства немецких пенообразователей фирм «Неопор-Систем» и «ЭДАМА» в части высокой устойчивости и стабильности пен, и недостатки российских синтетических пенообразователей в части их низкой жизнеспособности, то есть высокого синерезиса, мы остановили свой выбор на отечественном кератиновом пенообразователе, который по физико-химическим характеристикам не уступает немецким [1 – 4].

Значение рН этих пенообразователей через 1 сутки после получения гидролизата и его нейтрализации находилось в пределах 5,80 – 6,82, то есть они близки к изоэлектрической точке белка, при которой обеспечивается наибольшая пенообразующая способность. Плотность пеноконцентрата составляла 1,01 – 1,015 г/см<sup>3</sup>. Поверхностное натяжение определяли по методу дю-Нуи. Изотермы поверхностного натяжения растворов различных концентраций приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Изотермы поверхностного натяжения растворов из кератинового пенообразователя**

Концентрация, %	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\sigma$ , Н/м	58,9	54,6	47,3	45,7	44,5	41,3	37,9	37,3	36,8	36,5	36,5

Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что поверхностное натяжение уменьшается с повышением концентрации кератинового пенообразователя. Однако после некоторого значения концентрации, равной 3%, происходит стабилизация величины поверхностного натяжения. Объяснить это можно, вероятно, насыщением адсорбционных слоев двухсторонних пленок, что является проявлением специфических свойств белковых ПАВ. Эта специфичность белковых поверхностно-активных веществ, проявляется в очень медленном установлении равновесного значения поверхностного натяжения. Медленное формирование равновесного адсорбционного слоя объясняли диффузией глобулярных молекул к межфазной поверхности и разворачиванием на ней полипептидной цепи. Однако в последние годы высказывается мнение, что диффузия молекул к поверхности не является определяющим фактором длительности установления равновесного значения поверхностного натяжения. Согласно этим представлениям, молекулы белка в адсорбционном слое способны разворачиваться отдельными участками в зависимости от вида белковой молекулы, концентрации белка, рН среды и других факторов. Считается наиболее вероятным, что длинная белковая молекула находится в некотором промежуточном положении, не являясь ни полностью развернутой, ни полностью свернутой. Поскольку при адсорбции возможно образование нескольких слоев, адсорбционные пленки могут удерживать и неразвернутые нативные молекулы [5, 6]. Данное обстоятельство объясняет известный из практики факт более высокой устойчивости пен из белковых растворов, чем пен из синтетических ПАВ.

Кратность пены из кератинового пенообразователя находится в пределах 11 – 13 в зависимости от концентрации водного раствора пенообразователя. Процесс синерезиса (50%-ное истечение жидкости из выгнанной пены) находится в пределах 90 – 110 мин.

Приведенные физико-химические характеристики, разработанных нами кератиновых пенообразователей не уступают немецким пенообразователям для производства пенобетонов и дают возможность производить пенобетоны на основе отечественных экологически чистых и более доступных дешевых пенообразователей. Однако известно, что все пенообразователи (синтетические и белковые) сильно замедляют процессы гидратации цемента, а следовательно, замедляют процессы структурообразования цементного камня и бетона. Поэтому следующим этапом наших исследований явилось определение влияния кератинового пенообразователя на сроки схватывания цемента.

Исследования проводили по стандартной методике (на приборе Вика) с той лишь разницей, что вместо воды затворения цементного теста брали растворы

пенообразователя принятых концентраций. Эксперименты проводили на Усть-Каменогорском портландцементе марки 400Д20 и Шымкентском портландцементе, также марки 400Д20.

Опыты показали, что растворы пенообразователя обладают пластифицирующим действием на цементное тесто. Нормальная густота цементного теста снизилась для обоих видов вяжущего. Результаты испытаний, влияния водного раствора пенообразователя концентрации 2,0 и 2,5 % (0,4 и 0,5 % от массы цемента) на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста приведены в таблице 2. Концентрации пенообразователя 2,0 и 2,5 % были приняты в связи с тем, что предыдущие эксперименты показали наибольшую стабильность пен и их оптимальную кратность, равную 11 – 13 при указанных концентрациях пенообразователя.

Из таблицы 2 видно, что добавка пенообразователя в воду затворения пластифицирует цементное тесто, снижение водопотребности доходит до 7,1 %. Этот факт является ценным свойством белковых пенообразователей, так как дает возможность снижения расхода цемента при изготовлении бетонов, а также позволяет снизить технологическую влажность готовых пенобетонных изделий.

Таблица 2

**Влияние пенообразователя на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста**

Заводы-изготовители цемента	Нормальная густота при концентрации пенообразователя, %		Сроки схватывания при концентрации пенообразователя, ч-мин			
	0,4 % от массы цемента	0,5 % от массы цемента	начало		конец	
			0,4 % от массы цемента	0,5 % от массы цемента	0,4 % от массы цемента	0,5 % от массы цемента
Усть-Каменогорск	25,5	25,2	3 – 35	3 – 45	7 – 40	8 - 15
Шымкент	25,1	25,0	3 – 10	3 – 20	6 – 55	7 - 45

Однако этим пенообразователям свойственны и отрицательные стороны, что проявляется в небольшом удлинении сроков начала и конца схватывания цемента. Так, например, начало схватывания Усть-Каменогорского цемента удлинилось на 60 – 75 мин, а конец схватывания – на 30 – 60 мин при затворении цемента раствором пенообразователя 0,4 и 0,5 %-ной концентрации соответственно. При затворении Шымкентского цемента растворами кератинового пенообразователя таких же концентраций удлинение сроков начала и конца схватывания цемента составляет соответственно 40 и 75 мин, а снижение водопотребности цементного теста составляет 8,5 %.

Удлинение сроков схватывания цемента, затворенных растворами кератинового пенообразователя, от 30 до 75 мин является нежелательным, так как при этом снижается оборачиваемость форм и соответственно производительность предприятия, выпускающего пенобетоны. В особенности отрицательные стороны этого явления проявляются в случае применения кассетных форм, когда на разборку форм, чистку, смазку и их сборку затрачивается 5 – 8 ч рабочего времени.

Более прогрессивной является резательная технология, когда формируется большой массив длиной до 6 м, высотой до 0,6 м и шириной до 1,5 м. После набора пластической прочности этот массив разрезается короткими струнами на блоки необходимых размеров и на подставном поддоне направляется в камеру тепловлажностной обработки (автоклав). Главным преимуществом резательной технологии, кроме низкой металлоемкости и высокой производительности, является отсутствие так называемого «пристеночного» эффекта. «Пристеночный» эффект представляет собой тонкую и плотную корку, образованную в зоне контакта пенобетона с поверхностью опалубки. В связи с тем, что коэффициенты линейного термического расширения (КЛТР) плотного и ячеистого бетонов различны, поэтому впоследствии может происходить отслоение этой плотной корки от основной массы пенобетонного блока. При этом никакая отделка этих блоков и фасадов зданий, построенных из таких блоков, не может защитить здание от отслоения плотной корки. Этот факт лишней раз подтверждает достоинства резательной технологии ячеистых бетонов.

Задачей наших исследований является ускорение процессов структурообразования пенобетона, чтобы массив приобрел необходимую сырцовую (пластическую) прочность уже через 2 – 3 ч после заливки и позволил бы раскрыть борта формы, перекантовать массив на ребро, поместить его на подставной поддон и приступить к разрезке его на мелкие блоки нужных размеров. При этом нормируемая прочность бетона – сырца должна быть не менее 150 и не более 300 г/см<sup>2</sup>. Более высокая прочность бетона – сырца нежелательна, так как будет происходить частый обрыв струн резательной машины.

Для ускорения процессов структурообразования пенобетона нами выбрана комплексная добавка, состоящая из пластификатора «Лигнопан Б-2», который кроме пластифицирующего эффекта обладает и свойствами ускорителя твердения бетона и одновременно повышает вязкость пенобетонной смеси, плюс нитрит-нитрат кальция (ННК) – известный ускоритель твердения, который дополнительно уплотняет структуру межпоровых перегородок пенобетона и повышает его прочность.

Испытания проводили по методике, описанной выше, на тех же цементах и при таких же концентрациях водных растворов кератинового пенообразователя. Разница в экспериментах заключалась в том, что при приготовлении цементного теста вместе с водой затворения вводили добавки «Лигнопан Б-2» в количестве 1,5 %, а дозировка ННК составляла 0,5 % от массы цемента.

Опыты показали, что введение этих добавок не увеличило нормальной густоты цементного теста, а даже несколько снизило этот показатель, что является положительным фактом. Объясняется это пластифицирующим действием добавки «Лигнопан Б-2», состоящей из очищенного технического лигносульфоната [7]. О том, что добавка нитрит нитрата кальция (ННК) пластифицирует бетонную смесь, известно из данных, приведенных в работах В.Б. Ратинова и Т.П. Розенберг [8], а также работах С.Н. Алексеева и др. [9]. Кроме того, добавка ННК является эффективным ускорителем твердения, уплотняет структуру бетона, повышает его прочность и защищает стальные поверхности форм и бетоносмесительного оборудования от коррозии [8, 9].

Компоненты введенных добавок (Лигнопан Б-2» и ННК) хорошо совмещаются между собой, что проявляется в отсутствии коагулюма в водном растворе и цементном тесте. Снижение нормальной густоты цементного теста с приведенной комплексной добавкой составило 9,5 – 15 % для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов соответственно.

Результаты испытаний по определению сроков схватывания этих цементов, затворенных растворами кератинового пенообразователя 0,4 и 0,5 %-ной концентрации, содержащего комплексную добавку «Лигнопан Б-2» и ННК, приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Влияние комплексной добавки «Лигнопан Б-2» и ННК на сроки схватывания цемента, затворенного растворами кератинового пенообразователя**

Заводы - изготовитель и цементов	Сроки схватывания при концентрации раствора пенообразователя, ч-мин			
	начало		конец	
	0,4 % от массы цемента	0,5 % от массы цемента	0,4 % от массы цемента	0,5 % от массы цемента
Усть-Каменогорск	0 – 50	1 – 10	2 – 45	3 – 05
Шымкент	0 – 45	0 – 55	2 – 15	2 – 55

Из данных, приведенных в таблице 3, видно, что начало схватывания цементного теста, содержащего комплексную добавку, затворенного 0,4%-ным водным раствором кератинового пенообразователя, сократилось на 2 ч 25 мин на Усть-Каменогорском цементе и на 2 ч 20 мин на Шымкентском цементе в сравнении с исходными значениями сроков начала и конца схватывания этих цементов.

Сроки начала схватывания этих цементов при затворении их 0,5 %-ным раствором кератинового пенообразователя, содержащего комплексную добавку «Лигнопан Б-2» и ННК, также снизились в сравнении с исходными значениями на 4 ч 5 мин и 4 ч 30 мин для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов соответственно.

При сравнении сроков схватывания этих цементов, затворенных растворами пенообразователя с добавкой и без добавки ускорителей твердения, установлено, что при введении добавок – ускорителей твердения и структурообразования разница еще более ощутима. Так, разница в начале сроков схватывания составляет почти 3 ч, а конца схватывания – почти 5 ч для Усть-Каменогорского цемента и 4 ч 40 мин для Шымкентского цемента.

Полученные результаты убедительно доказывают эффективность предлагаемой комплексной добавки, состоящей из «Лигнопан Б-2» и ННК. При применении этой добавки за смену можно произвести две заливки пенобетона, то есть повысить оборачиваемость форм и производительность предприятия в два раза при применении кассетной технологии производства пенобетонных блоков. При изготовлении мелких стеновых блоков по резательной технологии за смену можно произвести 4 – 5 заливок пенобетонного массива и во столько же раз повысить оборачиваемость бортовой оснастки. Производительность предприятия в этом случае может увеличиться на порядок и более, так как время, затрачиваемое на очистку и смазку бортовой оснастки в 10 и более раз меньше, чем время, затрачиваемое на разборку, чистку, смазку и сборку кассетных форм.

Следующим этапом наших исследований было определение влияния комплексной добавки – ускорителя твердения на активность цементов, затворенных растворами пенообразователя концентраций 0,4 и 0,5 % от массы цемента.

Испытания проводили по стандартной методике ГОСТ 310.0 - 310.4 – на растворах с подвижностью 105 – 107 мм. В качестве заполнителя был принят кварцево-полевошпатовый песок Николаевского карьера Алматинской области. В качестве вяжущих материалов были приняты Усть-Каменогорский и Шымкентский цементы. Соотношение вяжущее : песок – 1 : 3 (500 г цемента, 1500 г песка). Образцы-балочки размерами 4 х 4 х 16 см уплотняли на виброплощадке с амплитудой 0,3 – 0,5 мм и частотой колебаний 2800 – 3000 кол/мин до появления на поверхности образцов цементного молока. Образцы твердели в нормальных влажностных условиях в течение 28 сут. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Результаты испытаний по определению активности портландцементов, затворенных растворами пенообразователя 0,4 и 0,5 %-ной концентрации с добавками комплексного ускорителя твердения,

показывают, что добавка повышает прочность образцов, как на изгиб, так и на сжатие (таблица 4).

Таблица 4

**Влияние комплексной добавки – ускорителя твердения на активность цементов, затворенных растворами пенообразователя**

Заводы-изготовители цементов	Концентрация раствора пенообразователя, % от массы цемента	Концентрация комплексной добавки, % от массы цемента	Предел прочности образцов через 28 сут, МПа	
			на изгиб, R <sub>изг</sub>	на сжатие, R <sub>сж</sub>
Усть-Каменогорск	0,4	«Лигнопан Б-2» - 1,5 + ННК - 0,5	8,2	62,8
	0,5	- // -	7,9	60,6
Шымкент	0,4	«Лигнопан Б-2» - 1,5 + ННК - 0,5	8,0	62,6
	0,5	- // -	7,7	60,4

Повышение прочности образцов на изгиб при затворении бетонного раствора раствором пенообразователя 0,4 %-ной концентрации, составляет 34,4 и 33,4 % для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов соответственно. При затворении бетонного раствора пенообразователем 0,5 %-ной концентрации, повышение прочности образцов на изгиб составляет 29,5 и 28,3 % для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов. Из приведенных данных видно, что с повышением концентрации раствора пенообразователя эффективность комплексной добавки в принятых концентрациях снижается. Такая же тенденция наблюдается и при испытании половинок балочек на сжатие. Увеличение прочности образцов на сжатие при затворении бетонной смеси раствором пенообразователя 0,4 %-ной концентрации, составляет 22,45 и 22,36 % соответственно для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов. Повышение прочности образцов при затворении бетонной смеси раствором пенообразователя 0,5 %-ной концентрации, составляет 19,63 и 19,53 % для Усть-Каменогорского и Шымкентского цементов.

На основании проведенных экспериментов можно прийти к выводу, что для приготовления пенобетона целесообразнее применять концентрацию пенообразователя 0,4 % от массы цемента при дозировке комплексной добавки 1,5 % - «Лигнопан Б-2» плюс 0,5% ННК. Однако нельзя сбрасывать со счетов и дозировку пенообразователя 0,5 % от массы цемента, так как при такой дозировке повышается стабильность пены, то есть ее жизнеспособность. При концентрации пенообразователя 0,5 % от массы цемента следует повысить дозировку ускорителя твердения цемента и структурообразования пенобетона до 1,75 % - «Лигнопан Б-2» и 0,75 % ННК. Данные по таким дозировкам комплексного ускорителя твердения мы сознательно

не привели, преследуя и экономическую сторону предлагаемых решений поставленной задачи – снижения себестоимости продукции. Эти данные будут приведены ниже при определении скорости набора пластической прочности пенобетона – сырца.

Изучение скорости набора пластической прочности пенобетона – сырца с добавкой ускорителя твердения и структурообразования представляет значительный теоретический и практический интерес. Так как плотные мелкозернистые бетоны и ячеистые бетоны отличаются условиями твердения, то есть условиями контакта вяжущего и заполнителя. В плотных бетонах создаются более благоприятные условия твердения, так как оно протекает в «стесненных» условиях, где более полно используется химическая реакция теплоты гидратации цемента, то есть его экзотермия. В ячеистых бетонах, каким является пенобетон, фактор экзотермии цемента значительно ослабляется за счет большого количества воздушных пор (воздух – отличный теплоизоляционный «материал»). Воздух мы назвали «материалом», так как в ячеистых бетонах при применении молотого кремнеземистого компонента – песка он выполняет функции заполнителя, а песок молотый – наполнителя. Этим и объясняется постановка исследований по изучению скорости набора пластической прочности пенобетона – сырца с комплексной добавкой «Лигнопан Б-2» и ННК.

Исследования проводили на образцах пенобетонной смеси, где, по расчетным данным, после твердения пенобетона ее средняя плотность должна быть 600 кг/м<sup>3</sup>. Такая плотность пенобетона выбрана не случайно, так как он является конструкционно-теплоизоляционным материалом и пользуется в настоящее время большим спросом строителей. Бетон такой плотности при низких значениях коэффициента теплопроводности (0,14 Вт/(м·°С)) имеет достаточную прочность – класс от В1 до В2 (ГОСТ 25485 -).

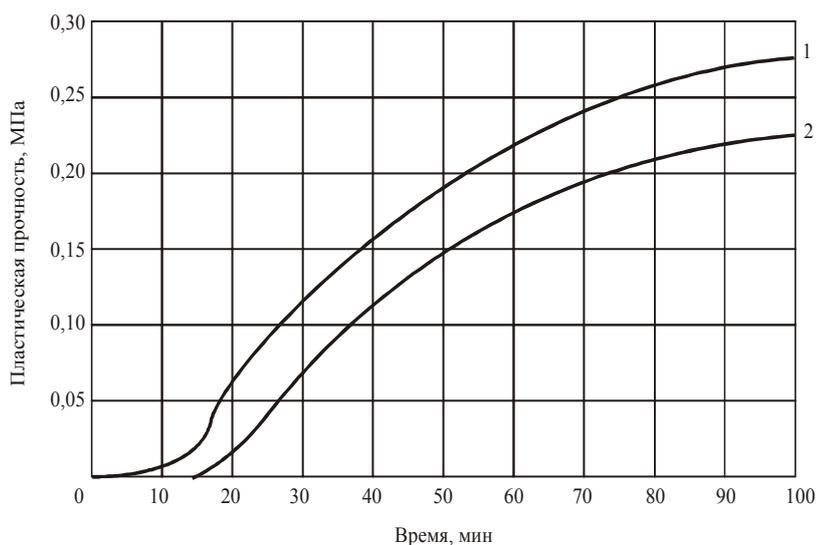
Для изучения скорости набора пластической прочности пенобетона – сырца был применен конический пластометр, разработанный академиком П.А. Ребиндером.

Ранее проведенные исследования по определению скорости истечения жидкости из пены, выгнанной через пеногенератор, под давлением сжатого воздуха 0,6 МПа показали, что 50 % жидкости вытекает через 90 – 110 мин при применении кератинового пенообразователя концентрации 0,4 и 0,5 % от массы цемента соответственно.

Можно полагать, что нарушение структуры (осадка) пенобетонных образцов будет вызываться постепенным выделением раствора пенообразователя из пены в цементно-песчаный раствор и снижением за счет этого пластической прочности. Следовательно, для получения образцов пенобетона без осадки, необходимо, чтобы стабилизация структуры опережала ее ослабление в результате

избыточного количества ПАВ, поступающего из пены в цементно-песчаный раствор. Известно, что с увеличением количества воды в цементном тесте до оптимального значения устойчивость пены возрастает в среднем на 20 % по сравнению с ее устойчивостью на воздухе. Объясняется это «закупориванием» каналов Плато в двухсторонних пленках гидратированными коллоидными частицами цемента. Задача технологов, занятых производством пенобетона, согласовать процессы начала водоотделения из пены с началом активной гидратации цемента.

На рисунке 1 представлены пластограммы пенобетона – сырца, приготовленного на кератиновом пенообразователе концентрации 0,4 и 0,5 % от массы цемента. Концентрация комплексной добавки – ускорителя твердения в обоих случаях составляла 1,5 % - «Лигнопан Б-2» плюс 0,5 % ННК. Расход комплексной добавки – ускорителя твердения мы умышленно оставили постоянным с целью выяснения его влияния на скорость набора пластической прочности пенобетона при различных концентрациях раствора пенообразователя.



- 1 – концентрация раствора пенообразователя 0,4 % от массы цемента;  
2 – концентрация раствора пенообразователя 0,5 % от массы цемента

**Рисунок 1.** Кинетика набора пластической прочности пенобетона - сырца

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 1, показывает, что с увеличением концентрации раствора пенообразователя рост пластичес-

кой прочности замедляется (кривая 2). При добавке комплексного ускорителя твердения «Лигнопан Б-2» плюс ННК распалубку пенобетонных изделий можно начинать уже через 40 – 50 мин, когда пластическая прочность достигает 0,16 и 0,152 МПа при концентрации раствора пенообразователя 0,4 и 0,5 % соответственно (кривые 1 и 2, рисунок 1). Следует отметить, что в образце без добавки – ускорителя пластометр зафиксировал нулевое значение пластической прочности в рассматриваемом промежутке времени (от 0 до 50 мин). Отметим также, что температура окружающей среды во время проведения экспериментов была 25 – 27°С. При более низких температурах время начала съема бортовой оснастки (опалубки) отодвигается до 70 – 80 мин. Чрезмерное увеличение пластической прочности пенобетона – сырца до 0,25 – 0,3 МПа нежелательно, так как при применении резательной технологии производства мелких стеновых блоков может наблюдаться обрыв струн резательной машины. Изделия с пластической прочностью 150 – 200 г/см<sup>2</sup> можно транспортировать в камеру тепло-влажностной обработки без риска их повреждений.

#### Литература

1. Инновационный патент РК № 2555. Коллагеновый пенообразователь для производства пенобетонов / Шинтемиров К.С., Салимова А.Н., Рыскалиев М.Ж.
2. Предварительный патент РК № 9111. Кератиновый пенообразователь для производства пенобетонов / Шинтемиров К.С., Байболов С.М., Орынбеков С.Б. и др.
3. Предварительный патент РК № 11407. Пенообразователь для производства пенобетона / Шинтемиров К.С., Соловьев В.И., Челекбаев А.М. и др.
4. Предварительный патент РК № 17241. Пенообразователь для производства пенобетонов / Шинтемиров К.С., Челекбаев А.М., Шинтемиров Б.К.
5. Nemetschek Th. Kolloid-Zeitschrift fur Polymere, 1963, 187, 2 – 109 s.
6. Мещлер Д. Биохимия. – М.: Мир, 1980, т.1. – 600 с.
7. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 400с.
8. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – С.131 – 150.
9. Алексеев С.Н., Ратинов В.Б., Розенталь Н.К., Кашурников Н.М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Шинтемиров К.С.