

6. Тур В.В., Рак Н.А. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций: Монография. – г. Брест; Издательство БГТУ, 2003. – 252 с.
7. Загуляев С.В. Прочностные и деформативные характеристики бетона на напрягающем цементе // Вестник БГТУ, Строительство и архитектура. – 2004. № 1 – с. 74-80.
8. Новикова С.Д. Исследование прочности центрально-сжатых элементов из напрягающего бетона с косвенным армированием. Пояснительная записка // Брест, 2002. – 58 с.
9. Прокопеня О.Н., Макул В.В. Автоматизация испытания бетонных образцов: Дипломный проект: 1-53.01.01 // БГТУ, Брест, 2006. – 105 с.

Статья поступила в редакцию 15.02.07

УДК 691.322

Кравченко В.В., Филимонова Н.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВНУТРЕННЕГО УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Введение

Развитие строительных технологий за последние десятилетия привело к появлению и практическому использованию новой группы бетонов, так называемых «высококачественных бетонов» (общепринятое сокращение *HPC* – *High Performance Concrete*). Основными отличительными признаками бетонов данной группы, по сравнению с обычными бетонами, являются:

- повышенная прочность при сжатии (примерно от 60 МПа и более);
- низкое водоцементное отношение (менее 0,3);
- низкая проницаемость.

Перечисленные свойства делают такие бетоны незаменимыми при изготовлении изделий и конструкций, применяемых в условиях, где основным требованием является обеспечение долговечности.

К сожалению, наряду с преимуществами, у высококачественных бетонов имеются и существенные недостатки. В первую очередь к ним следует отнести развитие микротрещин в структуре твердеющего бетона, особенно в раннем возрасте. Причиной появления микротрещин является возникновение и развитие деформаций аутогенной усадки.

Надо отметить, что ранее исследованиям аутогенной усадки не уделяли достаточно внимания, поскольку она является незначительной в обычных бетонах, где водоцементное отношение составляет примерно 0,4..0,45, что характерно для большинства используемых в настоящее время составов. Тщательное изучение этого явления началось лишь с появлением высококачественных бетонов.

1. Предпосылки развития аутогенной усадки

Обобщенный механизм развития деформаций аутогенной усадки, выработанный на основе анализа источников [1-3], может быть коротко представлен следующим образом.

Как известно, к моменту схватывания в цементном тесте формируется начальная пористость. Первоначально предполагается, что все поры заполнены водой (исключение составляют поры, образованные вовлеченным воздухом). Однако со временем, в процессе гидратации, поры начинают обезвоживаться из-за постоянного оттока воды (в первую очередь свободной воды, находящейся в порах под действием капиллярных сил) в зону продолжающейся гидратации клинкерных частиц цемента. Этот процесс в разных источниках называется «самовысыханием» или «самоусушкой». Следствием процесса «самовысыхания» является образование в порах менисков, что в конечном итоге приводит к возникновению капиллярных сил, которые обусловлены поверхностным натяжением воды на границе раздела фаз «вода – пар».

Возникающее при этом капиллярное давление может быть описано зависимостью:

$$P_{cap} = -\frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \vartheta}{r} = -\frac{R \cdot T \cdot \rho_l}{M_l} \ln\left(\frac{p_g}{p_{sat}}\right), \quad (1)$$

где γ [Н/м] – поверхностное натяжение воды; r [м] – радиус мениска; ϑ [-] – краевой угол мениска; R [8,31 Дж/К моль] – универсальная газовая постоянная; T [К] – абсолютная температура; ρ_l [1000 кг/м³] – плотность воды; M_l [кг/моль] – молярная масса воды; p_g [МПа] – давление пара в порах;

p_{sat} [МПа] – давление насыщенного пара.

Капиллярное давление возрастает с уменьшением радиуса пор. Согласно [3] проявление усадки начинается при обезвоживании пор размером порядка (350...500)Å. При этом капиллярное давление возрастает до определенного максимума, а затем убывает, так как объем воды в порах в ходе процесса гидратации уменьшается.

Отрицательное капиллярное давление обусловлено тем, что при образовании вогнутых менисков давление внутри жидкости становится меньше, чем давление пара над поверхностью мениска. Это приводит к образованию сжимающих усилий в жидкости, передаваемых на стенки пор, и всестороннему обжатию скелета цементного камня, т. е. к возникновению объемной аутогенной усадки.

Таким образом, из анализа явлений, происходящих в процессе гидратации, можно сделать вывод: аутогенная усадка – это отрицательная объемная деформация цементного камня, возникающая вследствие постоянного оттока воды из порового пространства на гидратацию цемента.

2. Концепция внутреннего увлажнения

Концепция внутреннего увлажнения бетона, предложенная рядом исследователей относительно недавно [7-10], подразумевает введение в бетонную смесь специальных компонентов, которые служат так называемыми «агентами увлажнения» (*curing agent*). Такие агенты, находясь в структуре твердеющего бетона, должны компенсировать недостаток воды, возникающий в процессе «самовысыхания», и, как следствие, привести к снижению или полному устранению деформаций аутогенной усадки в структуре твердеющего бетона.

В рамках концепции различают два вида внутреннего влажностного ухода:

- внутреннее водное увлажнение;
- внутренняя изоляция (замедленное увлажнение с блоки-

Кравченко Валентин Владимирович, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Филимонова Наталья Викторовна, к.т.н., младший научный сотрудник НИЧ Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

рованием процесса испарения воды из пор).

В первом случае компенсация достигается за счет создания увлажняющим агентом внутри твердеющей структуры специальных источников (резервуаров) свободной воды, которая в последствии будет доступна в ходе процесса гидратации при условии ее миграции в поры твердеющего цементного камня. В качестве агентов используются различные пористые заполнители или специальный абсорбирующий полимер (*SAP – super-absorbent polymer*).

При создании внутренней изоляции добавляемый агент предназначен для того, чтобы предотвратить испарение воды в твердеющей структуре бетона. В качестве агентов используются водорастворимые полимеры, удерживающие влагу в структуре в виде гидроксильных групп (*-OH*), что препятствует ее испарению и способствует более продолжительной гидратации цемента.

В настоящее время наиболее распространенным методом является использование внутреннего водного увлажнения с применением легких пористых заполнителей.

Исследователи из Американского института стандартов и технологий (NIST) и «Техниона» (Израиль) [8-9] выдвинули тезис о необходимости использования для этой цели мелких фракций пористого заполнителя, что позволяет достичь равномерного распределения источников подачи воды по всему объему материала и обеспечить благоприятные условия для ее миграции в поры цементного камня. При этом выяснилось, что вода в цементном камне способна мигрировать на значительное расстояние, вместе с тем, основное влияние на эффективность снижения аутогенной усадки оказывает не расстояние между частицами пористого заполнителя, а его пористость и водопоглощение.

Основной технологической задачей, решаемой при использовании концепции внутреннего увлажнения, является определение требуемого количества резервируемой воды.

Согласно *D.Bentz* и *K.A. Snyder* [10], количество воды, необходимой для предотвращения «самовысыхания» и, таким образом, усадки, вызванной этим явлением, равно объему химической усадки цементного камня:

$$V_{ent} = \frac{C_f \cdot CS \cdot \alpha_{max}}{\rho_l}, \quad (2)$$

где V_{ent} [$\text{м}^3/\text{м}^3$] – объем воды, для насыщения легких заполнителей;

C_f [$\text{кг}/\text{м}^3$] – содержание цемента в пасте;

CS [вода, кг / количество гидратированного цемента, кг] – химическая усадка;

α_{max} [-] – максимальная степень гидратации;

ρ_l [$1000 \text{ кг}/\text{м}^3$] – плотность воды.

Другой подход к расчету количества дополнительно вводимой воды, разработанный на основании модели гидратационного развития цементного камня *T.C. Powers* и *T.L. Brownard* [8], предложен *O.M.Jensen* и *P.F. Hansen* [7]. Авторы считают, что количество добавляемой воды должно быть достаточным для поддержания условий насыщения в период твердения цементного камня до тех пор, пока процесс гидратации не остановится из-за нехватки порового пространства для размещения продуктов гидратации. Объем доступного порового пространства определяется начальным B/C цементного теста, поэтому необходимое дополнительное количество воды (B/C_{ent}) рассчитывается, согласно *O.M.Jensen* и *P.F.Hansen* [7], в зависимости именно от этого параметра:

$$(B/C)_{ent} = 0,18 \cdot (B/C), \text{ при } (B/C) \leq 0,36, \quad (3)$$

где $(B/C)_{ent}$ – дополнительное водоцементное отношение.

Следует отметить, что концепция внутреннего увлажнения, эффективность которой доказана целым рядом исследователей [6-10], открывает новые перспективы в применении не только портландцемента со свойственными ему усадочными деформациями, но и таких специфических, с точки зрения собственных деформаций, материалов, как расширяющиеся вяжущие вещества.

Известно, что при использовании расширяющихся цементов, предназначенных, в частности, для компенсации усадочных деформаций, интенсивный влажностный уход является обязательной мерой, обеспечивающей достижение стандартных характеристик бетона в процессе твердения. Однако равномерное водонасыщение твердеющей структуры по всему объему оказывается не всегда возможным вследствие особенностей конструктивных решений, а также вследствие высокой плотности структуры. Результат – неравномерное развитие деформаций расширения в объеме материала, – как правило, приводит к появлению трещин. Кроме того, интенсивное внешнее увлажнение повышает склонность материала к развитию так называемых «шоковых трещин», наблюдаемых на увлажняемой поверхности при ее высыхании.

Особенностью расширяющихся вяжущих веществ, среди которых наиболее распространены сульфоалюминатные цементы, является также то, что по своей химической природе они требуют для гидратации большего количества воды в сравнении с портландцементными. При этом бетоны на сульфоалюминатных цементах, как правило, изготавливают при малых водоцементных отношениях (для достижения более высоких деформаций расширения), поэтому значительная часть цемента остается негидратированной. Очевидно, что для таких бетонов применение концепции внутреннего увлажнения будет способствовать не только уменьшению аутогенной усадки, но и повышению эффективности расширяющейся композиции.

В Республике Беларусь методы внутреннего увлажнения в настоящее время не применяются. В связи с этим в БрГТУ были проведены постановочные исследования собственных деформаций цементного камня, направленные на освоение этого перспективного технологического способа изготовления высокоэффективных бетонов. Основная задача исследований заключалась в проверке эффективности применения в качестве агента увлажнения керамзитового песка.

3. Постановочные исследования собственных деформаций цементного камня при использовании метода внутреннего увлажнения

Предметом исследований являлись деформации химической и аутогенной усадки, а также деформации свободного расширения цементного камня. Расчет количества дополнительной воды, необходимой для насыщения пористого заполнителя, выполнен исходя из соотношения, предложенного *O.M.Jensen* и *P.F. Hansen* [7].

Характеристики опытных серий образцов представлены в таблице 1.

Материалы для изготовления опытных образцов:

- Портландцемент ПЦ 500-Д0 (далее ПЦ);
- Напрягающий цемент (далее НЦ). Изготовлен совместным помолот портландцемента ПЦ500-Д0, глиноземистого цемента и двухводного гипса в соотношении ПЦ:ГЦ:Г = 75:14:11.
- Керамзитовый песок фракций (0,63...5)мм (далее КП). Водопоглощение керамзитового песка было установлено опытным путем и составило 12%. Выбор материала, применяемого для внутреннего увлажнения, обусловлен его доступностью на территории Республики Беларусь.

Таблица 1. Характеристики опытных серий образцов

Наименование серии	ПЦ	ПЦ+КП _В	НЦ	НЦ+КП _В
Состав вяжущего (ПЦ:ГЦ:Г)	100:0:0	100:0:0	75:14:11	75:14:11
В/Ц	0,3	0,3	0,3	0,3
(В/Ц) _{ЕНТ}	-	0,054	-	0,054
Состав насыщения	-	вода	-	вода
Условия хранения	изолированные			

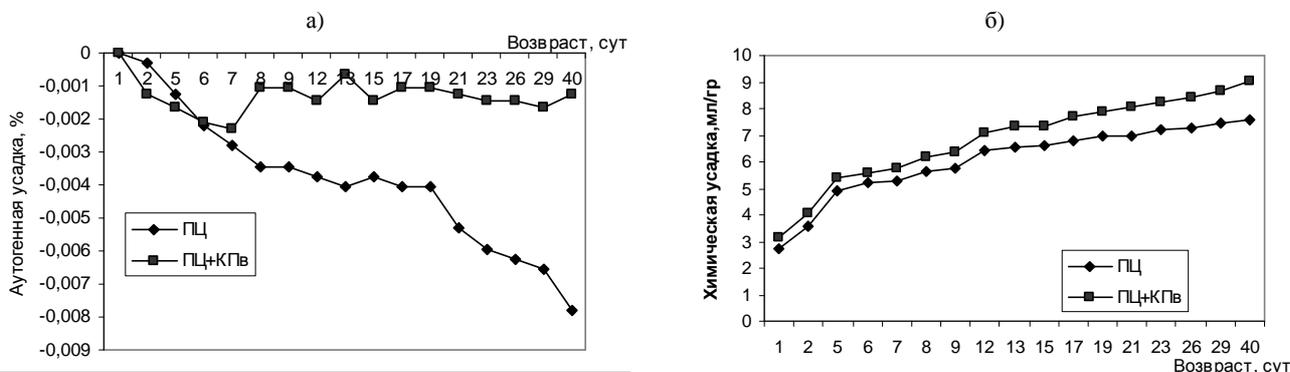


Рис. 1. Графики изменений аутогенной усадки (а) и химической усадки (б) портландцементного камня во времени

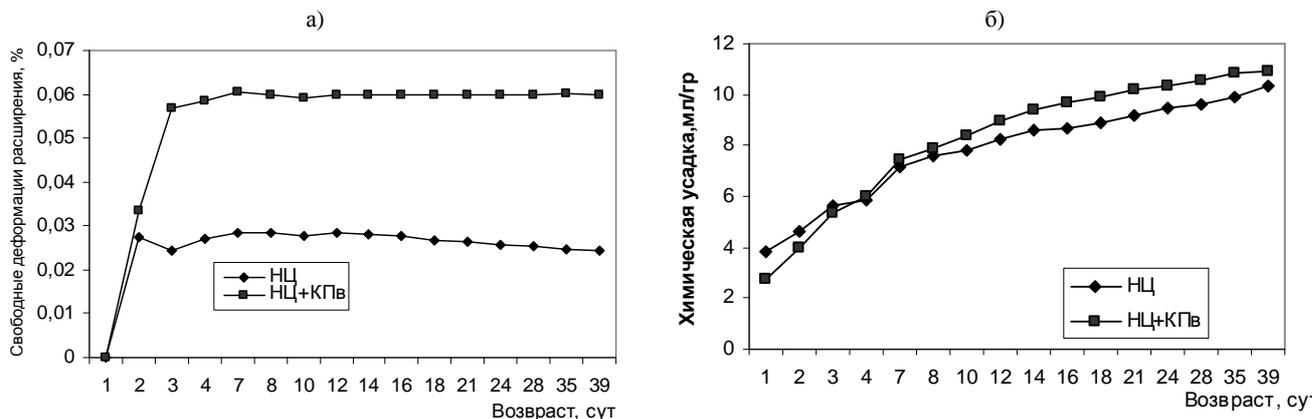


Рис. 2. Графики изменений во времени аутогенной усадки (а) и химической усадки (б) цементного камня на основе напрягающего цемента

Методика проведения испытаний

Деформации химической усадки определяли по изменению контракционного объема цементного теста в процессе твердения в соответствии с методикой, описанной в работе [5].

Деформации свободного линейного расширения и аутогенной усадки измеряли согласно [4] на образцах-призмах размерами 40×40×160 мм, твердеющих в изолированных условиях (отформованные образцы сразу после распалубки /спустя 1 сут./ покрывались парафином и полиэтиленовой пленкой).

Основные результаты испытаний

На рис. 1 представлены опытные зависимости изменения собственных деформаций во времени, полученные для портландцементного камня с применением предварительного насыщенного керамзитового песка, в сравнении с деформациями цементного камня на основе портландцемента без заполнителя. При замене портландцемента на напрягающий цемент были получены зависимости, представленные на рис.2.

Анализ результатов

В образцах серии ПЦ+КП_В наблюдалось снижение деформаций аутогенной усадки по сравнению с базовой серией ПЦ на протяжении всего периода твердения (в возрасте 29

суток разница составляет примерно 74%). Вместе с тем количество химически связанной воды в образцах серии ПЦ+КП_В было выше по сравнению с серией ПЦ также на протяжении всего периода твердения. Это подтверждает положение о миграции воды из предварительно насыщенного пористого заполнителя в поры твердеющего цементного камня, что в конечном итоге способствовало:

- интенсификации процесса гидратации, вследствие увеличения твердеющей цементной системой дополнительной воды для процесса гидратации (об этом свидетельствует увеличение химической усадки в образцах серии ПЦ+КП_В);
- снижению капиллярного давления в микропорах, вследствие постоянного притока воды в микропоры твердеющего цементного камня (об этом свидетельствует уменьшение аутогенной усадки в образцах серии ПЦ+КП_В).

Аналогичные результаты получены для серий на основе напрягающего цемента. Так, наблюдалось увеличение деформации расширения в образцах серии НЦ+КП_В по сравнению с базовой серией НЦ на протяжении всего периода твердения (в возрасте 28 суток увеличение составляет примерно 58%). Вместе с тем, количество химически связанной воды в образцах серии НЦ+КП_В также было выше по сравнению с серией НЦ, начиная с 6 суток твердения.

На основании полученных результатов можно сделать аналогичный вывод о наличии эффекта миграции воды, который в случае с напрягающим цементном способствовал не только снижению деформаций аутогенной усадки, но и увеличению деформаций расширения за счет роста степени гидратации цемента.

Таким образом, постановочные исследования подтвердили эффективность применения концепции внутреннего увлажнения для обеспечения необходимых условий твердения расширяющихся сульфоалюминатных цементных систем.

Следует обратить внимание, что наличие в структуре легкого заполнителя, наряду с обеспечением оптимальных влажностных условий твердения, существенно влияет и на прочностные характеристики бетона. Например, в выполненных постановочных исследованиях для достижения эффекта снижения деформаций усадки потребовалось значительное количество пористого заполнителя. Это связано с его низким водопоглощением (12% по массе) при достаточно высокой пористости. Как показали результаты исследований СЭМ, рис. 3, поры применяемого керамзитового песка отличаются замкнутой, преимущественно сферической формой, что осложняет их водонасыщение, поэтому большая часть пористости остается незадействованной в процессе внутреннего увлажнения, одновременно снижая плотность и прочность получаемой композитной структуры.

Проблема прочности бетонов, модифицированных агентами увлажнения, решается за счет повышения прочности цементной матрицы, подбором альтернативных материалов, которые могут быть использованы в качестве агентов увлажнения, применением более эффективных способов водонасыщения заполнителей и в целом – оптимизацией состава бетона.

Так, пористые заполнители, применяемые за рубежом (адсорбирующие полимеры, искусственные пористые заполнители, пемза производства Исландии, Греции и др.), характеризуются водопоглощением 17..70% [9], при этом их степень насыщения, как правило, близка к 80..100%. Для повышения степени насыщения, к примеру, израильские исследователи в ряде случаев заменяют длительное предварительное водное выдерживание пемзы ее кипячением [10]. В работах [8-9] исследовалась возможность снижения деформаций аутогенной усадки применением внутреннего увлажнения в комплексе с добавками, уменьшающими поверхностное натяжение жидкой фазы в порах цементного камня.

Результаты многочисленных исследований, полученные в США, Германии, Дании, Японии, и др. странах [6-7], показывают, что использование метода внутреннего увлажнения требует привлечения дополнительных материалов и технологий. В целом бетоны нового поколения представляют собой сложную композитную систему, модифицированную различ-

ными добавками, и для того, чтобы концепцию внутреннего увлажнения органично вписать в эту систему, необходимо разрабатывать обоснованные методы подбора рациональных составов бетона с учетом характеристик применяемых материалов. Следует отметить, что в большинстве работ не приводятся теоретические основы методов подбора состава бетонов с предварительно насыщенными заполнителями, и разрабатываемые составы предлагаются в виде готового продукта, который может быть получен только при использовании указанных в рецептуре материалов.

4. Основы расчета состава бетона при использовании метода внутреннего увлажнения

Как следует из представленных результатов исследований, эффективность применения пористого заполнителя определяется, с одной стороны, степенью увлажнения цементного камня, и с другой – возможностью обеспечить требуемые прочностные характеристики материала. При низком водоцементном отношении, а также при незначительном водонасыщении пористого заполнителя, его расчетная концентрация, необходимая для насыщения цементного камня водой, может быть нерационально высокой с точки зрения прочности получаемого композита. В этой связи рациональность применения данного пористого заполнителя следует контролировать по соблюдению системы условий:

- количество вводимого заполнителя должно обеспечивать компенсацию влаги, расходуемой на гидратацию,
- количество пористого заполнителя следует подбирать с учетом обеспечения требуемой интегральной жесткости (прочности) получаемой композитной структуры.

Очевидно, оптимальный расход заполнителя может принимать различные значения в зависимости от требований, предъявляемых к материалу. Например, обеспечение высокой прочности потребует ограничить количество добавляемого легкого заполнителя. Это, в свою очередь, может привести к повышению деформаций усадки, а допустимо ли такое поведение материала, будет определяться индивидуальными условиями эксплуатации материала.

На практике оптимизация состава бетона с учетом перечисленных факторов может оказаться весьма трудоемкой задачей. Поэтому ее решение целесообразно предварить разработкой обоснованной теоретической модели получаемой структуры и ее свойств.

Следует обратить внимание, что рассмотренные выше методы расчета количества добавляемой воды не обеспечивают достаточной точности при расчете концентрации пористого заполнителя, поскольку при определенном соотношении параметров пористости цементного камня и агента, часть воды, предназначенной для компенсации дефицита в цементном

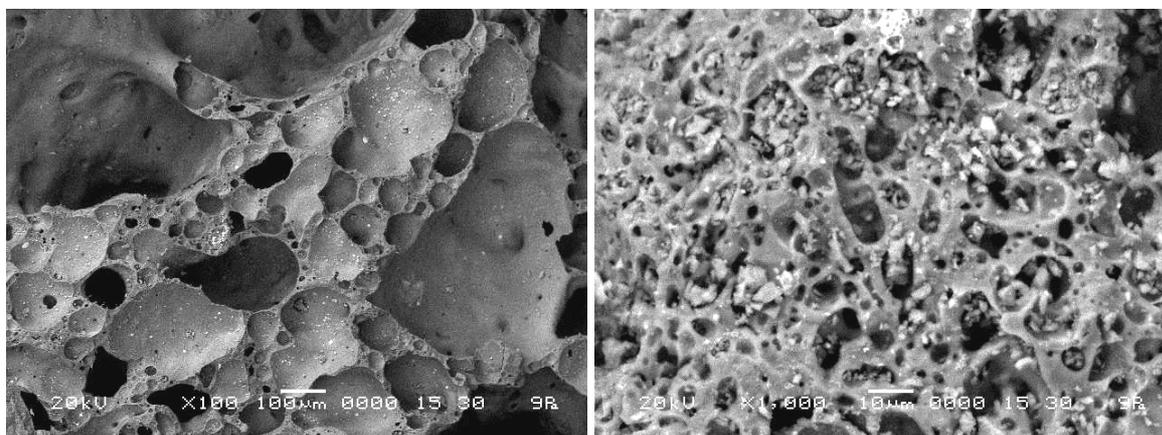


Рис. 3. Структура пористости керамзитового песка (увеличение $\times 100$, $\times 1000$)

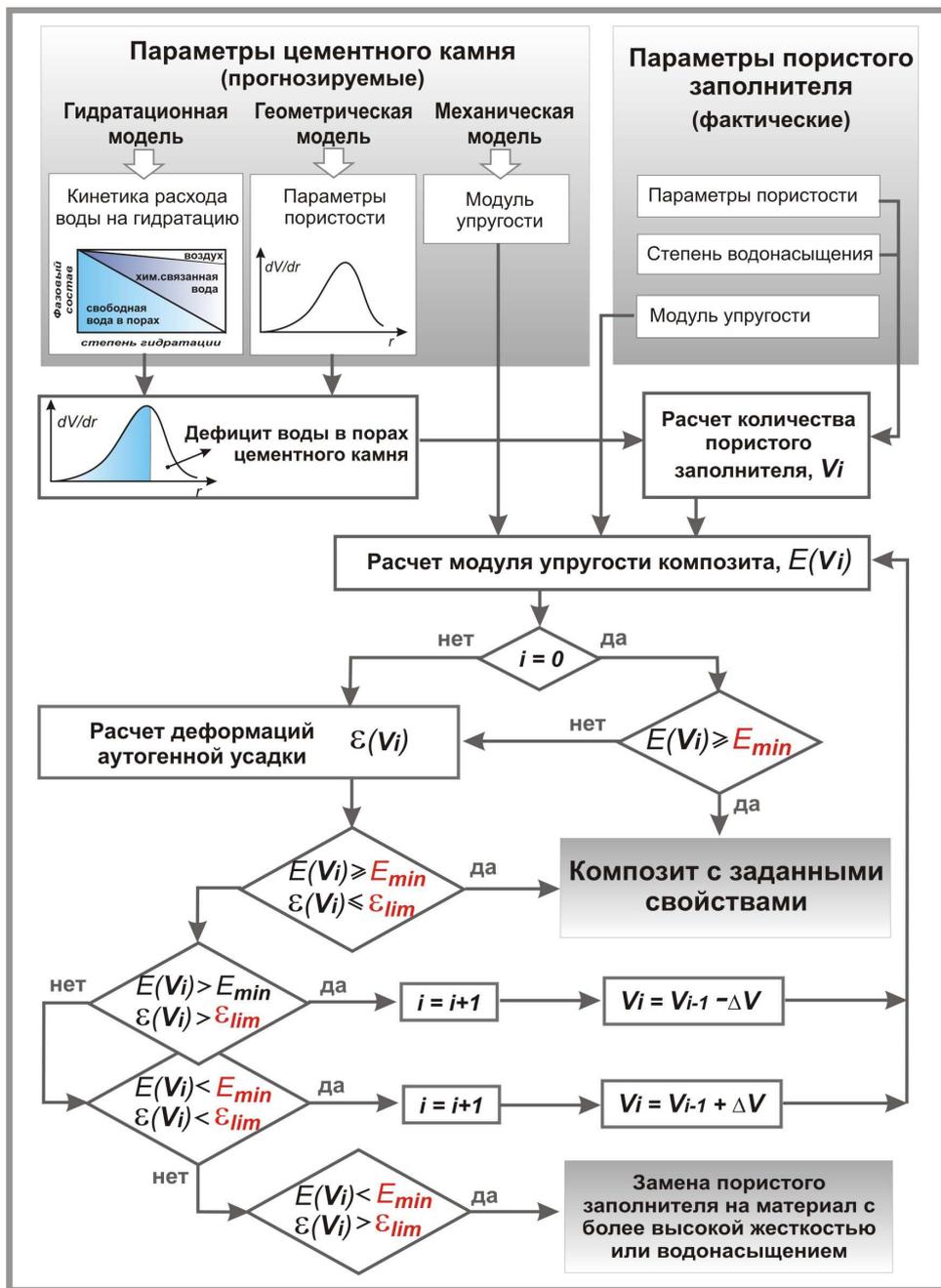


Рис. 4. Алгоритм расчета оптимального количества пористого заполнителя

камне, может оставаться в заполнителе. В основу расчета оптимального количества пористого заполнителя может быть положена модель гидратационного развития цементного камня [3], позволяющая рассчитать дефицит воды в твердеющей структуре, а также спрогнозировать параметры ее пористости, совместное рассмотрение которых с пористостью применяемого агента позволит сделать выводы о миграции влаги и ее перераспределении в структуре материала.

На рис. 4 представлен алгоритм расчета оптимальной концентрации предварительно насыщенного легкого заполнителя с учетом его фактических характеристик, прогнозируемых свойств цементного камня, а также требований, предъявляемых к получаемому в конечном итоге композитному материалу.

Алгоритм предполагает итерационную корректировку расхода пористого заполнителя, необходимую для обеспечения заданных требований к получаемому материалу (значений аутогенной усадки и модуля упругости). В первом при-

ближении, на основании совместного рассмотрения прогнозируемых характеристик цементного камня и фактических свойств керамзитового песка, рассчитывается его количество, необходимое для полной компенсации дефицита воды в порах цементного камня. Предполагается, что при этом деформация аутогенной усадки будут равна нулю. В случае, если не выполняется условие по обеспечению минимально допустимых прочностных характеристик ($E(V_i) \leq E_{min}$), количество пористого заполнителя V_i следует корректировать в зависимости от величины аутогенной усадки $\varepsilon(V_i)$ и модуля упругости $E(V_i)$, затем провести перерасчет их значений при новом количестве заполнителя и проверить выполнение двух условий: по обеспечению минимально допустимых прочностных характеристик ($E(V_i) \geq E_{min}$) и достижению предельного значения аутогенной усадки ($\varepsilon(V_i) \leq \varepsilon_{lim}$). Если данные условия не выполняются, необходимо продолжить корректировку коли-

чества пористого заполнителя до тех пор, пока назначенные условия не будут выполнены, или выполнение условий станет невозможным. В случае, когда получение композита с характеристиками, удовлетворяющими заданным требованиям по прочности и деформации при использовании данного вида пористого заполнителя, невозможно, необходимо обратиться к поиску других материалов, удовлетворяющих условиям расчета и требованиям, предъявляемым к бетону.

Заключение

Концепция внутреннего увлажнения является эффективным способом не только снижения деформаций усадки, но и повышения эффективности применения расширяющихся сульфоалюминатных композиций, предназначенных для компенсации усадочных деформаций или создания предварительного напряжения. Положительные результаты предварительных постановочных исследований показали возможность применения в качестве агента увлажнения керамзитового песка, производимого на территории Республики Беларусь. Однако для внедрения технологии внутреннего увлажнения в практику строительства необходимо развитие методов расчета состава бетона с предварительно насыщенным пористым заполнителем, позволяющих прогнозировать свойства композита с учетом индивидуальных характеристик материалов, применяемых в качестве агентов увлажнения. Обоснованной теоретической базой для разработки расчетных методик могут служить модели гидратационного развития цементного камня и структурно-механические модели бетона как композитного материала.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физико-химия собственных деформаций цементного камня. – Москва: Стройиздат, 1980. – 255с.

УДК 691: 674. 004. 8

Бибик М.С., Тулунов И.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ ВЛАЖНОСТИ ОПИЛКОБЕТОНА НА СМЕШАННОМ ВЯЖУЩЕМ И ЕЕ УЧЕТ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЕГО ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Введение

В последние годы проблема энергосбережения в строительной отрасли республики приобрела особую актуальность, что вызвано значительным ростом цен на энергоресурсы и тенденцией к их дальнейшему удорожанию. Это обусловило необходимость их всемерной экономии за счет повышения эффективности использования и снижения потерь энергоносителей.

В жилищном и других видах строительства это достигается путем повышения теплозащитных характеристик стенового материала наружных ограждающих конструкций, что обеспечивает снижение потерь тепловой энергии в окружающую среду и сокращение ее расхода на отопление зданий.

На предприятиях в строительной индустрии одним из основных направлений энергосбережения является сокращение расхода тепловой энергии на тепловлажностную обработку бетона на основе применения эффективных химических добавок и перехода на мягкие и термосные режимы с дальнейшим дозреванием в естественных условиях. В этой связи практический интерес представляет применение данного бетона в качестве утеплителя в ограждающих конструкциях пропарочных камер с целью снижения теплопотерь в окружающую

2. Шейкин А. Е., Чеховский Ю. В., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. – М., 1979. – 344 с., ил.
3. Филимонова Н.В., Тур В.В. Приложения к расчету базовых параметров обобщенной модели расширяющейся цементной системы// Вестник БГТУ. Архитектура и строительство. – 2006 г. – №1. – с.23-40.
4. СТБ 1335-2002 Цемент напрягающий. Технические условия.
5. Буров Ю.С., Колокольников В.С. Лабораторный практикум по курсу «Минеральные вяжущие вещества». – Москва: Стройиздат, 1967. – 172 с., ил.
6. Hoff G.C. The use of Lightweight fines for the internal curing of concrete.
7. Jensen O.M., Hansen P.F. Water-entrained cement-based materials. I – Principle and theoretical background// Cement and Concrete Research. – October, 2000.
8. Lura P., Bentz D., Lange D., Kovler K., Bentur A., K.van Breugel. Measurement of Water Transport from Saturated Pumice Aggregates to Hardening Cement Paste // Engineering Conferences International. Copper Mountain, CO, August 10-14, 2003, 89-99 pp., 2003.
9. Kovler K., Souslikov A., Bentur A. Pre-Soaked Lightweight Aggregates as Additives for Internal Curing of High-Strength Concretes// Cement, Concrete, and Aggregates. – Dec.2004, Vol.26, No.2.
10. Lura P. Autogenous deformation and internal curing of concrete // April, 2003.
11. Lura P., van Breugel K. Autogenous and drying shrinkage of high strength lightweight concrete at early eage – the effect of specimen size // April, 2003.

Статья поступила в редакцию 22.02.07

среду и повышения эффективности тепловлажностной обработки изделий.

1. Постановка задачи исследований

Экспериментами, выполненными авторами ранее, была установлена возможность получения легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона на цементно-известковом вяжущем и отходах деревообработки [1]. В дальнейшем было предусмотрено проведение исследований по изучению основных свойств данного бетона (средней плотности, остаточной влажности, прочности при сжатии) и кинетики их изменения во времени в процессе твердения.

Учитывая, что теплозащитные свойства и другие характеристики теплоизоляционных материалов в значительной степени предопределяются их влажностью, на первом этапе исследований авторами была поставлена задача по изучению и оценке кинетики изменения средней плотности и остаточной влажности легкого бетона на цементно-известковом вяжущем и отходах деревообработки (далее – опилкобетона на смешанном вяжущем) при твердении в воздушных условиях (при температуре 18...20°C и относительной влажности воздуха

Бибик Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, заслуженный работник промышленности Республики Беларусь, директор ОАО «Завод сборного железобетона №1».

Тулунув Иван Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий инженер ОАО «Завод сборного железобетона №1».