

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 созреванием 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».

60...70%) в различном возрасте от момента распалубки до достижения возраста 28 суток. Полученные результаты предусматривалось использовать для установления сроков достижения нормируемых значений отпускной и эксплуатационной влажности в зависимости от состава бетона и для оценки коэффициента теплопроводности данного материала в различном возрасте с учетом его остаточной влажности.

## 2. Методика проведения исследований

Оценку величины остаточной влажности и кинетики ее изменения во времени и учет ее влияния на теплозащитные свойства и, в частности, на величину коэффициента теплопроводности исследуемого материала осуществляли по следующей методике.

Отформованные бетонные образцы-кубы каждого из исследуемых составов размером 10×10×10 см по 6 штук каждого состава распалубивали в возрасте двух суток и выдерживали до достижения возраста 28 суток в воздушных условиях в лабораторном помещении при температуре 18...20°C и относительной влажности воздуха 60...70%. В течение всего периода выдерживания образцов производили их ежедневное взвешивание и по ГОСТ 12730.1-78 [2] определяли среднюю плотность бетона в состоянии естественной влажности. После достижения возраста 28 суток образцы высушивали до постоянной массы при температуре 105±5°C и в соответствии с ГОСТ 12730.2-78 [3] рассчитывали остаточную влажность бетона в различном возрасте – весовую «W<sub>В</sub>» и объемную «W<sub>Об</sub>» – по формулам:

$$W_B(n) = \left[ \frac{\rho_{вл}(n) - \rho_c}{\rho_c} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

и

$$W_{Об}(n) = W_B(n) \cdot \rho_c, \quad (2)$$

где  $\rho_{вл}(n)$  – средняя плотность бетона в состоянии естественной влажности в возрасте «n» суток, определяемая по результатам ежедневного взвешивания, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  – средняя плотность бетона, высушенного до постоянной массы, кг/м<sup>3</sup>.

Оценку изменения во времени коэффициента теплопроводности «λ» опилкобетона на смешанном вяжущем и отходах в зависимости от его остаточной влажности производили расчетным путем по формуле Б.Н. Кауфмана [4]. В данной формуле были использованы экспериментально установленные нами значения влажности бетона, а значения коэффициента «λ<sub>0</sub>» для данного материала в зависимости от его средней плотности в высушенном состоянии принимали по данным [5...9].

## 3. Исследование кинетики изменения во времени влажности опилкобетона на смешанном вяжущем и оценка ее влияния на коэффициент теплопроводности

Известно, что теплозащитные свойства и, в частности, теплопроводность капиллярно-пористых тел в значительной степени зависят от их влажности [4...9]. При увлажнении теплоизоляционных материалов их теплозащитные свойства резко ухудшаются, так как вода, замещающая в порах воздух, обладает теплопроводностью, намного большей, чем воздух. Например, при заполнении около 10% пор минеральной ваты или фенольного пенопласта водой теплопроводность при комнатной температуре увеличивается примерно вдвое [5]. Аналогичные данные приводятся и в работе [7] по влиянию влажности легкого бетона на пористых заполнителях на его теплопроводность. В частности, отмечается, что коэффициент теплопроводности воздуха в порах материала составляет 0,025 ... 0,029 Вт/м °С, а воды – 0,58 Вт/м °С, т.е. примерно в 20 раз больше. Поэтому теплопроводность легкого бетона при

увеличении его объемной влажности на 1% повышается на 0,011... 0,036 Вт/м °С.

По данным СНБ 2.04.01-97 [8], значения коэффициента теплопроводности арболита на порландцементе со средней плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>, в зависимости от его влажности составляют:

$$\text{при } W = 0 \quad \lambda = 0,16 \text{ Вт/м } ^\circ\text{С};$$

$$\text{при } W = 10\% \quad \lambda = 0,24 \text{ Вт/м } ^\circ\text{С};$$

$$\text{при } W = 15\% \quad \lambda = 0,30 \text{ Вт/м } ^\circ\text{С}.$$

Как видно из приведенных данных, значение коэффициента теплопроводности арболита с влажностью 10% в 1,5 раза, а с влажностью 15% – почти в 2 раза выше по сравнению с арболитом в высушенном состоянии.

Рядом исследователей предложены эмпирические формулы, устанавливающие зависимость коэффициента теплопроводности материала от его влажности. Б.Н. Кауфманом [4] предложена следующая формула:

$$\lambda = \lambda_0 \left[ 1 + \left( \frac{W_{Об} \Delta W}{100} \right) \right] \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности высушенного до постоянной массы материала, ккал/м·ч·°С;

$W_{Об}$  – объемная влажность материала, %, определяемая по формуле

$$W_{Об} = W_B \cdot \rho_c, \quad (2)$$

$W_B$  – весовая влажность, %;

$\rho_c$  – средняя плотность высушенного до постоянной массы материала, т/м<sup>3</sup>;

$\Delta W$  – прирост коэффициента теплопроводности при увеличении объемной влажности материала на 1%, ккал/м·ч·°С, определяемый по формуле:

$$\Delta W = A \rho_c^2 - B \rho_c + C, \quad (3)$$

где A, B и C – коэффициенты (A = 1,15; B = 6,05; C = 14,3) [6].

Во избежание ухудшения эксплуатационных характеристик и, в частности, теплозащитных свойств изделий и конструкций из арболита при воздействии влаги действующей нормативно-технической документацией регламентируется содержание влаги в данном материале. В частности, в соответствии с СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника» [8], допустимая влажность арболита на порландцементе в зданиях с нормальным и мокрым режимами воздуха помещений не должно превышать 15% по массе, а в зоне конденсации паров влаги в зимний период года максимально допустимое значение влажности должно быть не более 25%. Ограничивается также величина отпускной влажности и изделий из арболита: стандартом СТБ 1105-95 «Блоки стеновые из арболита для малоэтажного строительства. Технические условия» установлена предельно допустимая ее величина для блоков – не выше 25% [9].

Необходимость исследования кинетики изменения плотности и влажности в процессе твердения бетона разработанных нами составов была вызвана отсутствием данных по этому вопросу, поскольку все известные разработки выполнены на древесно-цементных композициях с применением в качестве заполнителя древесной дробленки. В рассматриваемом же в данной работе бетоне в качестве заполнителей были использованы древесные опилки и стружка, а в качестве вяжущего – цементно-известковое смешанное вяжущее.

Для проведения экспериментов были подобраны составы легкого конструкционно-теплоизоляционного опилкобетона на цементно-известковом вяжущем, приведенные в таблице 1.

В качестве составляющих бетона в экспериментах были использованы следующие материалы: порландцемент ПЦ500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы», известковый раствор ОАО «Минскжелезобетон», песок природный

Таблица 1. Составы бетона для проведения исследований

№ со-ста-ва	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона									В/Ц	В/Вяз	В/Д	V <sub>в</sub> /V <sub>д</sub>	$\frac{\rho_{смеси}}{\text{кг/м}^3}$	
	Цемент, кг	Известковый раствор, кг		Древ. заполнители (Д), кг		Химдобавки, % от массы цемента		Вода, л: <u>всего</u> в т.ч. в растворе хим.добавки							
		Всего	В том числе		Опилки	Стружка	ПВК								CaCl <sub>2</sub>
			Известь, кг	Песок, кг											
1	340	340	51	289	137	-	-	2,35	$\frac{473}{-}$	1,391	1,21	3,45	0,501	1300	
2	386	386	58	328	136	-	-	5,18	$\frac{418}{-}$	1,083	0,941	3,07	0,446	1358	
3	418	291	44	247	157	-	-	4,1	$\frac{418}{-}$	1,0	0,905	2,66	0,293	1300	
4	440	205	31	174	177	-	-	8,3	$\frac{440}{-}$	1,0	0,934	2,49	0,273	1300	
5	316	293	44	249	105	-	-	3,7	$\frac{316}{-}$	1,0	0,878	3,01	0,331	1042	
6	300	-	-	150	-	140	6,7	-	$\frac{340}{50}$	1,13	1,13	2,43	0,219	980	
7	300	-	-	150 (УД)	-	150	6,7	-	$\frac{350}{50}$	1,17	0,778	2,33	0,210	1010	
8	300	-	-	150 (ТМПГ)	-	150	6,7	-	$\frac{330}{50}$	1,1	0,733	2,2	0,198	975	

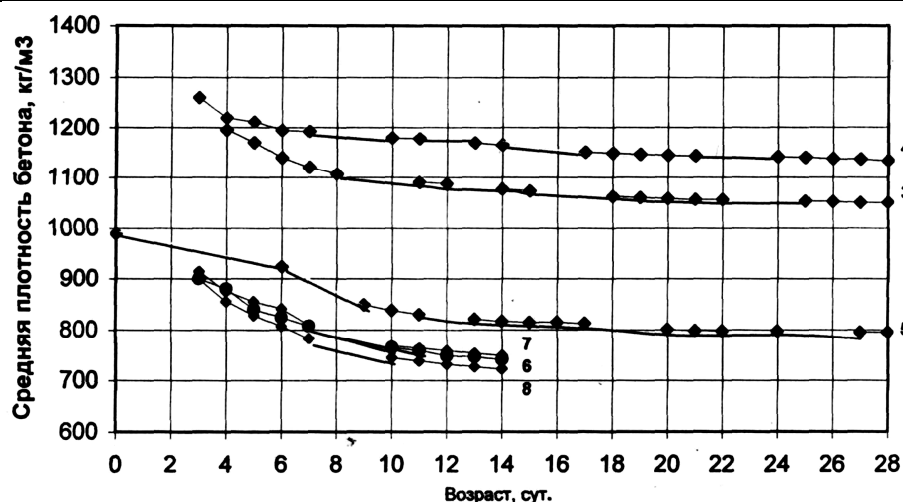


Рис. 1. Изменение средней плотности бетона с древесным заполнителем во времени при выдерживании в воздушных условиях (составы 3...5 – на смеси опилок со стружкой, 6...8 – на стружке)

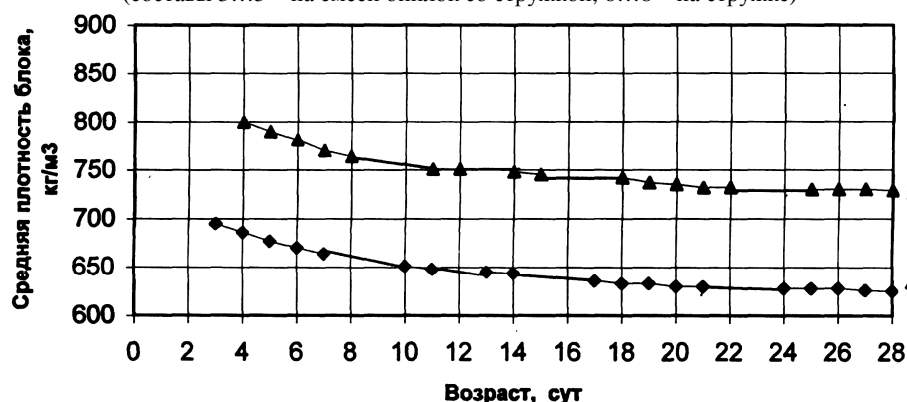


Рис. 2. Изменение средней плотности пустотных блоков из бетона с древесным заполнителем во времени при выдерживании в воздушных условиях (древесный заполнитель – смесь опилок со стружкой)

карьера «Крапужино» с влажностью 3%, а в составах №№ 7 и 8 – микрозаполнители – тонкодисперсный минеральный продукт газоочистки (ТМПГ) и утяжелитель доломитовый (УД) [10]. В качестве древесных заполнителей применяли отходы деревообработки с влажностью 5%: в смесях составов №№ 1 и 2 – древесные опилки, в смесях составов №№ 3...5 – смесь

опилок со стружкой при ее содержании 27%, в смесях составов №№ 6...8 – стружка. Для минерализации древесных заполнителей использовали полиметаллический водный концентрат (ПВК) [11] и хлористый кальций [12], которые одновременно являлись и ускорителями твердения.

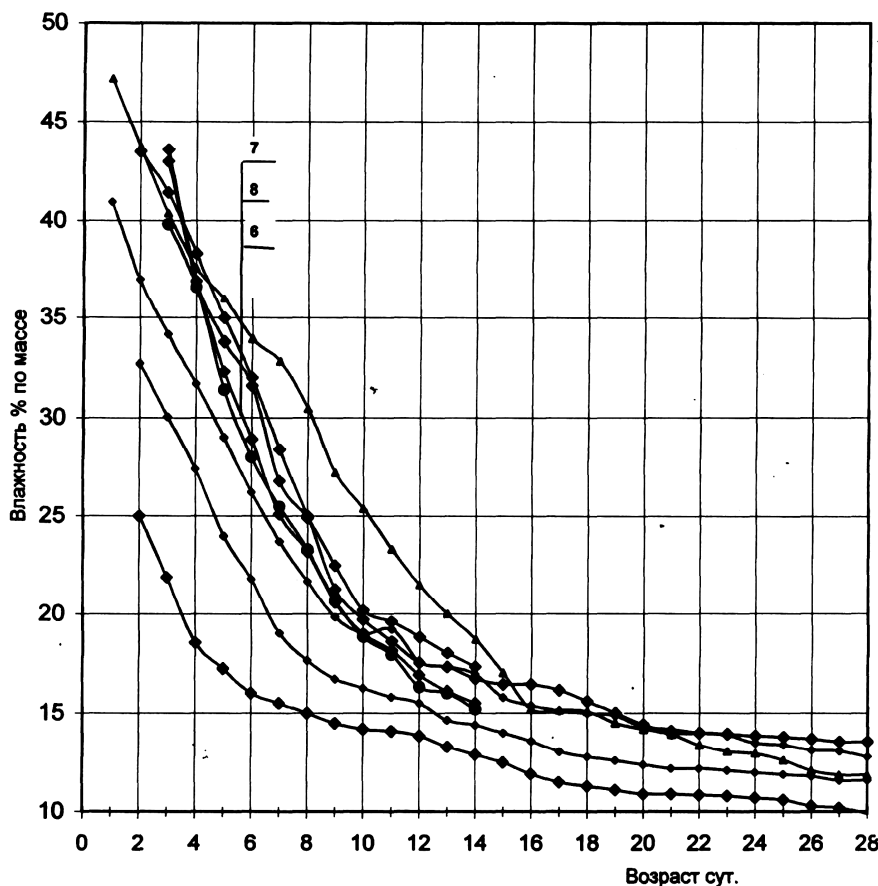


Рис. 3. Изменение влажности бетона с древесным заполнителем во времени при выдерживании в воздушных условиях (составы 1,2 – на опилках; 3...5 – на смеси опилок со стружкой; 6...8 – на стружке)

Водоцементное отношение исследуемых смесей находилось в диапазоне 1,0...1,391, водовязущее отношение – в диапазоне 0,733...1,21. Содержание цемента колебалось в пределах от 300 до 440кг, вязущего – от 360 до 471кг на 1м<sup>3</sup> смеси. Отношение количества воды затворения к количеству древесного заполнителя по массе (В/Д) варьировали в диапазоне 2,2...3,45, что соответствовало соотношению их по объему (V<sub>в</sub>/V<sub>д</sub>) 0,198...0,501.

Составы бетонных смесей назначались из условия получения бетона с прочностью при сжатии 2...3,5МПа и средней плотностью 700...1000кг/м<sup>3</sup>.

По аналогии с контрольными кубами была выполнена оценка кинетики изменения во времени средней плотности и влажности мелкоштучных вибропрессованных стеновых пустотных блоков размером 390x190x210 мм (пустотность блоков П<sub>бл</sub> = 17,5%), изготовленных из бетона составов 3 и 4 таблицы 1. Результаты экспериментов представлены на рисунках 1...3 и в таблице 2.

Анализ результатов экспериментов, представленных на рисунках 1...3, позволяют сделать вывод о том, что для контрольных образцов из бетонов всех исследованных составов и блоков, изготовленных из них, характер изменения (снижения) средней плотности и влажности во времени практически одинаков. Это соблюдается как для бетонов на опилках, так и для бетонов на стружке и на смеси опилок со стружкой.

Из приведенных данных по некоторым составам видно, что бетоны с более высокими значениями В/Ц, В/Д и V<sub>в</sub>/V<sub>д</sub> характеризуются большей остаточной влажностью. В частности, весовая влажность бетона состава №1 с В/Ц=1,391, В/Д=3,45 и V<sub>в</sub>/V<sub>д</sub>=0,501 в возрасте 2сут составляла 43,74%, объемная влажность – 40,5% в то время, как эти характеристики для бетона состава №3 с В/Ц=1,0, В/Д=2,66 и V<sub>в</sub>/V<sub>д</sub>=0,293 эти вели-

чины составляли 32,7 и 30,8% соответственно, т.е. были в 1,31-1,34 раза ниже. По мере увеличения возраста бетона эта разница снижается, а к возрасту 28суток эти значения практически выравниваются.

Рассматривая эти составы, необходимо отметить также, что бетон состава №1 с более высокими вышеупомянутыми характеристиками достигает регламентируемой отпускной весовой влажности 25% к 9-10 суткам, эксплуатационный весовой влажности 15% – к 15суткам, в то время, как бетон состава №3 достигает этих значений весовой влажности, соответственно, к 5 и 8 суткам, т.е. на 5-7 суток раньше.

Полученные данные позволяют при назначении составов легкого бетона на цементно-известковом вяжущем и отходах деревообработки (опилкобетона на смешанном вяжущем) учитывать изменение его влажности во времени с тем, чтобы уже на стадии подбора составов бетона обеспечить регламентируемые значения влажности.

Оценку изменения коэффициента теплопроводности во времени для исследуемых составов бетона в зависимости от изменения его влажности осуществляли расчетным путем по формулам (1) и (3). В зависимости (1) значения объемной влажности были получены путем пересчета экспериментальных значений весовой влажности по формуле (2).

В таблице 3 приведены расчетные значения коэффициента теплопроводности для исследуемых составов бетона для различного возраста. Полученные значения коэффициента λ позволяют судить об его изменении в процессе твердения исследуемого материала в воздушных условиях в зависимости от соотношения компонентов бетона и его остаточной влажности и учитывать это при назначении его состава.

#### 4. Аналитическая оценка кинетики изменения во времени средней плотности опилкобетона на смешанном вяжущем для прогнозирования его влажности в различном возрасте

Как было показано выше, для прогнозирования остаточной влажности исследуемого легкого бетона на смешанном вяжущем и отходах деревообработки в интересующем нас возрасте необходимо располагать значениями средней плотности высушенного бетона и бетона с естественной влажностью в этом возрасте. Очевидно, что если для получения первой характеристики достаточно выполнить одно взвешивание, то для получения второй характеристики для каждого интересующего нас возраста потребуется производить подобные взвешивания соответствующее число раз. В результате, для получения данных о кинетике снижения во времени остаточной влажности бетона потребуется выполнять постоянные взвешивания как для различного возраста, так и для различных составов бетона.

С целью прогнозирования искомой характеристики, на основании обработки и анализа полученных результатов нами была предложена аналитическая зависимость для расчетного определения средней плотности древесно-цементного бетона и стеновых блоков, изготовленных из этого материала в состоянии естественной влажности  $\rho_n^{вн}$  в любом возрасте (n) в диапазоне от момента распалубки до 28 суток:

Таблица 2. Кинетика изменения во времени влажности опилкобетона на смешанном вяжущем при твердении в воздушных условиях

Номер состава	$\rho^c$ кг/м <sup>3</sup>	В/Д	$V_B/V_D$	В/Ц	Числитель – весовая ( $W_B$ ), %, знаменатель – объемная влажность ( $W_{OB}$ ), %, бетона в возрасте, сут.								
					2	6	7	10	14	16	18	22	28
					1	926	3,45	0,501	1,391	43,74 40,5	33,95 31,44	32,83 30,4	25,38 23,5
2	1033	3,07	0,446	1,083	36,98 38,2	26,23 27,1	23,72 24,5	18,97 19,6	16,94 17,5	-	-	-	-
3	942	2,66	0,293	1,0	32,7 30,8	21,8 20,54	19,0 17,9	16,24 15,3	14,4 13,56	13,59 12,8	12,8 12,06	12,2 11,49	11,6 10,93
4	1032	2,49	0,2173	1,0	25,0 24,22	16,0 16,51	15,5 16,0	14,2 14,65	12,9 13,31	11,92 12,3	11,3 11,66	10,85 11,2	9,9 10,22
6	639	2,33	0,210	1,17	-	31,6 20,19	26,8 17,13	20,2 12,91	17,3 11,05	-	-	-	-
7	644	2,43	0,219	1,13	-	28,0 18,03	25,5 16,42	18,8 12,11	15,2 9,79	-	-	-	-
8	626	2,2	0,198	1,1	-	28,9 18,09	25,1 15,71	19,0 11,89	15,5 9,7	-	-	-	-

Примечание: Составы №№ 6...8 – бетон на стружке

Таблица 3. Расчетные значения коэффициента теплопроводности опилкобетона на смешанном вяжущем

№ состава	$\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda_0$ , Вт/м <sup>°C</sup>	Возраст бетона, сут.													
			7		10		14		16		18		28			
			$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>	$\frac{W_B}{W_{OB}}, \%$	$\lambda$ , Вт/м <sup>°C</sup>
4	1032	0,259	15,5 16,0	0,707	14,2 14,65	0,668	12,9 13,31	0,632	11,92 12,3	0,603	11,3 11,66	0,585	9,9 10,22	0,544		
1	926	0,195	32,83 30,4	0,862	25,38 23,5	0,712	18,68 17,3	0,575	15,2 14,08	0,505	15,08 13,96	0,501	11,88 11,0	0,437		
3	942	0,198	19,0 17,9	0,595	16,24 15,3	0,537	14,4 13,56	0,499	13,59 12,8	0,482	12,8 12,06	0,465	11,6 10,93	0,440		
5	700	0,140	28,4 19,88	0,484	19,71 13,8	0,379	16,71 11,7	0,342	16,43 11,5	0,339	15,6 10,92	0,329	13,57 9,5	0,304		
7	639	0,128	26,8 17,13	0,406	20,2 12,91	0,338	17,3 11,05	0,307	-	-	-	-	-	-		
6	644	0,129	25,5 16,42	0,307	18,8 12,11	0,327	15,2 9,79	0,289	-	-	-	-	-	-		
8	626	0,125	25,1 15,71	0,375	19,0 11,89	0,315	15,5 9,7	0,280	-	-	-	-	-	-		

$$\rho_n^{вл} = \rho_{нач}^{вл} \left( 1 - 0,15 \frac{\lg n}{\lg 28} \right), \quad (4)$$

где  $\rho_{нач}^{вл}$  – начальная средняя плотность древесно-цементного бетона (или блока) после распалубки, кг/м<sup>3</sup>, определяемая экспериментально; (ориентировочно может быть принята равной средней плотности бетонной смеси);

0,15 – эмпирический коэффициент;

n – возраст бетона, сутки.

В таблицах 4 и 5 и на рисунке 4 приведены экспериментальные и расчетные значения средней плотности бетона для кубов и блоков и величина относительной погрешности «Δ» расчетных значений, получаемых при зависимости (4).

Сравнение и анализ приведенных данных свидетельствует о том, что предложенная зависимость позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью определить значения средней плотности древесно-цементного бетона или блоков из него в интересующем нас возрасте от распалубки до 28 суток.

В этом заключается практическая значимость выполняемых исследований, поскольку использование полученных экспериментальных данных и предложенной расчетной зави-

симости позволяет прогнозировать отпускную и эксплуатационную влажность стеновых изделий из древесно-цементного бетона, регламентируемые действующими нормативными документами. Наряду с этим, данная зависимость может быть использована для ориентировочной оценки теплопроводности данного материала по формуле (1), что позволит прогнозировать его теплозащитные свойства. Одновременно результаты исследований позволяют учитывать вышеуказанные характеристики при назначении составов бетона.

### Заключение

1. Выполненные исследования позволили установить характер и произвести количественную оценку изменения во времени средней плотности и влажности опилкобетона на смешанном вяжущем при твердении в воздушных условиях (при температуре 18...20<sup>°C</sup> и относительной влажности воздуха 70...80%).
2. На основании полученных результатов экспериментов предложена эмпирическая зависимость для расчетного определения этих характеристик в интересующем нас возрасте бетона.

Таблица 4. Кинетика изменения во времени средней плотности опилкобетона на смешанном вяжущем при твердении в воздушных условиях и сравнение экспериментальных и расчетных значений

Возраст бетона (n), сут.	Номер состава бетона															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{б}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup> эксп расч.	$\Delta(\pm)$ , %
1	1363	-	1456	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1331 1321	-0,77	1415 1411	-0,29	1250 -	-	1265 -	-	990 -	-	-	-	-	-	-	-
3	1300 1265	-2,69	1386 1343	-3,1	1225 1189	-2,94	1258 1203	-4,37	950 941	-0,95	900 -	-	914 -	-	899 -	-
5	1255 1265	+0,79	1330 1351	+1,59	1168 1114	-4,66	1273 1236	-3,52	934 919	-1,61	846 835	-1,28	855 848	-0,82	828 834	+0,76
6	1237 1253	+1,26	1304 1338	+2,61	1147 1103	-3,85	1197 1156	-3,42	924 910	-1,54	824 827	+0,38	841 840	-0,12	807 826	+2,38
7	1225 1243	+1,47	1278 1288	+0,78	1121 1094	-2,37	1192 1147	-3,75	900 903	+0,32	808 821	+1,58	810 834	+2,96	783 820	+4,71
8	1208 1206	-0,17	1257 1319	+4,94	1108 1087	-1,88	1190 1146	-3,70	875 897	+2,51	-	-	-	-	-	-
9	1178 1228	+4,25	1238 1312	+5,97	1100 1126	+2,39	1185 1140	-3,80	849 892	+5,06	-	-	---	-	-	+4,25
10	1161 1193	+2,46	1229 1265	+2,93	1095 1120	+2,28	1179 1127	-4,40	838 887	+5,85	765 806	+5,41	768 819	+6,63	745 806	+8,12
11	1142 1216	+6,46	1223 1299	+6,19	1091 1070	-1,89	1178 1122	-4,74	830 883	+6,4	759 803	+5,77	764 815	+6,71	739 802	+8,53
14	1099 1173	+6,73	1208 1243	+2,9	1078 1157	-1,93	1165 1108	-4,87	817 872	+6,76	742 793	+6,86	750 805	+7,36	723 792	+9,54
21	1055 1148	+8,82	1177 1257	+6,76	1057 1036	-2,02	1144 1086	5,10	798 854	+7,06	-	-	-	-	-	-
27	1040 1161	+11,6	1168 1241	+6,21	1051 1022	-2,72	1137 1072	-5,72	795 843	+6,1	-	-	-	-	-	-
28	1036 1131	+9,17	1165 1245	+6,86	1051 1020	-2,95	1134 1069	-5,73	795 842	+5,85	-	-	-	-	-	-
$\rho_{\text{сух}}$ , кг/м <sup>3</sup>	926		1033		956		1040		700		644		639		626	

Таблица 5. Кинетика изменения во времени средней плотности пустотных мелкоштучных стеновых блоков из опилкобетона на смешанном вяжущем при твердении в воздушных условиях и сравнение расчетных значений с экспериментальными

Возраст, сут.	Номер состава (из таблицы 1)					
	3			4		
	$\rho_{\text{бл}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup>		$\Delta(\pm)$ , %	$\rho_{\text{бл}}^{\text{вл}}$ , кг/м <sup>3</sup>		$\Delta(\pm)$ , %
	Эксп.	Расч.		Эксп.	Расч.	
3	-	-	-	695	-	-
4	800	-	-	686	652	-4,96
5	790	743	-6,03	677	645	-4,73
6	781	735	-6,23	670	639	-4,67
7	770	730	-5,25	664	634	-4,54
8	764	725	-5,13	-	-	-
11	751	714	-4,98	648	620	-4,33
14	748	705	-5,78	644	612	-4,92
18	742	696	-6,20	633	605	-4,48
21	732	690	-5,68	630	600	-4,80
25	730	684	-6,30	628	594	-5,38
27	730	682	-6,52	626	592	-5,41
28	729	680	-6,72	625	591	-5,44

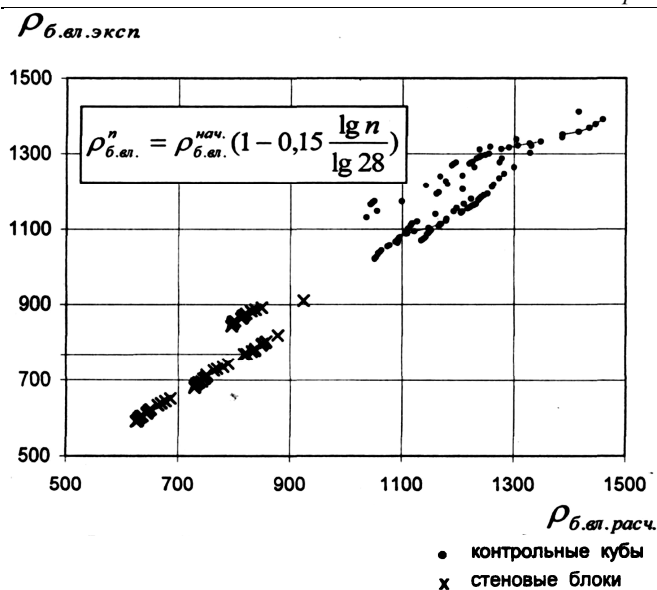


Рис. 4. Соотношение экспериментальных и расчетных значений средней плотности контрольных кубов и стеновых блоков из бетона на древесных заполнителях

- Предложенная зависимость в сочетании с формулой Б.Н. Кауфмана обеспечивает возможность ориентировочной оценки величины коэффициента теплопроводности данного материала в различном возрасте с учетом его остаточной влажности.
- Полученные результаты и предложенная зависимость позволяют решать практические вопросы технологии опилкобетона на смешанном вяжущем по назначению его составов с учетом нормируемых значений отпускной и эксплуатационной влажности и теплозащитных характеристик при использовании данного бетона как в качестве стенового материала в жилых домах, так и в качестве теп-

лоизоляционного материала в ограждающих конструкциях пропарочных камер для снижения теплопотерь при термовлажностной обработке изделий на предприятиях стройиндустрии.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бибик М.С., Тулупов И.И., Возможности получения легкого бетона на цементно-известковом вяжущем и отходах деревообработки // Строительная наука и техника, 2005 – №3. – С.23-25.
- ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности.
- ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Методы определения влажности.
- Кауфман Б.Н. Теплопроводность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1955.
- Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов: Учебник для обучения рабочих на производстве. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 15-16.
- Дмитрович А.Д. Теплозащитные свойства строительных материалов и конструкций. – Мн.: Издательство «Беларусь», 1963. – С. 46-47.
- Бурлаков Г.С. Технология изделий из легкого бетона: Учеб. пособие для вузов по спец. «Производство строит. изделий и конструкций». – М.: Высш. шк., 1986. – 75 с.
- СНБ 2.04.01-97. Строительная теплотехника.
- СТБ 1105-95. Блоки стеновые из арболита для малоэтажного строительства. Технические условия.
- Провести исследования, разработать и внедрить рекомендации по применению в строительстве вторичных продуктов промышленных предприятий Беларуси: Отчет о НИР (заключит.) / Белор. национ.техн. универс.; Рук. темы Н.П. Блещик - № ГР 19983900. – Минск, 2002. – 439с.
- СТБ 1113-98 Полиметаллический водный концентрат для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Введен 01.01.99 Мн: ГП «Минсктипроект».
- ГОСТ 450-77 с изм. 1,2,3. Кальций хлористый кальцинированный. Технические условия.

Статья поступила в редакцию 17.02.07

УДК 519.213/.22:519.248:624.078.7

Марковский Д.М.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЛИБРОВКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ В РАМКАХ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АНКЕРОВ

### Введение

Вопрос анкерования строительных элементов в бетоне, особенно анкеровки металлических колонн в бетонном основании, давно стал актуальным в задачах проектирования и строительства. Этот вопрос, однако, стали обходить нормы проектирования стальных и бетонных конструкций, и возможно потому, что стальные анкера в бетоне формируют поверхность раздела между двумя материалами и не входят полностью в область применения каких-либо из этих норм.

Традиционно анкера применяются в качестве конструктивных элементов или при эксплуатации сооружения (например, для закрепления технологического оборудования). Новые технологии возведения железобетонных монолитных зданий требуют применения анкеров уже на стадии возведения конструкций для поддержания опалубки и средств подмащивания, т.е. в качестве временных конструктивных элементов. Среди таких именно анкера для опалубки получили в настоящее время

наиболее широкое применение (для фиксации положения односторонней опалубки, для навешивания подмостей и закрепления лесов на наружной стене здания).

Настоящая статья направлена на уточнение методики расчета несущей способности анкеров в монолитном бетоне. В основу расчета положена методика CCD (concrete capacity design) (Fuchs, Eligehausen, Breen 1995 [1]), поскольку многими исследователями была доказана ее адекватность и хорошая сходимость с экспериментальными данными. Главным препятствием на пути принятия данной методики является вопрос обеспечения надежности расчетов. Существует две основные причины невозможности прямого использования оригинальной методики:

1) Система частных коэффициентов безопасности, принятая в белорусских нормативных документах, отличается от системы, принятой в США и Германии, где была разработана данная методика.

Марковский Дмитрий Михайлович, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

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