

Рис. 3. Вероятность сохранения рентабельности по трем сценариям в зависимости от ее текущего значения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. Пер. с англ. Под ред. И.А. Ушакова. – М.: «Сов. радио», 1974.
2. Ковалев В.В. Финансовый анализ. Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. – М.: Финансы и статистика, 1997 – 512 с.
3. Кузнецов В.Е. Измерение финансовых рисков// Банковские технологии, 1997 - №7, с. 76.
4. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981 – 384 с.

УДК 691.4:536.486

Никитин В.И., Бацкель-Бжозовска Б.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИКИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Долговечность капиллярно-пористых строительных материалов, эксплуатируемых в условиях воздействия влажной среды, в значительной мере обусловлена капиллярными явлениями, имеющими место в тонких порах этих материалов. В строительной керамике с помощью показателей, отражающих явление капиллярного впитывания (капиллярного поднятия) жидкости, можно оценить морозостойкость ее изделий, как это сделано, например, в работах [1, 2]. При характеристике явления капиллярного впитывания жидкости часто используется так называемый коэффициент сорбции воды A [3, 4, 5 и др.], который для каждого конкретного материала определяется по экспериментальным данным. С помощью этого коэффициента можно вычислять коэффициенты переноса жидкой влаги и активную пористость материала, которая участвует в капиллярном впитывании влаги, а также решать другие задачи.

Характер пористости и, следовательно, значения коэффициента сорбции воды зависят от состава керамической массы и технологических параметров изготовления изделий. Поэтому, изменяя технологические параметры, можно целенаправленно изменять значения коэффициента сорбции воды. Для этого необходимы соответствующие количественные оценки, которые в настоящее время практически отсутствуют. В данной работе для образцов, изготовленных из керамической массы одинакового состава, выполнена экспериментально-

статистическая оценка влияния максимальной температуры обжига на коэффициент сорбции воды, активную пористость и условный средний радиус ее пор.

2. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При экспериментировании использовались изготовленные в лабораторных условиях по существующим методикам испытания глинистого сырья керамические образцы в виде прямоугольных параллелепипедов, усредненные размеры которых составляли 4,8 x 4,8 x 23 см. Сырьевая смесь содержала 85% (по массе сухого вещества) легкоплавкой глины месторождения «Левково Старе» и 15% кварцевого песка. Характеристика этого сырья приведена в работе [6].

Сформованные пластическим методом 12 образцов после естественной сушки обжигались в электрической печи. Одновременно в печи находились четыре образца. Максимальная температура обжига образцов достигала 950, 1000, 1050 °С. При этом скорость подъема температуры в печи до максимального значения составляла 2 °С/мин. С такой же скоростью происходило охлаждение печи после двухчасовой выдержки образцов при максимальной температуре обжига. После определения плотности керамического материала ρ поверхности пяти граней высушенных образцов покрывались слоем парафина и замерялась начальная масса m_0 . Затем каждый образец устанавливался вертикально в кювету с дистиллированной водой и через поверхность нижней

Бацкель-Бжозовска Беата, магистр-инженер Политехники Белостоцкой, Республика Польша.

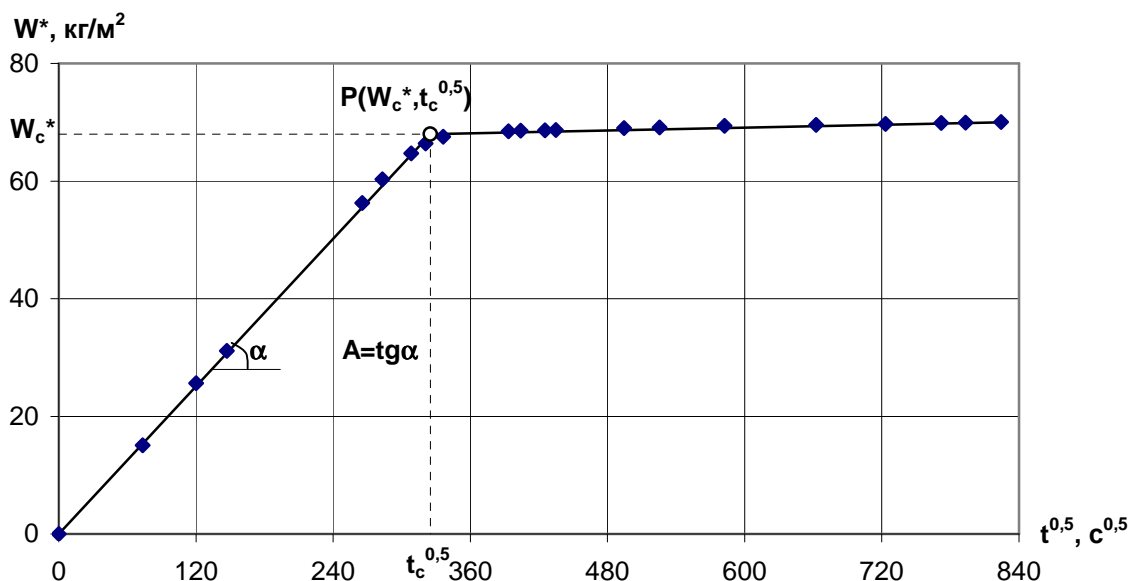


Рис. 1.

незащищенной парафином грани образца происходило капиллярное впитывание влаги. Глубина погружения нижней грани образца в воду не превышала 1 см. Изменение массы образцов во времени $\Delta m_t = m_t - m_0$ отслеживалось весовым методом с точностью до 0,01 г.

При проведении опытов следует обратить внимание на выбор значения высоты испытываемых образцов h . Для более точной оценки коэффициента сорбции воды A керамического изделия она должна быть сопоставима с максимальным размером этого изделия, и одновременно быть меньше максимальной высоты капиллярного подъема воды. При таком подходе продолжительность капиллярного впитывания воды t_c и, следовательно, одного опыта будет наибольшей. С целью сокращения продолжительности опытов можно уменьшить высоту испытываемых образцов. Так, при уменьшении высоты образца в два раза продолжительность капиллярного подъема воды до верхней грани образца сократится примерно в четыре раза. Однако при чрезмерном уменьшении высоты образцов получаемые оценки коэффициента A могут иметь очень большие погрешности. Более подробно данный вопрос обсуждается, например, в работе [4]. В нашем случае специальным исследованием было установлено, что выбранная высота образцов $h = 23$ см, обожженных при температурах 950, 1000 и 1050 °С, не превышает максимальной высоты капиллярного подъема воды.

С целью определения коэффициента сорбции воды A каждое замеренное значение приращения массы приводилось к единице площади поперечного сечения образца $W^* = \Delta m_t / S$ (где S – площадь поперечного сечения образца), и строился график, который наглядно показывал зависимость величины W^* от времени t в степени 0,5 ($t^{0.5}$). В качестве примера на рис. 1 приведены результаты реализации такой процедуры для одного из четырех образцов, подвергшихся нагреву в печи до температуры 1000 °С.

Из рис. 1 видно, что в рассмотренных координатах процесс увеличения влагосодержания образца с некоторыми погрешностями может быть описан уравнениями двух прямых, имеющих различные угловые коэффициенты и пересекающихся в точке $P(W_c^*, t_c^{0.5})$, и соответственно разделен на два основных этапа. В общем случае левая прямая, имеющая

большой угловой коэффициент, может не проходить через начало координат и иметь точку пересечения с горизонтальной осью координат $P_0(0, t_0^{0.5})$. Как отмечается в работе [4], это связано с тем, что в первый-другой десяток секунд процесс капиллярного впитывания имеет фазу адаптации.

На первом основном этапе изучаемого процесса происходит довольно быстрое капиллярное поднятие жидкости, которое прекращается после того, как фронт воды достигнет верхней грани образца. При этом масса воды W_c , поглощенная единицей объема сухого материала в результате капиллярного впитывания, определяется из соотношения

$$W_c = W_c^* / h, \tag{1}$$

где h – высота образца. Эта масса воды в единице объема материала займет объем

$$\Psi_c = W_c / \rho_w, \tag{2}$$

где ρ_w – плотность воды.

После прекращения процесса капиллярного впитывания воды наблюдается очень медленное увеличение влагосодержания материала. Считается [4, 7], что это явление связано с растворением в воде воздуха из пор, которые не участвовали в процессе капиллярного впитывания воды.

Коэффициент сорбции воды A определяется как тангенс угла наклона прямой, проведенной через опытные точки периода капиллярного впитывания воды к горизонтальной оси координат $0t^{0.5}$. По данным рис. 1 найдено $A = 0,2$ кг/м²·с^{0,5}. Необходимо отметить, что опытные точки хорошо ложатся на прямую тогда, когда пористость образцов в направлении капиллярного подъема воды достаточно однородна. Так, данные работ [8, 9] свидетельствуют о том, что слоистость и трещиноватость керамических изделий существенно влияют на значения коэффициента A .

Поскольку активная пористость керамического материала Φ_a учитывает только объем пор, заполненных водой в результате капиллярного впитывания, то объемное влагосодержание материала Ψ_c и активная пористость Φ_a имеют одинаковые значения. Следовательно

$$\Phi_a = \Psi_c = W_c / \rho_w. \tag{3}$$

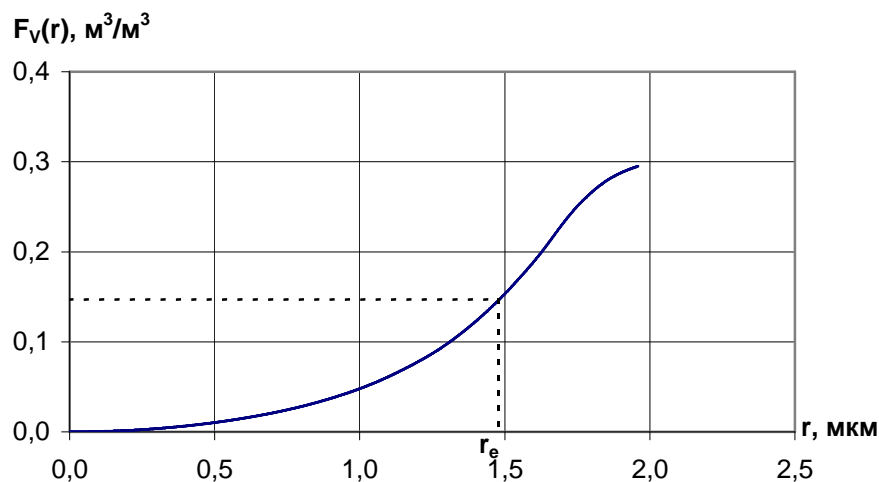


Рис. 2. Интегральная функция распределения объема пор по радиусам для керамического образца плотностью 1803 кг/м³.

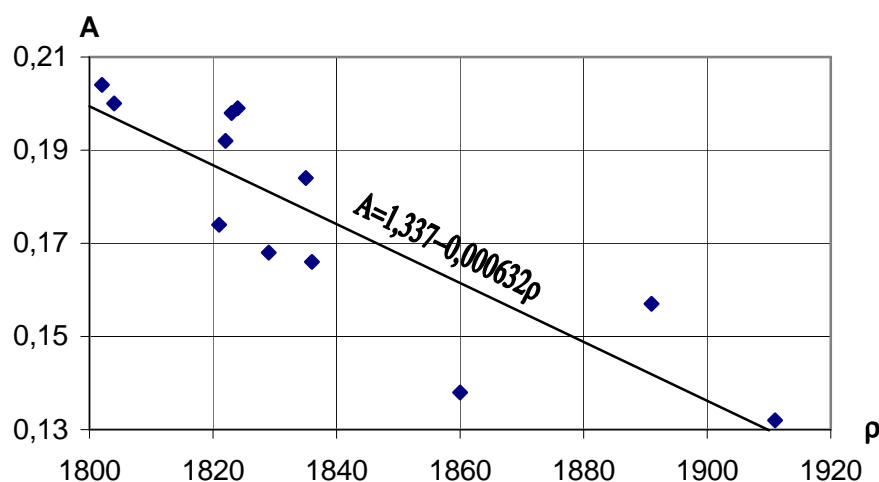


Рис. 3. Зависимость между коэффициентом сорбции воды A и плотностью ρ керамических образцов.

Для рассматриваемого образца $W_c = 288$ кг/м³. Тогда $\Phi_a = 0,288$ м³/м³. С другой стороны Φ_a можно вычислить по формуле

$$\Phi_a = \frac{A(t_c^{0.5} - t_0^{0.5})}{\rho_w \cdot h} \quad (4)$$

Для определения условного среднего радиуса капилляр активной пористости Φ_a использовалась разработанная нами экспериментально-вычислительная методика [10]. С помощью этой методики вычислялись значения интегральной функции распределения объема пор по радиусам $F_V(r)$ и строился ее график. По медиане этого распределения графически устанавливалось значение условного среднего радиуса пор r_e . Пример определения радиуса r_e для вышеупомянутого керамического образца (см. рис. 1) рассмотрен на рис. 2, из которого следует, что $r_e = 1,48$ мкм.

3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Первоначально выполнялся корреляционный анализ полученных выборочных данных, в результате которого были выявлены две статистически значимые корреляционные зависимости. Наиболее тесно между собой оказались связанными

случайные величины A (коэффициент сорбции воды) и ρ (плотность керамического материала). Общая картина их взаимной изменчивости в виде корреляционного поля, включающего $n = 12$ точек, изображена на рисунке 3.

По этим 12 парам данных был определен эмпирически коэффициент линейной корреляции

$$r = -0,859,$$

а также найдены оценки коэффициентов приближенной прямой регрессии:

$$b_0 = 1,337 \text{ и } b_1 = 0,632 \cdot 10^{-3}.$$

В результате уравнение линии регрессии A по ρ имеет вид:

$$\hat{A} = 1,337 - 0,000632\rho. \quad (5)$$

При проверке гипотезы о значимости связи между случайными величинами A и ρ было принято, что их совместное распределение в генеральной совокупности является нормальным. В этом случае эмпирический коэффициент корреляции r значимо отличается от нуля, если статистика [11]

$$t_s = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} > t_{\alpha, \nu}, \quad (6)$$

Таблица 1. Индивидуальные и средние значения коэффициента сорбции воды A ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5}$), активной пористости Φ_a ($\text{м}^3/\text{м}^3$) и условного среднего радиуса пор r_e (мкм) керамических образцов

Номер образца в выборке	Максимальная температура обжига (°C)								
	950			1000			1050		
	A	Φ_a	r_e	A	Φ_a	r_e	A	Φ_a	r_e
1	0,168	0,300	0,72	0,157	0,280	1,05	0,132	0,206	2,20
2	0,174	0,287	1,55	0,204	0,305	2,66	0,138	0,247	1,25
3	0,198	0,306	2,17	0,200	0,290	1,47	0,184	0,259	1,93
4	0,192	0,291	1,48	0,199	0,281	1,18	0,166	0,248	1,14
Средние значения выборок (столбцов)	0,183	0,296	1,48	0,190	0,289	1,59	0,155	0,240	1,63

Таблица 2. Дисперсионный анализ данных таблицы 1 для коэффициента A

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений
Температура	$SST=2744 \cdot 10^{-6}$	2	$MST=1372 \cdot 10^{-6}$
Случайная ошибка	$SSE=3858 \cdot 10^{-6}$	9	$MSE=428,7 \cdot 10^{-6}$
Общий	$SSC=6602 \cdot 10^{-6}$	11	

где $t_{\alpha, \nu}$ – критическое значение распределения t -Стьюдента с $\nu = n - 2$ степенями свободы, соответствующее уровню значимости α .

Оказалось, что при обычно принимаемом в инженерных исследованиях уровне значимости $\alpha = 0,05$, имеем неравенство

$$t_3 = 5,307 > 2,228 = t_{0,05;10},$$

которое выполняется и при $\alpha = 0,01$, а также $\alpha = 0,001$. Поэтому значимость связи между случайными величинами A и ρ не вызывает сомнений.

Отметим, что регрессию (5) характеризует довольно близкое к единице значение коэффициента детерминации $R^2 = r^2 = 0,738$. Статистическая интерпретация этого результата означает, что изменение значений коэффициента A керамических образцов на 74% объясняется изменением значений их плотности ρ . Есть основания для рассмотренного керамического материала использовать регрессию (5) для прогнозирования A по ρ .

Кроме того, была установлена еще одна статистически значимая корреляционная зависимость между активной пористостью керамических образцов Φ_a и их плотностью ρ . Эту зависимость характеризует отрицательный коэффициент парной корреляции $r = -0,747$, который значимо отличается от нуля на уровнях значимости $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$ и показывает, что с увеличением плотности керамических образцов их активная пористость уменьшается. Такая статистическая зависимость отражает хорошо известный эффект процесса спекания керамической массы при обжиге. Изменение средних значений \bar{A} , $\bar{\Phi}_a$, $\bar{\rho}$ от температуры обжига показывает, что для рассмотренной керамической массы процесс спекания происходит наиболее интенсивно при температурах выше 1000 °C.

Зависимость между коэффициентом A и пористостью Φ_a статистически не оценивалась, так как она определяется соотношением (4).

Как уже отмечалось, основной целью данной работы является статистическая оценка наличия или отсутствия влия-

ния максимальной температуры обжига на значения характеристик керамических образцов A , Φ_a и r_e . Такое исследование может быть выполнено с использованием различных статистических методов. В данном случае ставилась задача сравнения средних значений $\bar{A}(T)$, $\bar{\Phi}_a(T)$ и $\bar{r}_e(T)$, определенных по n -элементным выборкам ($n = 4$) для трех уровней температуры обжига T (950, 1000 и 1050 °C). После выявления статистически значимых различий между выборочными средними можно говорить о наличии влияния температуры (фактора) на изучаемые характеристики. При сравнении средних из более чем двух независимых выборок целесообразно использовать дисперсионный анализ.

Анализируемые данные величин A , Φ_a и r_e представлены в таблице 1. Результаты реализации вычислительной процедуры однофакторного дисперсионного анализа для коэффициента сорбции воды A приведены в таблице 2. В этой таблице рассчитаны значения средних квадратов отклонений MST (для температуры) и MSE (для ошибки), соотношение между которыми позволяет сделать статистический вывод о влиянии температуры обжига на коэффициент A .

Из таблицы 2 находим расчетное F -отношение

$$F = \frac{MST}{MSE} = \frac{1372 \cdot 10^{-6}}{428,7 \cdot 10^{-6}} = 3,20$$

и сравниваем его с критическим значением $F_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$, найденным в таблицах F -распределения при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,10$ и степенях свободы $\nu_1 = 2$ (для MST) и $\nu_2 = 9$ (для MSE). Имеем $F_{0,10;2;9} = 3,01$.

Так как $F = 3,20 > 3,01 = F_{0,10;2;9}$, то можно считать (с вероятностью совершения ошибки, равной 0,10), что изменение максимальной температуры обжига в диапазоне от 950 до 1050 °C статистически значимо влияет на коэффициент сорбции воды A рассмотренных керамических образцов и не менее чем для одной пары средних значений этого коэффициента имеет место существенная разница.

Чтобы выяснить, какие из пар средних значений коэффициента A имеют статистически значимую разницу, была

Таблица 3. Дисперсионный анализ данных таблицы 1 для пористости Φ_a

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений
Температура	SST=7448·10 ⁻⁶	2	MST=3724·10 ⁻⁶
Случайная ошибка	SSE=2254·10 ⁻⁶	9	MSE=250,4·10 ⁻⁶
Общий	SSC=9702·10 ⁻⁶	11	

использована процедура, основанная на определении наименьшей значимой разницы НЗР по формуле [11]

$$HЗР = t_{\alpha, \nu} \sqrt{MSE \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}, \quad (7)$$

где $t_{\alpha, \nu}$ – критическое значение распределения t -Стьюдента при выбранном уровне значимости α и числе степеней свободы ν , которое имел средний квадрат отклонений MSE ; n_i и n_j – численность выборок, по которым определены средние значения коэффициента A .

Если для двух средних выполнено неравенство

$$|\bar{A}_i - \bar{A}_j| \geq HЗР, \quad (8)$$

то считается, что разница между теми средними является статистически значимой.

В нашем случае имеем:

$$\alpha = 0,10; \quad \nu = 9; \quad t_{0,10;9} = 1,833; \quad MSE = 428,7 \cdot 10^{-6};$$

$$n_i = n_j = 4 \quad (i \neq j).$$

Тогда

$$HЗР = 1,833 \sqrt{428,7 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)} = 0,027.$$

При таком значении $HЗР$ неравенство (8) выполнено для двух пар средних, разница между которыми равна

$$\bar{A}(950) - \bar{A}(1050) = 0,028 \text{ и}$$

$$\bar{A}(1000) - \bar{A}(1050) = 0,035.$$

Следовательно при уровне значимости $\alpha = 0,10$ можно считать, что при повышении максимальной температуры обжига с 950 до 1050 °С, а также с 1000 до 1050 °С коэффициент сорбции воды A существенно уменьшается. Необходимо отметить, что разница $\bar{A}(1000) - \bar{A}(1050) = 0,035$ статистически значима и при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Поэтому при проверке гипотезы о наличии значимых разниц между парами средних не следует полагаться только на F -критерий.

По такой же схеме был выполнен анализ данных, полученных для активной пористости Φ_a . Результаты дисперсионного анализа приведены в таблице 3, из которой рассчитано отношение

$$F = \frac{MST}{MSE} = \frac{3724 \cdot 10^{-6}}{250,4 \cdot 10^{-6}} = 14,87.$$

При выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ это отношение превышает критическое $F_{0,05;2;9} = 4,26$, что позволяет принять гипотезу о статистически значимом влиянии максимальной температуры обжига на активную пористость керамических образцов и утверждать, что последняя уменьшается с возрастанием температуры обжига.

Для $\alpha = 0,05$ значение наименьшей значимой разницы составляет

$$HЗР = 0,0253.$$

На этой основе можно сделать вывод о том, что повышение температуры обжига с 1000 до 1050 °С не приводит к существенному изменению активной пористости образцов, тогда как дальнейшее повышение максимальной температуры обжига на 50 °С вызывает статистически значимое снижение значений этой пористости.

При рассмотрении средних значений условного радиуса пор r_e (см. табл. 1) видно их увеличение с повышением максимальной температуры обжига. Такой эффект вполне бы соответствовал данным работ [12, 13, 14 и др.]. Однако для подобного статистически обоснованного вывода в нашем случае нет оснований, так как велико рассеяние значений r_e , связанное с действием неконтролируемых факторов, имеющих случайный характер. Поэтому необходимы дальнейшие исследования.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для керамических образцов, изготовленных из сырьевой смеси одинакового состава, установлено статистически значимое влияние максимальной температуры обжига в диапазоне от 950 до 1050 °С на коэффициент сорбции воды и активную пористость, участвующую в процессе капиллярного впитывания. С увеличением температуры обжига значения этих параметров уменьшаются. Доказано, что данный эффект, в основном, проявляется при повышении температуры обжига от 1000 до 1050 °С.

Выявлена статистическая зависимость, позволяющая для конкретного керамического материала прогнозировать значения коэффициента сорбции воды по значениям его плотности.

Исследование выполнено в рамках работ S/ПВ/1/02 и W/ПВ/1/03

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Zygadlo M., Piasta Z. Prognozowanie mrozoodporności ceramicznych materiałów budowlanych na podstawie ich właściwości kapilarnych. Inżynieria i Budownictwo. Nr. 2, 1989, s. 56-57.
- Будников П.П., Блох Г.С. Причины образования трещин при испытании на морозостойкость кирпича полусухого прессования. Труды Научн. исслед. ин-та строительной керамики. Вып. 9, 1954, с. 52-74.
- Krus M., Holm A. Simple methods approximate the liquid transport coefficients describing the absorption and drying process. Proceeding of the 5th Symposium "Building Physics in the Nordic Countries", Göteborg, August 24-26, 1999, pp. 241-248.
- Janz M. Methods of measuring the moisture diffusivity at high moisture levels. Report TVBM – 3076, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology (in Swedish), 1997, 73 p.
- Mukhopadhyaya P., Kumaran K., Normandin N., Goudreau P. Effect of surface temperature on water absorption coefficient of building materials. Journal of Thermal Envelope and Building Science, v. 26, no 2, Oct. 2002, pp. 179-195.
- Никитин В.И., Болтрык М., Бацкель-Бжозовска Б. Влияние режимов обжига, содержания добавки песка и его грансостава на физико-механические свойства стеновой керамики // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. 2003, №1(19). – С. 56-61.

7. Roels S. Modelling unsaturated moisture transport in heterogeneous limestone. D/2000/7515/33. Katholieke Universiteit Leuven – Faculteit Toegepaste Wetenschappen. Leuven (Belgium), 2000, p. 213.
8. Roels S., Vandersteen K., Carmeliet J. Measuring and simulating moisture uptake in a fractured porous medium. *Advances in Water Resources* 2003, 26, 237-246.
9. Wesołowska M. Wpływ krętności kapilar na process wnikania wody w materiał ceramiczny. Materiały Konferencyjne IX Polskiej Konferencji Naukowo-Technicznej "Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce. Łódź, 2003, s. 705-711.
10. Афонин А.В., Никитин В.И., Шабанов Д.Н. Оценка параметров влагопроводности строительных материалов для теплотехнических расчетов // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2003. № 2(20). – С. 98-100.
11. Józwiak J., Podgórski J. Statystyka od podstaw. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2001, 550 s.
12. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1977
13. Piltz G., Schmidt H., Hilker E., Hesse E. Untersuchung des sintervorganges im grobkeramischen Scherbon durch Verfolgung der Porengrößen – und Festigkeitsentwicklung "Sprechsaal – für Keramik, Glas, Baustoffe", 1976, N1, 4-12, 109, N3, 128-139.
14. Римкевич И.М., Мартинович Н.И., Хартанович Л.В. Исследование влияние температуры обжига на пористую структуру керамики. Стекло, ситаллы и силикаты. Вып. 6. Минск: Вышэйшая школа, 1977, с. 136-140.

УДК 624.012.45

Радзишевски П.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТА СТАРЕНИЮ И УСТАЛОСТНОМУ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ

1. Введение

Диапазон температур при которых могут быть определены свойства асфальта представляет собой характеристику дорожного покрытия, включая температуру в процессе приготовления и укладки. В Польше диапазон эксплуатационных температур предполагается от – 40 °С (минимальная температура поверхности дорожного покрытия в зимний период) до 70 °С.

Асфальт подвергается воздействию высоких температур в процессе приготовления минерально-асфальтовой смеси и при ее укладке. Диапазон технологических температур варьируется от 90 °С (минимальная температура уплотнения смеси) до 220 °С (максимальная температура некоторых видов минерально-асфальтовых смесей). Следовательно, расчетный интервал температур, при которых могут быть определены свойства, составляет 220 °С [1, 5].

В процессе приготовления асфальтовой смеси и при эксплуатации дорожного покрытия, асфальт подвергается старению вследствие ряда причин:

- окисление,
- испарение летучих веществ – незначительный показатель при долговременном старении,
- полимеризация – нет научного объяснения влияния этого фактора на процесс старения,
- тиксотропность,
- сепарация – раздельная абсорбция наиболее легких компонентов частицами композита большей пористости.

В результате старения, вызванного пенетрацией, верхний порог размягчения и коэффициент пенетрации асфальта подвергаются процессу отвердевания. Кратковременное старение имеет место при хранении асфальта и его приготовлении, равно как и при хранении, транспортировке и укладке смеси. Длительная эксплуатация дорожного покрытия приводит к процессу длительного старения асфальта.

Интенсификация автомобильных перевозок в Польше в течении последнего десятилетия и суровый климат являются определяющими факторами применения модифицированного асфальта (эластомер SBS, пластиomer EVA, отходы автомобильных покрышек) в дорожном строительстве.

Улучшение вязко-упругих свойств модифицированного асфальта в сравнении с немодифицированным обосновывалось неоднократно, но все еще ощущим недостаток исследований свойств модифицированного асфальта.

Статья содержит результаты исследований, главной целью

которых являлась оценка влияния старения на свойства модифицированного асфальта и сопротивление усталостному трещинообразованию смесей с модифицированным асфальтом.

2. Материалы и методология исследований асфальта, модифицированного эластомером SBS

70 % асфальта, произведенного на Гданьском заводе используется в качестве основы для модифицирования. В качестве модификаторов используются следующие добавки:

- Kraton D 1101 – термопластовый эластомер, полимерный тип: чистый SBS, содержание группы стирола – 31 %,
- Kraton D 1116 – термопластовый эластомер, полимерный тип: радиальный SBS, содержание группы стирола – 23 %,
- Kraton D 1184 – термопластовый эластомер, полимерный тип: радиальный SBS, содержание группы стирола – 30 %,
- Kraton D 1192 – термопластовый эластомер, полимерный тип: линейный SBS, содержание группы стирола – 30 %,
- EVA – термопластовый пластиomer, винил-этил ацетат,
- мелкие включения использованных автомобильных покрышек.

В процессе модификации согласно [2], базовый асфальт 70 реп был разогрет до 185 °С. После этого в течении 1 минуты внесли проградуированные добавки и 60 минут подвергли скоростному перемешиванию. Асфальт, модифицированный резиной покрышек подвергался медленному перемешиванию. Были внесены добавки в количестве 3% 5% и 7% полимерных модификаторов; 15% и 17% резины покрышек. В результате были получены следующие типы асфальта: 1101 3%, 1101 5%, 1101 7% (асфальт, модифицированный эластомером Kraton D 1101), 1116 3%, 1116 5%, 1116 7% (асфальт, модифицированный эластомером Kraton D 1116), 1184 3%, 1184 5%, 1184 7% (асфальт, модифицированный термопластовым эластомером Kraton D 1184), 1192 3%, 1192 5%, 1192 7% (асфальт, модифицированный термопластовым эластомером Kraton D 1192), EVA 3%, EVA 5%, EVA 7% (асфальт, модифицированный термопластовым пластиomerом винил-этил ацетат), Gu 15% (асфальт, модифицированный мелкой крошкой резины покрышек) и Gu 17% (асфальт, модифицированный слоем резины покрышек).

Все типы модифицированного асфальта вначале были подвергнуты кратковременному технологическому старению, а затем – длительному старению. Моделирование условий кратковременного старения в лабораторных условиях было реали-

Радзишевски Петр, профессор Политехники Белостоцкой, Республика Польша.