



УДК 519.711.3, 691.542:551.571

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ ДОСТОВЕРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Абденова Г.А., Ильина Л.В., Раков М.А.*ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,**Новосибирск, e-mail: gauhar76@ngs.ru;**ГОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»,**e-mail: nsklika@mail.ru*

В работе получена кусочно-разностная модель в пространстве состояний на основе нестационарных данных измерений для достоверного оценивания прочности цементного камня, изготовленного из клинкера с добавлением гипса и минеральной добавки, такой как волластонит. Достоверные оценки прочности цементного камня представлены как оценки калмановской фильтрации.

Ключевые слова: прочность цементного камня, пространство состояний, кусочно-разностная модель, фильтр Калмана

THE APPLICATION OF MODEL IN STATE SPACE FOR THE RELIABLE ESTIMATION OF DURABILITY OF THE CEMENT STONE

Abdenova G.A., Ijina L.V., Rakov M.A.*Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, e-mail: gauhar76@ngs.ru;**Novosibirsk state architectural university, Novosibirsk, e-mail: nsklika@mail.ru*

In this paper it is received the piece-difference model in space state based on the time-varying dates of measurements, which is necessary for the reliable estimation of durability of the cement stone, kept the various period of time. The cement stone is received from quick-preparing clinker with adding of plaster and minerals such as wollastonit. The reliable estimations of durability of the cement stone are produced as estimations of kalman's filter.

Keywords: durability of the cement stone, space state, the piece-difference model, Kalman filter

В формировании прочности цементного камня как технологического показателя принимают участие все предшествующие технологические процессы цементного производства, а также вид и количество добавок. Вследствие этого актуальна задача использования потенциальных возможностей цементного камня в полной мере и повышения прочности цементов. В работах [2, 3] предложены некоторые способы повышения прочности вяжущих материалов путем введения дисперсных минеральных добавок. В частности, были проведены промышленные испытания по повышению прочности цементного камня, полученного из клинкера с введением минеральной добавки, такой как дисперсный волластонит Синюхинского месторождения (рудник «Веселый», республика Алтай).

Исследования проводились на образцах цементного камня с размерами 20×20×20 мм, полученных в результате твердения теста нормальной плотности при нормальных условиях и после тепловлажностной обработки (ТВО) по режиму: подъем температуры в течение 3 часов, выдержка при температуре 85 °С в течение 6 часов и снижение температуры в течение 2 часов.

Измельченный волластонит вводился в количестве 0–13% от массы портландцементного клинкера. Кроме того, дополни-

тельно вводился гипсовый камень в количестве 5%. Полученные результаты испытаний приведены в табл. 1. Очевидно, что результаты испытаний, в большинстве случаев, содержат ошибки измерений. Разброс значений измерений составляет ±5%. При испытании цементного камня прочность определялась как среднее из 15 значений. Следовательно, актуальна задача повышения достоверности данных измерений как результатов испытаний. Для устранения ошибок измерений в работе предлагается использовать модель в пространстве состояний, которая на основе уравнений фильтра Калмана позволит заменить результаты прочности цементного камня при промышленных испытаниях на оценки фильтрации [5].

Математическая модель процесса повышения прочности цементного камня, изготовленного на основе клинкера, путем введения дисперсных минеральных добавок, включает в себя переменные, представляющие собой непосредственно контролируемые показатели заданного технологического процесса. Главными среди доступных оперативному контролю показателей технологического процесса в ходе испытаний образцов являются количественное содержание добавок на входе, а на выходе – измеренная величина прочности цементного камня.



Таблица 1

Влияние добавок волластонита на прочность цементного камня,
полученного из клинкера
Реальные значения

Условия и продолжительность твердения	Прочность образцов цементного камня, МПа													
	Количество волластонита, % от массы вяжущего													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТВО	55,10	56,10	55,90	57,20	59,20	62,20	62,70	63,10	62,30	64,00	57,10	53,90	50,10	47,70
Нормальные условия, 3 сут	7,50	8,40	9,10	8,90	9,50	9,80	10,00	10,40	11,30	11,70	10,30	8,20	7,30	6,50
Нормальные условия, 7 сут	15,20	15,80	16,40	18,10	19,30	20,00	19,80	19,70	19,90	20,40	18,10	16,60	14,00	10,90
Нормальные условия, 14 сут	34,50	34,70	33,80	35,90	37,10	38,10	38,20	38,60	38,90	39,10	38,70	33,30	24,30	18,70
Нормальные условия, 28 сут	64,80	65,30	65,70	70,20	74,10	76,00	77,80	76,20	75,70	77,3	73,80	69,60	67,40	64,80

При испытании образцов, связанных с введением добавки волластонита в клинкер, таких факторов два: количество гипса и количество волластонита. Действие других факторов, не учитываемых моделью (например, температура среды испытания и др.), а также действие погрешностей измерений всех входных и выходных переменных проявляется в виде случайных шумов, которые накладываются на результаты оценивания достоверных оценок прочности цементного камня. Вследствие этого оценки прочности цементного камня следует понимать как оценки в статистическом смысле. Эффективность и точность таких оценок можно вычислять лишь в среднем на основании статистической обработки измерений.

Для получения информации о процессе помола клинкера были проведены промышленные испытания, во время которых на выходе отобраны усредненные значения прочности цементного камня. Результаты измерений получены в режиме натуральных

промышленных испытаний цементных материалов. В итоге, для волластонита получена выборка из 14 измерений (см. табл. 1).

Из анализа результатов испытаний следует, что исследуемый процесс является нестационарным, с явно выраженными двумя тенденциями данных испытаний, соответствующий двум подынтервалам.

Для оценивания выходных переменных таких промышленных испытаний нами предлагаются построение и использование кусочно-разностной модели в пространстве состояний.

Для оценивания прочности цементного камня с добавлением волластонита при условии ТВО, согласно методике построения кусочно-разностной модели в пространстве состояний [1], для подынтервала № 1 получены следующие характеристики: шумов измерителя $R1 = 13,38$; шумов динамики объекта $Q1 = 0,999$; шума начального состояния объекта $P01 = 1,12$. При этих значениях разностная модель в пространстве состояний имеет вид:

$$\begin{cases} x_1(t+1) = 0,453 \cdot x_1(t) + 6,223 \cdot u_1(t) + 0,586 \cdot u_2(t+1) + w(t), & x_1(0) = x_0, \\ y_1(t+1) = x_1(t+1) + v_1(t+1), & t = \overline{0, N-1}, \end{cases} \quad (1)$$

где $x(t)$ – значение прочности цемента, $u_1(t)$ – значения количества вводимого гипса, $u_2(t)$ – значение вводимой минеральной добавки, $y(t)$ – значение прочности цемента на основе измерительной системы.

Аналогично, для подынтервала № 2 получены следующие характеристики: $R2 = 54,32$; $Q2 = 0,116$; $P02 = 0,12$ и разностная модель в пространстве состояний, которая имеет вид:

$$\begin{cases} x_2(t+1) = 0,057 \cdot x_2(t) - 2,944 \cdot u_1(t) + 15,979 \cdot u_2(t+1) + w(t), & x_2(0) = x_0, \\ y_2(t+1) = x_2(t+1) + v_2(t+1), & t = \overline{0, N-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Для получения единой кусочно-разностной модели на всем интервале исследования параметры \hat{f}_1, \hat{f}_2 , соответствующие моделям двух подынтервалов, можно «сшить» с по-

мощью сглаживающего кубического сплайна [4] и получить функцию $\hat{f}(t)$ (рис. 1).

Аналогично можно построить и функции $\hat{g}_1(t), \hat{g}_2(t)$ (рис. 2, 3).

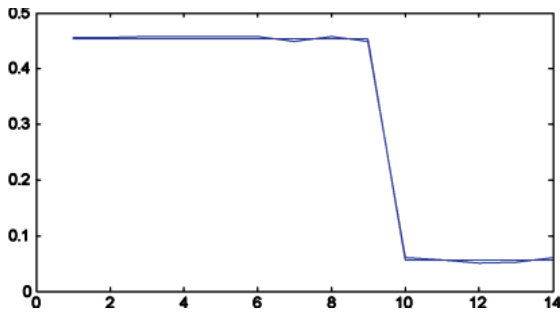


Рис. 1. График функции $\hat{f}(t)$ и параметров \hat{f}_1 и \hat{f}_2 на двух подынтервалах

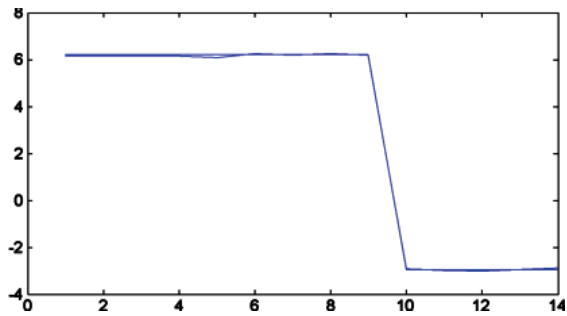


Рис. 2. График функции $\hat{g}_1(t)$ и параметров \hat{g}_{11} , \hat{g}_{12} на двух подынтервалах

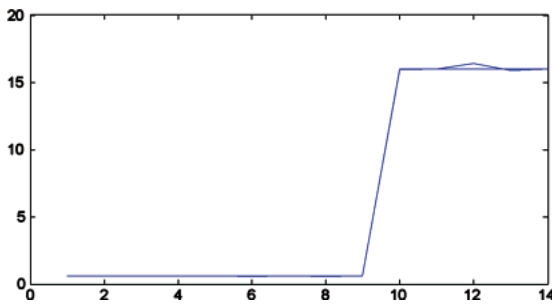


Рис. 3. График функции $\hat{g}_2(t)$ и параметров \hat{g}_{21} , \hat{g}_{22} на двух подынтервалах

Полученная кусочно-разностная модель в пространстве состояний (1) и (2) позволит применить аппарат калмановской фильтрации [5] для решения задач фильтрации состояния прочности цемента как достоверной оценки.

Данные расчета прочности цементного камня в виде фильтрационных оценок путем введения добавок гипса и волластонита при введении их в клинкер приведены в табл. 2. Реальные и фильтрационные значения прочности цементного камня, изготовленного из молотого клинкера при добавлении волластонита, т.е. табл. 1 и 2, представлены на графике (рис. 4).

Таким образом, в работе получена конечно-разностная модель в пространстве состояний, позволяющая оценивать прочность цементного камня в зависимости от количества вводимых добавок (волластонита). Расчеты показали, что относительно более достоверные оценки фильтрации прочности цементного камня достигают своего максимального значения добавки волластонита при 9% от общей массы исходного количества клинкера.

Таблица 2

Влияние добавок волластонита на прочность цементного камня, полученного из клинкера
Фильтрационные значения

Условия и продолжительность твердения	Прочность образцов цементного камня, МПа													
	Количество волластонита, % от массы вяжущего													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТВО	55,10	56,06	56,97	58,00	59,13	60,38	61,49	62,51	63,40	64,45	57,06	53,72	50,58	47,46
Нормальные условия, 3 сут	7,50	8,34	8,75	9,12	9,51	9,90	10,28	10,67	11,07	11,46	9,94	8,63	7,46	6,32
Нормальные условия, 7 сут	15,20	16,24	17,07	17,87	18,60	19,21	19,63	19,94	20,20	20,47	18,53	16,18	13,68	11,11
Нормальные условия, 14 сут	34,50	34,67	35,06	35,79	36,52	37,22	37,83	38,44	39,05	39,65	38,99	32,34	25,34	18,35
Нормальные условия, 28 сут	64,80	66,71	68,20	70,04	71,99	73,71	75,27	76,25	77,02	77,98	73,33	70,25	67,42	64,64

Полученную модель можно использовать для оценивания прочности цементных материалов в зависимости от длительности хранения клинкера при других процентных соотношениях доба-

вок (например 2,5 или 11,7% и т.д.) уже без проведения натурных промышленных испытаний с целью получения достоверных значений прочности цементного камня.

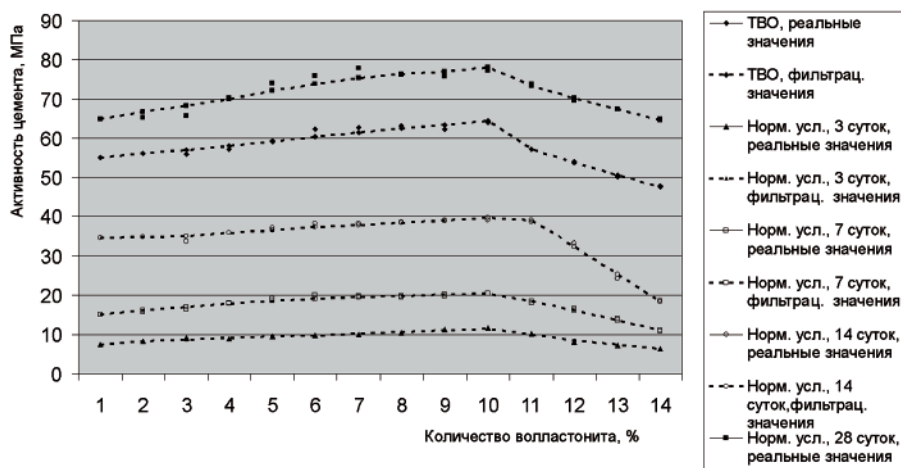


Рис. 4. Зависимость прочности цементного камня, изготовленного на основе свежеприготовленного клинкера, от введенного в него волластонита

Список литературы

1. Абденова Г.А., Воевода А.А. Оценивание параметров и характеристик шумов нестационарных процессов в стохастических системах, описываемых в пространстве состояний // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – №3 (61). – С. 11–18.
2. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Машкин Н.А. Влияние волластонита на прочность цементного камня из длительно хранившегося портландцемента // Строительные материалы. – 2011. – № 1. – С. 48–49.
3. Бердов Г.И., Ильина Л.В. Активация цементов действием минеральных добавок // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – №9. – С. 55–58.
4. Завьялов Ю.С., Квасов В.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. – 352 с.

5. Синицин И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 640 с.

Рецензенты:

Разинкин В.П., д.т.н., профессор кафедры ТОР Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск;

Зырянова В.Н., д.т.н., кафедра химии Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 20.05.2011.