

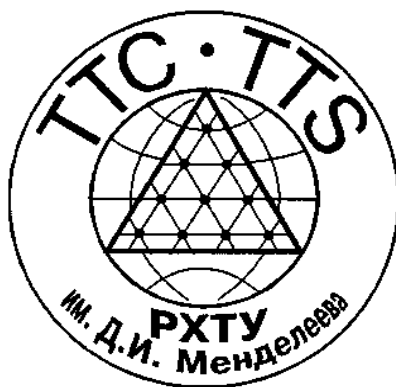
ISSN 2076-0655

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

*МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ*

1

2020



МОСКВА

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ

Том 27, № 1

Январь - Март, 2020

Журнал издается с 1994 г. В нем публикуются актуальные материалы по проблемам современного производства, информация по экономическим и финансовым вопросам, новости науки и техники, сообщения о новых сырьевых материалах и изделиях. Журнал оказывает поддержку аспирантам, докторантам, молодым ученым и специалистам промышленности и публикует их работы по широкому кругу вопросов техники и технологии силикатов в первую очередь.

Главный редактор КРИВОБОРОДОВ Ю. Р., д-р техн. наук, проф.,
РХТУ им. Д. И. Менделеева. E-mail: ykriv@muctr.ru
Редактор-консультант КУЗНЕЦОВА Т. В., д-р техн. наук, проф. E-mail: tkouz@mail.ru

Издательский консультационный совет

БУРЛОВ Ю.А., ОАО «Подольск-Цемент», генеральный директор, д-р экон. наук; ГУСЕВ Б.В., Международная инженерная академия, президент, чл.-корр. РАН; КОЛЕСНИКОВ В.А., РХТУ им. Д. И. Менделеева, д-р техн. наук, проф.; КРАСНЫЙ Б.Л., ЗАО НТЦ «Бакор», генеральный директор, д-р техн. наук; СИГАЕВ В.Н., д-р хим. наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, проф.; СОЛНЦЕВ С.С., ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, советник генерального директора, д-р техн. наук, проф.

Редакционная коллегия

БЕЛЯКОВ А.В., проф., РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия; БОБКОВА Н.М., проф., Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; ВЕРЕЩАГИН В.И., проф., Томский политехнический университет, Россия; КУРДОВСКИЙ В., проф., Горно-металлургическая академия, Краков, Польша; НИЯЗБЕКОВА Р.К., проф., Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; ПАЛЕАРИ А., проф., Университет Милано-Бикокка, Милан, Италия; САМЧЕНКО С.В., проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия; САНИЦКИЙ М.А., проф., Национальный университет «Львовская политехника», Украина; СВИДЕРСКИЙ В.А., Национальный технический университет Украины «КПИ», проф., Киев, Украина; СИВКОВ С.П., канд. техн. наук, доцент, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

Издатель – Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Выходит 4 раза в год

Подписной индекс 87947
в объединенном каталоге «Пресса России»

Адрес редакции: 125480, Москва,
ул. Героев Панфиловцев, 20, корпус 3
«Силикатный факультет», комн. 209а
Тел./факс: (495) 496-60-09
E-mail: ykriv@muctr.ru, ykriv@rambler.ru,
journal_tts@mail.ru
Интернет: <http://it.muctr.ru/pubcenter/silikaty>

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| <i>Потапова Е.Н., Кривобородов Ю.Р.</i> Получение комплексных экологических разрешений предприятиями промышленности строительных материалов: первые итоги | 2 |
| <i>Самченко С.В., Кудряшов Н.И., Гуркин А.Ю.</i> Термодинамическая оценка влияния карбоната кальция на гидратацию цемента | 6 |
| <i>Кондращенко В.И., Титов С.П., Казаков А.А.</i> Активация цемента в мельнице вихревого типа. Часть 2. Изменение формы цементных частиц | 12 |
| <i>Сафронова Т.В., Лукина Ю.С., Сивков С.П., Тошев О.У., Казакова Г.К., Шаталова Т.Б., Филиппов Я.Ю., Малютин К.В., Азизян-Каландаряг Я.</i> Керамика на основе пиррофосфата кальция, полученная обжигом цементного камня | 17 |
| <i>Алимов Л.А., Воронин В.В., Ларсен О.А.</i> Оценка влияния компонентов бетона на формирование его структуры и свойств..... | 20 |
| <i>Самченко С.В., Абрамов М.А., Егоров Е.С.</i> Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента | 24 |
| <i>Гусев Б.В., Кривобородов Ю.Р., Потапова В.А.</i> Возможность вторичного применения бетонолома | 28 |

По решению ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

© РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF SILICATES

INTERNATIONAL JOURNAL OF BINDERS, CERAMICS, GLASS AND ENAMELS

Vol. 27, no. 1

January – March, 2020

Journal is published since 1994. It publishes relevant materials on the problems of modern production, information on economic and financial issues, science and technology news, reports of new raw materials and products. Journal provides support for students, doctoral students, young scientists and specialists of industry and publishes their works on a wide range of questions of technique and technology of silicates in the first place.

Editor-in-Chief KRIVOBORODOV Yu. R., Dr. Sci., prof., D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR). E-mail: ykriv@muctr.ru
Editor-consultant KOUZNETSOVA T. V., Dr. Sci., prof. E-mail: tkouzn@mail.ru

Publishing advisory board

BURLOV Yu. A., JSC «Podolsk-Cement», general director, Dr. Econ. Sci.; GUSEV B. V., president of REA, academician; KOLESNIKOV V. A., MUCTR, Dr. Sci., prof.; KRASNY B. L., JSC «Bakor», general director, Dr. Sci.; SIGAEV V. N., MUSTR, Dr. Sci., prof.; SOLNTSEV S. S., FGUP «VIAM» GNZ RF, adviser of general director, Dr. Sci., prof.

Editorial board

BELAKOV A. V., prof., MUCTR, Moscow; BOBKOVA N. M., prof., Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus; VERESHCHAGIN V. I., prof., Tomsk Polytechnical University; KURDOWSKI W., prof., Academia Gorniczno-Hutnicza, Krakow, Poland; MELKONYAN R. G., academician of RAEN, foreign member of Armenian Academy of Sciences, prof., MGGU, Moscow; NIYAZBEKOVA R. K., prof., L. N. Gumilyov Eurasian University, Astana, Kazakhstan; PALEARI A., prof., University of Milano-Bicocca, Milan, Italy; SAMCHENKO S. V., prof., National Research University MGSU, Moscow; SANITSKIY M. A., prof., Lviv Polytechnic National University, Ukraine; SVIDERSKIY V. A., prof., National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine; SIVKOV S. P., Ph. D., Associate Professor, MUCTR, Moscow

Publisher – D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR)

Issue: 4 number a year

Subscription: Union catalogue «Press of Russia», index 87947

Address of editorial office: 20 Geroev Panfilovtsev str., Moscow, 125480
Tel./fax +7(495) 496-60-09
E-mail: ykriv@muctr.ru, ykriv@rambler.ru,
journal_tts@mail.ru
Internet: <http://it.muctr.ru/pubcenter/silikaty>

CONTENTS

| | |
|--|----|
| <i>Potapova E.N., Krivoborodov Yu.R.</i> Obtaining complex environmental permissions by enterprises industry of building materials: First results | 2 |
| <i>Samchenko S.V., Kudryashov N.I., Gurkin A.Yu.</i> Thermodynamic evaluation of the effect of calcium carbonate on cement hydration | 6 |
| <i>Kondrashenko V.I., Titov S.P., Kazakov A.A.</i> Activation of cement in the mill of the vortex type. Part 2. Changing the shape of cement particles | 12 |
| <i>T. V. Safronova, Yu.S. Lukina, S.P. Sivkov, O.U. Toshev, G.K. Kazakova, T.B. Shatalova, Ya. Yu. Filippov, K.V. Malyutin, Ya. Azizyan-Kalendarag.</i> Calcium pyrophosphate ceramics obtained via firing of cement stone | 17 |
| <i>Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A.</i> Assessment of the influence of concrete components on the formation of its structure and properties | 20 |
| <i>Samchenko S.V., Abramov M.A., Egorov E.S.</i> Features of cement paste hydration and hardening processess with the addition of hydrated cement | 24 |
| <i>Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Potapova V.A.</i> Possibility of secondary application concrete breaker | 28 |

АКТИВАЦИЯ ЦЕМЕНТА В МЕЛЬНИЦЕ ВИХРЕВОГО ТИПА

Часть 2. Изменение формы цементных частиц

Кондращенко В.И., Титов С.П., Казаков А.А.

Приведены результаты анализа формы зерен портландцемента, подвергшегося обработке в мельнице вихревого типа. Для оценки формы цементных частиц предложен безразмерный критерий, представляющий собой возведенное в степень отношение площади частицы к квадрату длины её периметра. С использованием предложенного критерия подтверждена научная гипотеза о повышении активности цемента за счет модификации формы частиц цемента, обработанного в мельнице вихревого типа, заключающаяся в придании частицам более округлой формы. Для оценки формы частиц установлена область рациональных целочисленных значений порядка предложенного критерия.

Ключевые слова: активация, мельница вихревого типа, критерий формы частиц, рельефность частиц, свойства портландцемента.

Для объяснения повышения прочности цементно-песчаных образцов на активированном в мельнице вихревого типа цементе, изготовленных из равноподвижных растворных смесей при пониженном водоцементном отношении, была выдвинута научная гипотеза о модификации зерен цемента от угловой к более окатанной форме, что и объясняло отмеченные особенности активированного в мельнице вихревого типа цемента [1], требующая, однако, теоретического и экспериментального обоснования.

Проблема оценки формы разнообразных геометрических фигур актуальна для различных отраслей науки и промышленности, в частности, в фармацевтической, химической, горнодобывающей и строительной отраслях [2-5]. В строительной индустрии такая задача возникает, например, при исследовании прочности и жесткости конструкций, находящихся под воздействием статических и динамических нагрузок [6], или влияния формы частиц на плотность их упаковки, а, следовательно, на расход цемента при подборе составов растворов и бетонов [7].

Наиболее распространенным способом оценки формы частиц является метод визуализации, который основывается на рассмотрении двумерной проекции профиля частицы. В настоящее время разработаны различные автоматизированные системы визуализации и анализа изображений, обеспечивающие получение информации не только о размере, но и о форме частиц [8-13]. Для таких целей используются различные параметры, позволяющие сделать возможным как сам анализ, так и выполнить статистическую обработку результатов измерений. Чаще всего для описания формы используются такие параметры, как выпуклость, округлость, удлинение, абсолютная и относительная величина удлинения и др. [14-18]. Достоинством использования таких

параметров является их достаточная простота, но данные параметры не дают возможности оценить наряду с формой частицы такую ее важную характеристику, как шероховатость или рельефность поверхности частицы.

В то же время ряд предложенных критериев для оценки формы частицы имеют ограничения по их применению. В качестве такого примера приведем аналитическую оценку геометрической формы частиц по коэффициенту формы плоской области K_{fa} (рис.1), предложенного В.И. Коробко и являющегося количественной характеристикой формы области, выражаемой через контурный интеграл [19, 20]:

$$K_{fa} = \int_P \frac{ds}{h}, \quad (1)$$

где ds – линейный элемент контура области (рисунок 1); h – высота, опущенная из полюса, взятого внутри области, на касательную к переменной точке контура; P – периметр области.

Для контура, составленного из криволинейных и прямолинейных участков, значение коэффициента формы области вычисляется по формуле:

$$K_{fa} = \int_0^{2\pi} \left(1 + \frac{r'^2}{r^2}\right) d\varphi + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{h_i}, \quad (2)$$

где $r = r(\varphi)$ – полярный радиус контура области с полюсом в точке «а» (рис. 1 а), l_i , h_i – соответственно длина i -ой стороны многоугольника и опущенная из полюса O на i -ю сторону высота (рис. 1 б).

Вычисление K_{fa} для фигур произвольного очертания, далеких от классически форм, ввиду сложности формулы (2) становится затруднительным, а при наличии вогнутостей определение коэффициента формы K_{fa} теряет смысл, так как в этом случае невозможно опустить перпендикуляр из полюса непосредственно на периметр рассматриваемой области (сторона 34 на рис. 1 в).

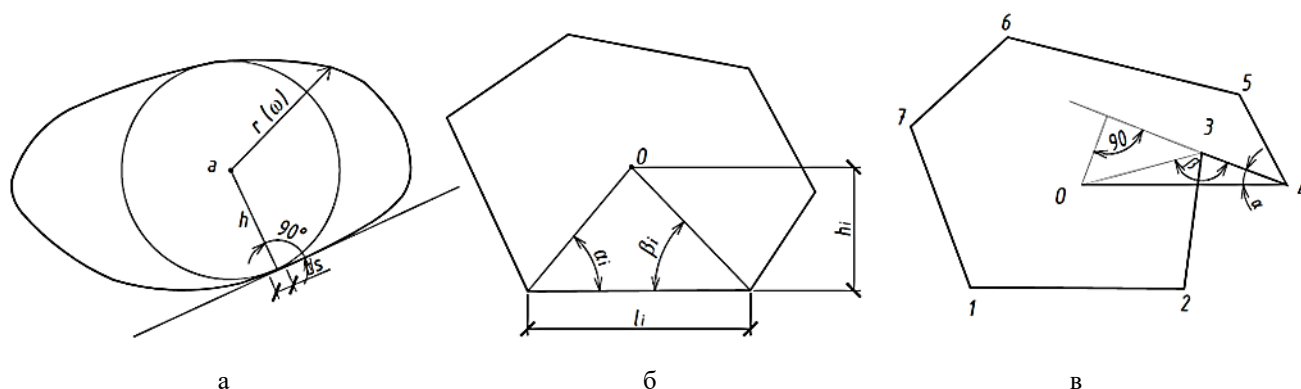


Рисунок 1. Схемы к вычислению коэффициента формы K_{fa} по В.И. Коробко [20]

a – область с криволинейным контуром; *б* – область (выпуклая) с полигональным контуром; *в* – область (вогнутая) с полигональным контуром

В связи с вышеизложенным, для оценки формы произвольных плоских геометрических фигур предлагается безразмерный критерий k_i , представляющий собой отношение площади фигуры к квадрату длины ее периметра в степени i :

$$k_i = \left(\frac{S}{P^2} \right)^i, \quad (3)$$

где S – площадь фигуры произвольной формы, P – длина ее периметра.

В формуле (3) степень i , являющаяся порядком критерия k_i , принимающая как дробные, так и целочисленные значения: $i = 1/n, \dots, 1, \dots, n$, где n – число натурального ряда.

Рассмотрим применение критерия k_i в модельной задаче по оценке близости формы ряда геометрических

Таблица 1 – Значения критерия k_i для ряда геометрических фигур

| Порядок критерия | $k_{1/8}$ | $k_{1/4}$ | $k_{1/2}$ | $k_{1 \cdot 10^{-1}}$ | $k_{2 \cdot 10^{-2}}$ | $k_{4 \cdot 10^{-4}}$ | $k_{8 \cdot 10^{-9}}$ |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Круг | 0,729 | 0,531 | 0,282 | 0,796 | 0,633 | 0,401 | 1,62 |
| Квадрат | 0,707 | 0,500 | 0,250 | 0,625 | 0,390 | 0,152 | 0,23 |
| Пятиугольник | 0,716 | 0,512 | 0,262 | 0,688 | 0,473 | 0,224 | 0,50 |
| Шестиугольник | 0,720 | 0,518 | 0,269 | 0,722 | 0,521 | 0,271 | 0,74 |
| Восьмиугольник | 0,724 | 0,524 | 0,275 | 0,754 | 0,569 | 0,323 | 1,05 |

чем правильный. Таким образом, представляется возможным использование предложенного критерия (3) для сравнения различных геометрических фигур, в том числе как выпуклых, так и вогнутых.

В таблице 2 приведена оценка отличия сравниваемых фигур, выполненная для критерия формы k_i по формуле:

$$\delta_{ki} = \left(\frac{k_i^{кр} - k_i^{мн}}{k_i^{кр}} \right) 100 \%, \quad (4)$$

где $k_i^{кр.}$ и $k_i^{мн.}$ – коэффициенты формы i -го порядка, вычисляемые по формуле (3) соответственно для круга и многоугольника.

Из таблицы 2 следует, что независимо от порядка критерия k_i наибольшее отличие формы многоугольника от круга наблюдается для квадрата, наименьшее – для восьмиугольника, что подтверждает вышесказанное относительно снижения отличия формы круга от формы многоугольника с ростом числа его сторон. При этом с ростом по абсолютной величине порядка i растет чув-

ствительность предложенного критерия для оценки формы фигур в виде многоугольников к форме круга, принятого в качестве эталона. Результаты вычислений критерия k_i для плоских фигур правильной формы приведены в таблице 1 при значениях $n = 1, 2, 4, 8$.

Из таблицы 1 следует, что для каждого порядка i в предложенном критерии оценки формы плоских фигур (3) для круга величина k_i имеет наибольшее значение, к которому приближается величина этого критерия для правильных многоугольников с ростом числа их сторон. Кроме того, известно, что из всех n -угольников равной площади, правильный многоугольник имеет наименьший периметр. Поэтому любой неправильный n -угольник будет иметь меньшее значение k_i ,

чувствительность предложенного критерия для оценки формы частиц, например, при сравнения фигур «круг – восьмиугольник» чувствительность оценки отличия восьмиугольника от круга растет с 0,67 % (при $i = 1/8$) и 5,2 % (при $i = 1$) до 35,19 % (при $i = 8$), т.е. при порядке $i = 8$ по формуле $k_8 = \left(\frac{S}{P^2} \right)^8$ достигается более высокая достоверность отличия рассматриваемых фигур.

В дополнение к оценке формы частиц критерий (3) был использован для установления другой такой важной их характеристики, как рельефность. С этой целью были рассмотрены модельные частицы определенной формы (круг, эллипс, прямоугольник) с разной степенью рельефности поверхности (рисунок 2), для которых была вычислена величина критерия (3) при значениях $n = 1, 2, 4, 8$ (таблица 3).

Таблица 2 – Оценка отличия многоугольников от формы круга

| Отличие критериев Сравниваемые виды плоских фигур | $\delta_{k_{1/8}},\%$ | $\delta_{k_{1/4}},\%$ | $\delta_{k_{1/2}},\%$ | $\delta_{k_1},\%$ | $\delta_{k_2},\%$ | $\delta_{k_4},\%$ | $\delta_{k_8},\%$ |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Круг/квадрат | 2,97 | 5,86 | 11,38 | 21,46 | 38,31 | 61,94 | 85,80 |
| Круг/пятиугольник | 1,80 | 3,57 | 7,00 | 13,52 | 25,21 | 44,06 | 69,14 |
| Круг/шестиугольник | 1,21 | 2,41 | 4,76 | 9,28 | 17,71 | 32,28 | 54,32 |
| Круг/восьмиугольник | 0,67 | 1,33 | 2,64 | 5,20 | 10,14 | 19,25 | 35,19 |

Из таблицы 3 следует, что для частиц определенного вида с увеличением их шероховатости поверхности при фиксированном порядке i величина критерия (3) снижается, причем с возрастанием порядка i различие между рельефностью фигур вида 1 и рельефностью фигур вида 4 становится более существенным.

Можно заметить, что значения критерия формы k_i для разного вида фигур различной степени рельефности близки друг к другу. Например, для круга при рельеф-

ности типа 3 – $k_{1/8} = 0,671$, а для прямоугольника рельефности типа 1 – $k_{1/8} = 0,696$, что может вызвать сомнения в возможности применения критерия (3).

Поэтому необходимо выполнять оценку степени рельефности частиц одного или близкого вида, для чего анализируемые частицы предварительно ранжируются по виду на группы и уже в каждой группе выполняется их анализ по степени рельефности.

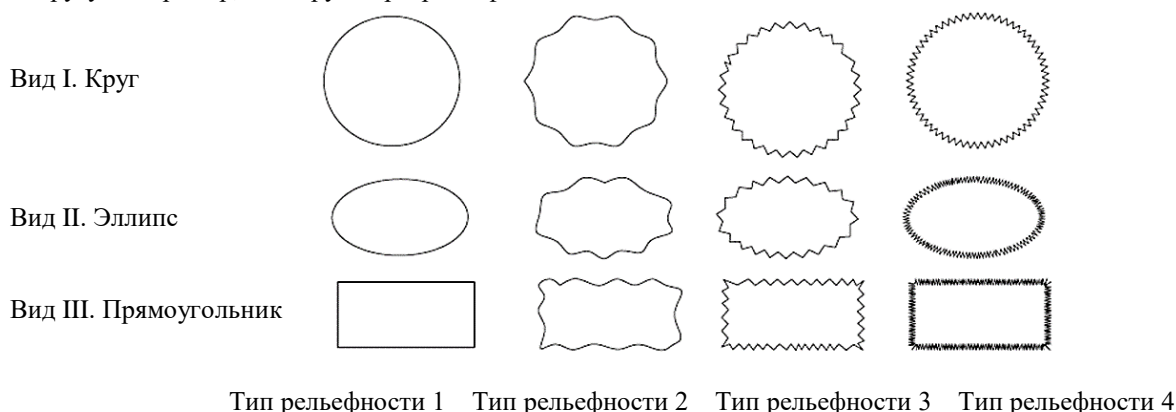


Рисунок 2. Виды плоских фигур с различными типами рельефности (I – круг, II – эллипс, III – прямоугольник)

Таблица 3 – Значение критерия k_i для фигур различного вида и типа рельефности

| Порядок критерия Вид фигуры и тип ее рельефности | $k_{1/8}$ | $k_{1/4}$ | $k_{1/2}$ | $k_1 \cdot 10^{-1}$ | $k_2 \cdot 10^{-2}$ | $k_4 \cdot 10^{-4}$ | $k_8 \cdot 10^{-9}$ |
|--|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Вид I. Круг – Тип рельефности 1 | 0,728 | 0,531 | 0,282 | 0,79 | 0,6332 | 0,40101 | 1,61 |
| Вид I. Круг – Тип рельефности 2 | 0,718 | 0,515 | 0,266 | 0,70 | 0,5013 | 0,25130 | 0,63 |
| Вид I. Круг – Тип рельефности 3 | 0,671 | 0,450 | 0,202 | 0,41 | 0,1689 | 0,02855 | 0,0082 |
| Вид I. Круг – Тип рельефности 4 | 0,601 | 0,361 | 0,130 | 0,17 | 0,0291 | 0,00085 | 0,0000073 |
| Вид II. Эллипс – Тип рельефности 1 | 0,719 | 0,517 | 0,267 | 0,71 | 0,5142 | 0,26439 | 0,70 |
| Вид II. Эллипс – Тип рельефности 2 | 0,705 | 0,497 | 0,247 | 0,61 | 0,3758 | 0,14126 | 0,20 |
| Вид II. Эллипс – Тип рельефности 3 | 0,672 | 0,452 | 0,205 | 0,42 | 0,1766 | 0,03121 | 0,010 |
| Вид II. Эллипс – Тип рельефности 4 | 0,500 | 0,250 | 0,062 | 0,03 | 0,0015 | 0,000002 | $5 \cdot 10^{-11}$ |
| Вид III. Прямоугольник – Тип рельефности 1 | 0,696 | 0,485 | 0,235 | 0,55 | 0,3086 | 0,09525 | 0,09 |
| Вид III. Прямоугольник – Тип рельефности 2 | 0,686 | 0,471 | 0,222 | 0,49 | 0,2458 | 0,06043 | 0,04 |
| Вид III. Прямоугольник – Тип рельефности 3 | 0,628 | 0,394 | 0,155 | 0,243 | 0,0590 | 0,00348 | 0,00012 |
| Вид III. Прямоугольник – Тип рельефности 4 | 0,445 | 0,198 | 0,039 | 0,015 | 0,0002 | 0,000001 | $3 \cdot 10^{-14}$ |

Анализируя результаты, приведенные в таблицах 2 и 3, необходимо отметить, что с ростом порядка i критерий k_i становится более чувствительным к изменению формы частиц и степени рельефности их поверхности, а, значит, для более тонкого анализа фигур, мало отличающихся по форме, целесообразно использовать критерий более высокого порядка – не ниже $i = 4$.

Кроме установленного факта увеличения при обработке в мельнице вихревого типа дисперсности цемента (см. таблицу 4 в [1]) в качестве научной гипотезы повышения активности обработанного в мельнице вихревого типа цемента можно предположить, что в процессе его вихревой обработки, по аналогии с барханскими песками, происходит изменение формы частиц цемента от угловатой к более округлой. Такое изменение формы

частиц может приводить к существенным изменениям в свойствах цементных систем, полученных на модифицированном в вихревой мельнице портландцементе (см. таблицы 5-8 в [1]). Подтверждение выдвинутой научной гипотезы о преобразовании формы частиц цемента в процессе их обработки в мельнице вихревого типа от угловатой к более окатанной устанавливали с использованием предложенного критерия k_i .

Материалы и методы исследования. Для анализа формы цементных зерен до и после обработки в мельнице вихревого типа были отобраны три пробы цемента [1]: проба №1 – исходный цемент (контрольный); проба №2 – тот же цемент, активированный в вихревой мельнице с классификационной диафрагмой диаметром d90 мм; проба №3 – то же, с классификационной диафрагмой диаметром d102 мм. Диаметр диафрагмы влияет на степень измельчения цемента – чем его значение меньше, тем дисперсность получаемого цемента выше.

Как было показано выше, наибольшее значение критерия формы k_i принимает для шарообразной частицы, имеющей сечения в виде круга. При этом значение кри-

терия формы зависит от его порядка i , уменьшаясь по величине с его ростом (см. таблицу 1), но не зависит от размера шарообразной частицы. Поэтому в качестве эталона сравнения для активированных в вихревой мельнице частиц цемента была принята величина критерия формы для круга как идеальной «по степени округлости» фигуры. Таким образом, чем ближе будет величина расчетного значения коэффициента k_i частицы к принятому ее эталонному значению, тем более округлую форму будет иметь анализируемая частица, а применение статистической обработки позволяет установить статистическую значимость такого различия.

Результаты исследования. Для проведения сравнительного анализа в части преобразования формы частиц цемента после обработки в мельнице вихревого типа случайным образом выбиралось по пятьдесят частиц из каждой пробы цемента (рис. 3), для которых были вычислены необходимые геометрические параметры и рассчитаны значения критерия формы k_i различного порядка, приведенные в таблице 4.

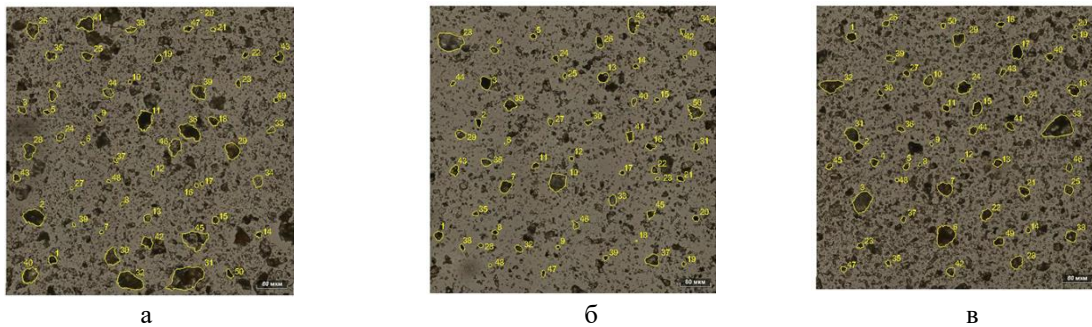


Рисунок 3. Исследуемые пробы цемента

а) проба №1 – контрольный цемент; б) проба №2 – тот же цемент, активированный в вихревой мельнице с классификационной диафрагмой диаметром d90 мм; в) проба №3 – то же, с классификационной диафрагмой диаметром d102 мм

Таблица 4 – Средние значения критерия формы для проб цемента

| Порядок критерия Номер пробы | $k_{1/8}$ | $k_{1/4}$ | $k_{1/2}$ | $k_1 \cdot 10^{-1}$ | $k_2 \cdot 10^{-2}$ | $k_4 \cdot 10^{-4}$ | $k_8 \cdot 10^{-9}$ |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| №1 | 0,706 | 0,498 | 0,248 | 0,618 | 0,386 | 0,155 | 0,280 |
| №2 | 0,713 | 0,508 | 0,258 | 0,668 | 0,448 | 0,203 | 0,440 |
| №3 | 0,712 | 0,507 | 0,257 | 0,662 | 0,439 | 0,195 | 0,390 |

Как видно из таблиц 1 и 4, значения критерия формы частиц активированного цемента (пробы №2 и №3), не зависимо от порядка i , имеют большие значения, чем неактивированного (проба №1), что подтверждает предположение об их более округлой (окатанной) форме. Причем, если с уменьшением порядка i различие значений коэффициента формы частиц для эталона (круга) и цементных частиц может составлять всего (2-3) % (при $i = 1/8$), то при его значении $i = 8$ такое различие достигает уже 80-90 %, т.е. с ростом порядка предложенный критерий становится более чувствительным к изменению формы частиц.

Заключение и выводы. Использование предложенного критерия формы частиц (3) позволяет сделать вывод о том, что в процессе активации цемента в мельнице вихревого типа происходит модификация цементных частиц, заключающаяся в получении частиц более округлой формы после их вихревой обработки.

С целью определения значимости преобразования формы частиц цемента, подвергнутого обработке в

мельнице вихревого типа, была выполнена статистическая обработка полученных данных с применением t -критерия Стьюдента [21], которая подтвердила выдвинутую гипотезу.

Таким образом, проанализировав полученные данные можно сделать следующие выводы:

а) предложен критерий для оценки формы частиц, представляющий собой отношение площади частицы к квадрату длины её периметра, возведенное в степень i , являющейся порядком критерия;

б) для оценки формы частиц установлено рациональное целочисленное значение порядка критерия i , которое рекомендуется принимать не ниже 4;

в) с использованием предложенного критерия k_i подтверждена научная гипотеза о повышении активности цемента, подвергнутого обработке в мельнице вихревого типа, за счет модификации формы частиц цемента от угловатой к более округлой.

Литература:

1. Кондращенко, В.И. Активация цемента в мельнице вихревого типа. Часть 1. Свойства активированного в вихревой мельнице цемента / В.И. Кондращенко, С.П. Титов // Техника и технология силикатов. – 2019. – №4. – С. 115-119.
2. Альмяшева, О.В. Размер, морфология и структура частиц нанопорошка диоксида циркония, полученного в гидротермальных условиях / О.В. Альмяшева и др. // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2010. – №1. – С. 26-36.
3. Андриевский, Р.А. Порошковое материаловедение / Р.А. Андриевский. – М.: Металлургия, 1991. 205 с.
4. Зозуля, П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей // Сб. тезисов докладов 3-й Международной конференции BaltiMix. – СПб. 2003. С. 12-13.
5. Rodriguez, J.M. Particle Shape Determination by Two-Dimensional Image Analysis in Geotechnical Engineering / J.M. Rodriguez, J. Johansson, T. Edeskär // Nordic Geotechnical Meeting – 2012, Copenhagen, Denmark, pp. 355-363.
6. Дебердеев, Т.Р. Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя / Т.Р. Дебердеев, Р.А. Ибрагимов, Е.В. Королев, В.В. Лексин // Строительные материалы. – 2017. – №10. – С. 28-31.
7. Попов, Л.Н. Структурообразование в системах при производстве строительных материалов / Л.Н. Попов, И.Б. Аликина, Б.А. Усов. – НИЦ ИНФРА-М, 2018. 61 с.
8. Бикмухаметов, А.Р. Активированные щелочами цементы на основе мергеля с добавкой известняка / А.Р. Бикмухаметов, Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, Л.И. Потапова // Техника и технология силикатов. – 2019. – №2(26). – С. 5-6.
9. Высокоэффективные технологии измерения формы и размера частиц при разработке и обеспечении качества твердых лекарственных форм. Фармацевтическая отрасль – 2013. – № 3(38). – С. 96-100.
10. Новик, Е.С. Методы оценки формы частиц в фармацевтической отрасли / Е.С. Новик, А.В. Доренская, Н.А. Борисова, О.В. Гунар // Фармация. – 2017. №4: С. 3-6.
11. Новик, Е.С. Оценка размера и формы частиц фармацевтических субстанций микроскопическим методом / Е.С. Новик [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 249-255.
12. Кошкарев, С.А. К оценке фактора формы частиц с использованием комплексного дисперсионного анализа для снижения проскока пыли выбросов в пылеулавливающих устройствах аспирации стройиндустрии / С.А. Кошкарев и др. // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4(51). – С. 244.
13. Игнатова А.М. Методология оценки морфометрических параметров частиц аэродисперсных систем калийных солей / А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов // Материалы I Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевого солей (Пермь, 14 – 15 мая 2018 г.). Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2018. – С. – 453-464.
14. Беленко, О.А. Оценка формы частиц и дисперсного состава грубодисперсных фракций атмосферных аэрозолей / О.А. Беленко, К.П. Куценогий // ГЕО-СИБИРЬ. – 2007. – №3. – С. 339-343.
15. Емшанова, С.В. Влияние формы и размера частиц субстанций на качество готовых лекарственных средств / С.В. Емшанова, Р.А. Абрамович, О.Г. Потанина // Научно-производственный журнал. – 2014. – №2 (7). – С. 50-63.
16. Злобин, И.А. Влияние способов механического воздействия на геометрическую форму и характер поверхности частиц цемента / И.А. Злобин, О.С. Мандрикова, И.Н. Борисов // Цемент и его применение. – 2015. – №5. – С. 56-60.
17. Неумержицкая, Н.В. Оценка фракционного состава, формы частиц и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе / Н.В. Неумержицкая // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №1(48). – С. 140.
18. Панигархи, П.К. Морфология цементных частиц после помола в различных агрегатах и ее влияние на свойства цемента / П.К. Панигархи и др. // Цемент и его применение. – 2010. – №1. – С. 114-122.

References:

1. Kondrashchenko V.I., Titov S.P. Cement activation in a vortex type mill. Part 1. Properties of vortex mill activated cement *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2019. No. 4. Pp. 115-119 (in Russian).
2. Al'myasheva O.V. Size, morphology and particle structure of zirconia nanopowder obtained under hydrothermal conditions *Nanosistemy: fizika, himiya, matematika*. 2010. No. 1. Pp. 26-36(in Russian).
3. Andrievskij R.A. Powder Materials Science. *M.: Metallurgiya*. 1991. 205 p. (in Russian).
4. Zozulya P.V. Optimization of particle size distribution and properties of aggregates and fillers for dry mortar. *Sb. tezisov dokladov 3-j Mezhdunarodnoj konferencii BaltiMix*. SPb. 2003. Pp. 12-13.
5. Rodriguez J.M., Johansson J., Edeskär T. Particle Shape Determination by Two-Dimensional Image Analysis in Geotechnical Engineering. *Nordic Geotechnical Meeting*. 2012. Copenhagen, Denmark. Pp. 355-363(in English).
6. Deberdeev T.R., Ibragimov R.A., Korolev E.V., Leksin V.V. Strength of heavy concrete on Portland cement treated in a swirl layer apparatus *Stroitel'nye materialy*. 2017. No.10. Pp. 28-31 (in Russian).
7. Popov L.N., Alikina I.B., Usov B.A. Structuring in systems in the production of building materials *NIC INFRA-M*. 2018. 61 p. (in Russian).
8. Bikmuhametov A.R., Rahimov R.Z., Rahimova N.R., Potapova L.I. Alkali-activated marl-based cements with added limestone. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2019. №.2 (26). Pp. 5-6 (in Russian).
9. Highly effective technologies for measuring the shape and size of particles in the development and quality assurance of solid dosage forms *Farmaceuticheskaya otrasl'*. 2013. №. 3(38). Pp. 96-100 (in Russian).
10. Novik E.S., Dorenskaya A.V., Borisova N.A., Gunar O.V. Particle size estimation methods in the pharmaceutical industry *Farmaciya*. 2017. №. 4. Pp. 3-6 (in Russian).
11. Novik E.S. Microscopic estimation of particle size and particle shape of pharmaceutical substances. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* 2016. №. 11. Pp. 249-255 (in Russian).
12. Koshkarev S.A. Evaluation of the particle shape factor using a comprehensive analysis of variance to reduce dust breakthrough emissions in dust collecting devices for aspiration of the construction industry. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2018. No. 4(51). 244 p. (in Russian).
13. Ignatova A.M., Ignatov M.N. Methodology for assessing the morphometric parameters of particles of aerodispersed systems of potassium salts. *Materialy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktualnye problemy ohrany truda i bezopasnosti proizvodstva, dobychi i ispolzovaniya kalijno-magnievyyh solej (Perm', 14 – 15 maya 2018 g.)*. *Permskij natsionalnyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet*. 2018. Pp. 453-464 (in Russian).
14. Belenko O.A., Kucenogij K.P. Assessment of particle shape and dispersed composition of coarse fractions of atmospheric aerosols *GEO-SIBIR*. 2007. No. 3. Pp. 339-343 (in Russian).
15. Emshanova S.V., Abramovich R.A., Potanina O.G. The influence of the shape and particle size of substances on the quality of finished drugs. *Nauchno-proizvodstvennyj zhurnal*. 2014. No. 2 (7). Pp. 50-63 (in Russian).
16. Zlobin I.A., Mandrikova O.S., Borisov I.N. The influence of mechanical methods on the geometric shape and surface character of cement particles. *Cement i ego primenenie*. 2015. №. 5. Pp. 56-60 (in Russian).
17. Neumerzhickaya N.V. Assessment of fractional composition, particle shape and concentration of wood dust in the air. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2018. №. 1(48). Pp. 140 (in Russian).
18. Panigarhi P.K. Morphology of cement particles after grinding in various aggregates and its effect on the properties of cement *Cement i ego primenenie*. 2010. №. 1. Pp. 114-122 (in Russian).
19. Fetisova M. A., Volodin S. S. Shape factor as a geometric characteristic. *Molodoj uchenyj*. 2011. №. 5. Vol. 1. Pp. 105-107 (in Russian).
20. Korobko A.V. Geometric modeling of the shape of a region

19. Фетисова, М. А., Володин С. С. Коэффициент формы как геометрическая характеристика // Молодой ученый. 2011. №5. Т.1. С. 105-107.
20. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости / А.В. Коробко. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 320 с.
21. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
- in two-dimensional problems of the theory of elasticity. *M.: Izd-vo ASV*. 1999. 320 p. (in Russian).
21. Kobzar A.I. Applied Mathematical Statistics. For engineers and scientists *M.: Fizmat-lit*. 2006. 816 p. (in Russian).
-

Кондращенко Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))
E-mail: kondrashchenko@mail.ru

Титов Сергей Петрович, аспирант – ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))
E-mail: titovs3094@yandex.ru

Казakov Андрей Алексеевич, аспирант – ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))
E-mail: kazak_off1993@mail.ru

ABSTRACTS OF PAPERS PUBLISHED IN ISSUE

Potapova E.N., Krivoborodov Yu.R. Obtaining complex environmental permissions by enterprises industry of building materials: First results

Potapova E.N., Krivoborodov Yu.R. Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

The features of the transition to technological regulation in the field of environmental protection in the Russian Federation are described. The steps taken by cement manufacturing enterprises to obtain the first integrated environmental permits are shown.

Keyword: environmental protection, best available technologies, integrated environmental permits.

Samchenko S.V., Kudryashov N.I., Gurkin A.Yu. Thermodynamic evaluation of the effect of calcium carbonate on cement hydration

Samchenko S.V., Gurkin A.Yu. NRU MGSU Moscow state University of civil engineering, Moscow, Russia

Kudryashov N.I. Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

The use of calcium carbonate in the composition of cement compositions is considered from the point of view of its chemical activity during cement hydration. The activity of limestone (calcium carbonate) was determined from the standpoint of the thermodynamic probability of the occurrence of reactions when comparing the values of the isobaric-isothermal potential or Gibbs energy (ΔG_{298}) of the occurrence of reactions during cement hydration. The magnitude of the change in isobaric-isothermal potentials was found by calculating the $\Delta G = f(T)$ reactions in silicate systems based on known thermodynamic data. The values of the isobaric-isothermal interaction potential of calcium carbonate with cement minerals during its hydration and crystalline hydrates formed in this process are calculated. The possibility and preference of chemical reactions in cement compositions with calcium carbonate during cement hydration are analyzed. By the magnitude of the isobaric-isothermal potential ΔG_{298} , the degree of nonequilibrium of one or another reaction was estimated in real conditions. The thermodynamic assessment of the effect of calcium carbonate on cement hydration made it possible to substantiate the manifestation of the chemical activity of calcium carbonate when cement was added to the composition. The formation of calcium hydrocarboaluminate in cement compositions with limestone and the possibility of the formation of calcium hydrosilicates of different compositions in such compositions are theoretically justified. The theoretical conclusions made allow us to determine further experimental studies in cement compositions with calcium carbonate.

Keywords: process thermodynamics, isobaric-isothermal potential, cement hydration, calcium hydrocarboaluminate, calcium carbonate, limestone.

Kondrashenko V.I., Titov S.P., Kazakov A.A. Activation of cement in the mill of the vortex type. Part 2. Changing the shape of cement particles

Kondrashenko V.I., Titov S.P., Kazakov A.A., Federal State Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT - MIIT), Moscow, Russia

The results of the analysis of the shape of Portland cement grains subjected to processing in a vortex type mill are presented. To evaluate the shape of cement particles, a dimensionless criterion is proposed, which is an elevated ratio of the particle area to the square of its perimeter length. Using the proposed criterion, the scientific hypothesis on increasing the activity of cement by modifying the shape of cement particles processed in a vortex type mill, which consists in giving the particles a more rounded shape, is confirmed. To assess the shape of the particles, a region of rational integer values of the order of the proposed criterion is established.

Keywords: activation, vortex type mill, particle shape criterion, particle embossment, properties of Portland cement

Calcium pyrophosphate ceramics obtained via firing of cement stone

T.V. Safronova¹, Yu.S. Lukina², S.P. Sivkov², O.U. Toshev¹, G.K. Kazakova¹, T.B. Shatalova¹, Ya.Yu. Filippov¹,

K.V. Malyutin³, Ya. Azizyan-Kalendarag^{4, 5}

¹ Lomonosov Moscow state University (Russia, Moscow)

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

Международный журнал
по вяжущим, керамике, стеклу и эмалям
Том 27, № 1

Издатель РХТУ им. Д. И. Менделеева

Редактор и корректор Т. В. Кузнецова
Верстка Н. Н. Морозова

Подп. к печ. 25.03.2020. Печ. л. 4,0. Усл. печ. л. 4,1. Формат 60x90/8
Печать офсетная. Заказ 15. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии РХТУ им. Д. И. Менделеева
125047, Москва, Миусская пл., 9
