

Песчанская В. В.,  
Макарова А. С.,  
Голуб И. В.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ ТВЕРДЕНИЯ И СВОЙСТВА ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА

*Изучено влияние механической активации электрокорунда и матричного компонента низкоцементных корундовых бетонов на изменение морфологии и свойства механоактивированных материалов, кинетику твердения и свойства корундовых бетонов. Экспериментальными исследованиями установлено влияние длительности механической активации электрокорунда на изменение реакционной активности и скорость твердения матричного компонента, формирование низкопористой и прочной структуры огнеупорного бетона.*

**Ключевые слова:** низкоцементный корундовый бетон, электрокорунд, алюминаткальциевый цемент, матричный компонент, механическая активация, кинетика твердения, показатели свойств.

### 1. Введение

Существенные преимущества неформованных огнеупорных материалов, в частности, бетонов, низкоцементных огнеупорных бетонов, отличающихся низкой пористостью, высокой механической прочностью, химической и термической стойкостью определили тенденцию увеличения объемов их изготовления и потребления. Эффективное сочетание физико-химических свойств низкоцементных корундовых бетонов с высокой адаптационной способностью к условиям эксплуатации в футеровках тепловых агрегатов способствовало расширению областей применения бетонов и дальнейшего развития научных основ проектирования составов многокомпонентных огнеупорных бетонных смесей для изготовления бетонных изделий и монолитных футеровок с требуемыми физико-химическими и эксплуатационными свойствами [1, 2].

### 2. Постановка проблемы

Вещественный состав низкоцементных корундовых бетонов представлен заполнителем — электрокорундом и матричным компонентом, состоящим из тонкодисперсных зерен заполнителя и гидравлического вяжущего — алюминаткальциевого цемента, добавок полифункционального действия. Вещественный и гранулометрический состав матричного компонента оказывает определяющее влияние на реологические свойства бетонных масс, кинетику твердения бетонов, процессы формирования структуры и свойства бетонов в условиях высоких температур эксплуатации [1, 2].

Решение задач направленного регулирования технологических и физико-механических свойств низкоцементных огнеупорных бетонов достигается путем модификации бетонов тонкодисперсными добавками пластификаторов, дефлокулянтов, регуляторов подвижности бетонных масс, ускорителей или замедлителей процессов твердения бетона, реакционно-активных добавок — интенсификаторов спекания и образования новых огнеупорных фаз.

Перспективным направлением в решении задач создания композиционных материалов с эффективной структурой и улучшенными свойствами является использование механической активации [3–6].

### 3. Анализ литературных данных и постановка задач

Механическая активация твердых веществ материалов вследствие создания дефектности структуры кристаллических фаз обуславливает образование активных центров на поверхности частиц, что приводит к повышению их реакционной способности [5, 6].

Механохимическая активация твердых материалов эффективно используется в технологии оксидной керамики, синтезе магнезиальноалюминатных шпинелей [5–11]. Использование механоактивированных заполнителей и вяжущих строительных бетонных смесей обеспечивает снижение пористости цементного камня в бетоне, ускорение начальной стадии твердения и упрочнение кристаллических сростков новообразований [3, 4].

С целью направленного регулирования реакционной активности матричного компонента низкоцементных огнеупорных бетонов исследовали влияние механической активации электрокорунда и матрицы на изменение морфологии и свойства механоактивированных материалов, реакционной активности матрицы и свойства низкоцементного корундового бетона.

### 4. Экспериментальная часть

Исследования проводились с использованием электрокорунда и алюминаткальциевого цемента «Gorkal-70» химический состав, которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исходных компонентов

Наименование материала	Химический состав, %					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
Цемент «Gorkal-70»	70,72	28	—	0,32	0,96	—
Электрокорунд	94,38	0,77	—	0,69	0,70	0,61

Для приготовления матричного компонента использовали предварительно активированный электрокорунд, который получали помолом зерен с размером менее 0,5 мм в вибрационной мельнице при соотношении массы

материала и мелющих тел 1:20 в течение 45 мин. ( $\mathcal{E}_{45}$ ) и 90 мин. ( $\mathcal{E}_{90}$ ). Совместное измельчение и механоактивацию матричных компонентов бетонов ( $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$ ), содержащих электрокорунд (71 %) и цемент (29 %), проводили в течение 50 мин. при соотношении массы материала и мелющих тел 1:10.

Определение удельной плотности материалов проводили с использованием прибора Ле-Шателье, площади удельной поверхности — методом воздухопроницаемости на приборе Т-3. Исследования влияния морфологии на изменение поверхностной структуры частиц механоактивированных материалов проводили с использованием рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-3) и электронной микроскопии (электронный микроскоп «РЭМ-106И»).

Исследования кинетики твердения матриц проводили с использованием прибора Вика, фиксируя во времени глубину погружения иглки в тесто (водотвердое отношение  $B/T = 0,2$ ). Для измерения pH водного раствора над осадком твердой части суспензий ( $B/T = 2$ ) использовали иономер «И-130».

Образцы бетона изготавливали из бетонных смесей, содержащих 75 % электрокорунда, фракции 6-0,063 мм, и 25 % механоактивированной матрицы. Бетонные массы, готовили в лабораторной мешалке, увлажняя водным раствором триполифосфата натрия из расчета 0,1 % от массы бетонной смеси. Методом виброформования при частоте 60 Гц из масс влажностью 5,2–5,6 % формовали образцы-кубы с ребром 50 мм. После выдержки на воздухе в течение 2-х суток, образцы сушили при температуре 110 °С (в течение 24 часов) и обжигали при 1550 °С (выдержка 5 часов). Определение показателей свойств образцов: кажущейся плотности, открытой пористости и предела прочности при сжатии проводили в соответствии со стандартами Украины.

Повышение длительности помола электрокорунда до 90 мин. сопровождалось увеличением плотности материала с 4,49 г/см<sup>3</sup> до 4,51 г/см<sup>3</sup> и площади удельной поверхности на 39 % (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики механоактивированного электрокорунда и матричного компонента

Материал	Длительность помола, мин.		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Площадь удельной поверхности, см <sup>2</sup> /г
	электрокорунд	матрица		
Электрокорунд ( $\mathcal{E}_{45}$ )	45	—	4,49	1662
Электрокорунд ( $\mathcal{E}_{90}$ )	90	—	4,51	2307
Матрица ( $M_{45/50}$ )	45	50	4,08	5554
Матрица ( $M_{90/50}$ )	90	50	4,02	6712

На дифрактограммах порошков электрокорунда  $\mathcal{E}_{45}$  и  $\mathcal{E}_{90}$  (рис. 1) характерные рефлексы  $d(\text{Å})$ : 3,44; 2,54; 2,36; 2,08; 1,73; 1,60; 1,54; 1,40; 1,37; 1,27 соответствуют кристаллической фазе  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , а слабые рефлексы  $d(\text{Å})$ : 2,69; 2,51; 1,84; 1,69; 1,485; 1,452 указывают на присутствие незначительных количеств  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

На рентгенограмме порошка  $\mathcal{E}_{90}$  (рис. 1, б) отмечено уширение пиков, что свидетельствует о повышении дефектности структуры и эффекте аморфизации поверхностного слоя частиц.

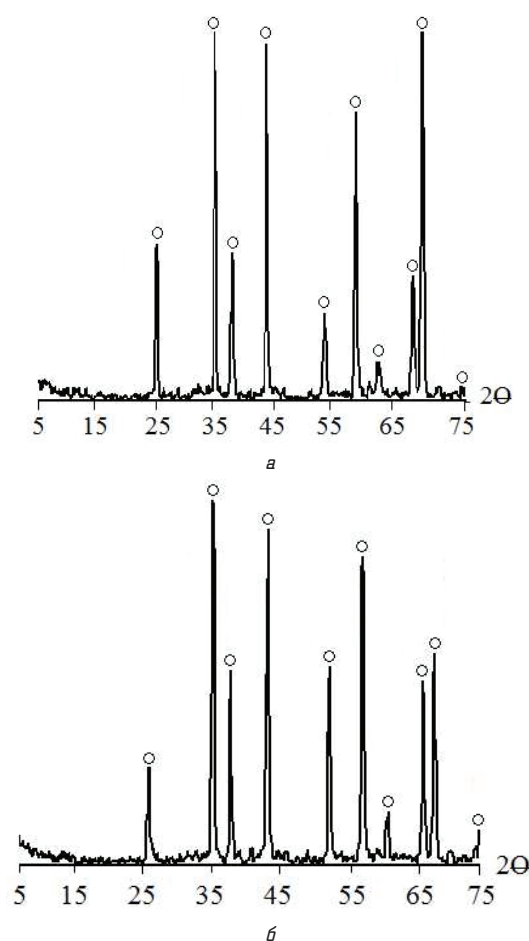


Рис. 1. Дифрактограммы электрокорунда: а —  $\mathcal{E}_{45}$ ; б —  $\mathcal{E}_{90}$ .  $\circ$  —  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

Использование в составе матрицы корунда  $\mathcal{E}_{90}$ , сопровождалось увеличением площади удельной поверхности на 1158 см<sup>2</sup>/г и снижением плотности матрицы  $M_{90/50}$  на 0,06 г/см<sup>3</sup>, вследствие морфологических особенностей материала (рис. 2).

Порошки матриц  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$  представлены частицами корунда, равномерно окутанными слоем цемента. Частицы матрицы  $M_{90/50}$  отличаются многослойной кружевоподобной структурой поверхностного слоя (рис. 2, б).

По результатам рентгенофазового анализа матриц  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$  (рис. 3), фазовый состав материалов представлен  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  ( $d(\text{Å})$ : 3,44; 2,54; 2,36; 2,08; 1,73; 1,60; 1,54; 1,40; 1,37; 1,27), примесями железа, а также характерными для клинкерных минералов дифракционными пиками, соответствующих моноалюминату кальция ( $\text{CA}$ ) — 2,94; 2,54; 2,37; 1,92; 1,54; 1,51 и диалюминату кальция ( $\text{CA}_2$ ) — 2,71; 2,54; 2,08; 1,60; 1,54; 1,51.

Отмечена более высокая интенсивность рефлексов фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  ( $d(\text{Å})$ : 2,54; 2,37; 1,60; 1,37) в матрице  $M_{45/50}$ , содержащей предварительно активированный электрокорунд  $\mathcal{E}_{45}$  (рис. 3, а). В то же время, ширина пиков матриц  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$  сохраняется.

Сопоставительный анализ дифрактограмм электрокорунда ( $\mathcal{E}_{45}$  и  $\mathcal{E}_{90}$ ), матрицы  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$  (рис. 1 и 3), указывает на увеличение интенсивности и ширины характерных рефлексов  $d(\text{Å})$ : с 3,44 до 3,48 и с 3,44 до 3,47 соответственно, что свидетельствует о повышении

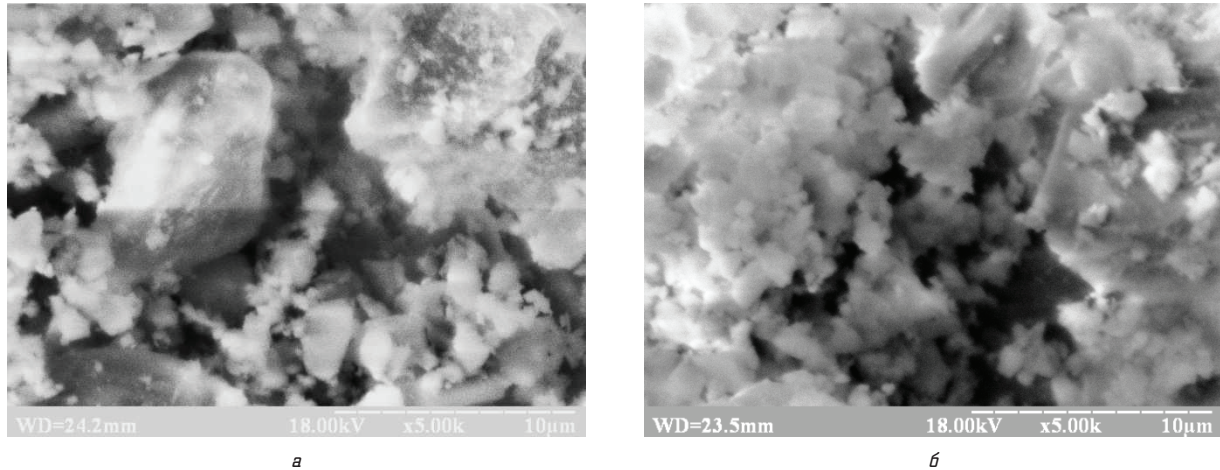


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки матричного компонента: а —  $M_{45/50}$ ; б —  $M_{90/50}$ .  $\times 5000$

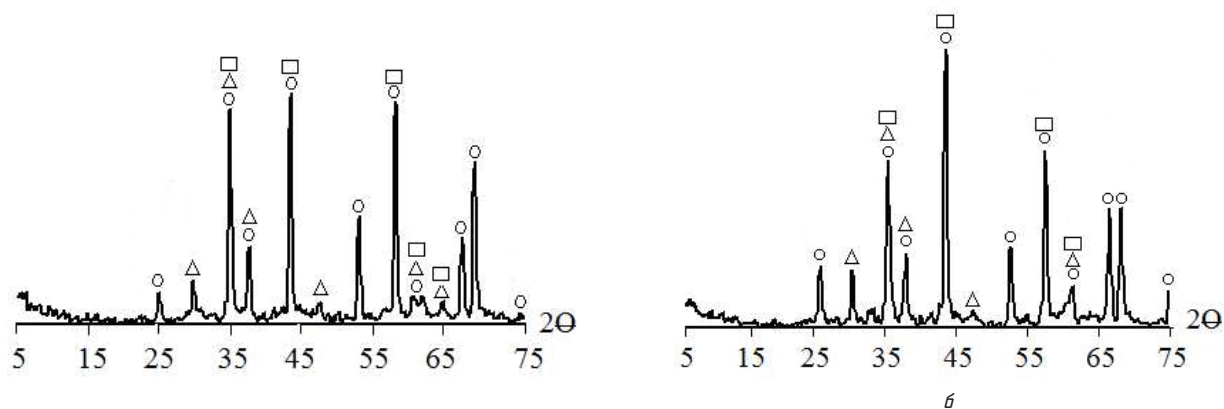


Рис. 3. Дифрактограммы матрицы: а —  $M_{45/50}$ ; б —  $M_{90/50}$ .  $\circ$  —  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\Delta$  —  $\text{CA}$ ;  $\square$  —  $\text{CA}_2$

концентрации дефектов и активных центров на поверхности частиц.

Увеличение длительности помола корунда, приводит к получению более высоких значений pH водной суспензии корунда  $\mathcal{E}_{90}$  (9,60) по сравнению с pH суспензии  $\mathcal{E}_{45}$  (8,68), что обусловлено наличием катионов примесей металлов на поверхности частиц корунда, оказывающих существенное влияние на изменение кислотно-щелочного баланса суспензий (табл. 3).

Совместная механоактивация корунда и цемента сопровождается усилением блокирующего действия частиц цемента, что подтверждается близкими значениями pH суспензий матриц  $M_{45/50}$  (9,85) и  $M_{90/50}$  (10,05). Кинетика изменения pH суспензии матрицы  $M_{90/50}$  и  $M_{45/50}$ ,

сокращение сроков начала и конца схватывания теста на 54 мин. и на 1 час 54 мин. соответственно (табл. 3) свидетельствуют об ускорении процессов гидратации цемента, образовании гидрат-геля и коллоидизации цементной фазы, как результат увеличения времени механоактивации корунда.

Исследования кинетики твердения матричного теста  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$  позволяет оценить их реакционную активность (рис. 4).

Так, более высокая скорость твердения матричного теста, при заглублении иглы прибора в тесто на 10 мм, 20 мм, 30 мм и 38 мм, соответствует времени 110 мин., 125 мин., 120 мин и 124 мин. для теста матрицы  $M_{90/50}$ . Причем, начальный период твердения,

Таблица 3

Сроки схватывания матричного компонента и pH суспензий

Материал	В/Т	Сроки схватывания, час.-мин.		pH суспензий, час					
		начало	конец	0	3	6	9	12	15
$\mathcal{E}_{45}$	2,0	—	—	8,68	—	—	—	—	—
$\mathcal{E}_{90}$	2,0	—	—	9,60	—	—	—	—	—
$M_{45/50}$	0,2	1—13	4—47	—	—	—	—	—	—
	2,0	—	—	9,85	11,01	11,70	11,76	11,48	11,48
$M_{90/50}$	0,2	0—19	2—43	—	—	—	—	—	—
	2,0	—	—	10,05	11,22	11,90	10,74	10,74	10,75

соответствующий заглублению иглы на 20 мм, составляет 53 мин. и 124 мин. для теста матриц  $M_{90/50}$  и  $M_{45/50}$  соответственно. Последующий период твердения: от момента достижения заглубления иглы на 20 мм и до времени конца схватывания матричного теста  $M_{45/50}$  составляет 91 мин. и 90 мин. для теста матрицы  $M_{90/50}$ . Таким образом, длительность предварительной активации корунда в значительной степени влияет на скорость твердения матричного компонента в начальный период, однако, в дальнейшем существенного влияния на процессы твердения не оказывает.

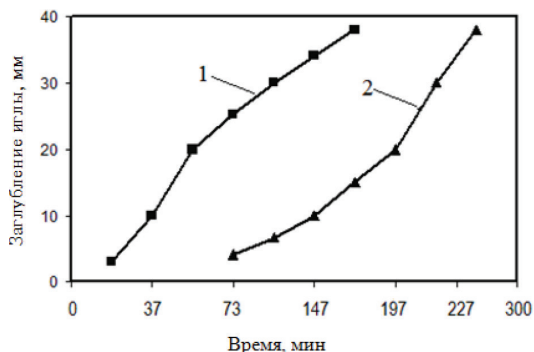


Рис. 4. Кинетика твердения матричных компонентов:  
1 —  $M_{90/50}$ ; 2 —  $M_{45/50}$

Результаты определения свойств бетонных образцов, содержащих матрицу  $M_{45/50}$  и  $M_{90/50}$ , показали, что использование матрицы  $M_{45/50}$  улучшает уплотнение и упрочнение бетона после сушки (табл. 4).

Таблица 4

Показатели свойств корундового бетона

Состав бетона		Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>
Электрокорунд фр. 6-0,063 мм	Матрица ( $M_{45/50}$ )	10,06 13,39	3,18 3,28	55,9 105,6
	Матрица ( $M_{90/50}$ )	11,91 12,88	3,19 3,37	39,5 143,2

Примечание: числитель — температура 110 °С; знаменатель — 1550 °С

В тоже время, предварительная механоактивация электрокорунда в течение 90 мин., интенсифицирует процессы спекания и уплотнения бетона при высоких температурах обжига и способствует формирования плотной микропористой механически прочной структуры бетона.

## 5. Выводы

Проведенными исследованиями установлено существенное влияние механической активации на изменение

морфологии и свойств электрокорунда и матричного компонента. Установлено влияние длительности механической активации электрокорунда на изменение реакционной активности и скорости твердения матричного компонента. Экспериментальными исследованиями показана возможность направленного регулирования скорости гидратации цемента и развития кристаллизационных контактов между цементом и зернами заполнителя, способствующих формированию эффективной структуры и свойств огнеупорных бетонов.

## Литература

- Пивинский, Ю. Е. Неформованные огнеупоры нового поколения [Текст] / Ю. Е. Пивинский, О. Г. Усыряев // Новые огнеупоры. — 2006. — № 1. — С. 35–41.
- Кашеев, И. Д. Неформованные огнеупоры [Текст]: справоч. изд. в 2 т. / И. Д. Кашеев, М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский. — М.: Теплотехник, 2004. — Т. 2: Свойства и применение неформованных огнеупоров. — 440 с.
- Коваленко, В. В. Синергетичний ефект зростання міцності бетону внаслідок механоактивації цементу й заповнювача [Текст] / Коваленко В. В., Горобець Л. Ж. // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». — 2008. — № 38. — С. 113–118.
- Абрамов, М. А. Влияние механохимической активации на физико-химические свойства кварцевого песка и структурно-механические характеристики вяжущих композиций на его основе [Текст] / Абрамов М. А., Степанов Е. Г., Яблонский О. П. // Химия и химическая технология. — 2009. — Т. 52, вып. 8. — С. 75–77.
- Болдырев В. В. Механохимия и механическая активация твердых веществ [Текст] / В. В. Болдырев // Успехи химии. — 2006. — № 75. — С. 203–216.
- Болдырев В. В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / Болдырев В. В. и др.; отв. ред. Е. Г. Авакумов; Рос. Акад. наук, Сиб. отд.-ние; Ин-т химии твердого тела и механохимии. — Новосибирск: СО РАН, 2009. — 343 с. — (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 19)
- Прокофьев, В. Ю. Процессы измельчения и механохимической активации в технологии оксидной керамики [Текст] / Прокофьев В. Ю., Гордина Н. Е. // Стекло и керамика. — 2012. — № 2. — С. 29–34.
- Косенко, Н. Ф. Синтез магнезиальноалюминатной шпинели из оксидов с различной предысторией [Текст] / Косенко Н. Ф., Смирнова М. А. // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 9. — С. 3–11.
- Kong L. B. MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spine phase derived from oxide mixture activated by a high-energy ball milling process [Text] / Kong L. B., Ma J., Huang H. // Mater Lett. 2002. — V. 56. — N 3. — P. 238–243.
- Zhihui Zh. Influence of mechanical activation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on synthesis of magnesium aluminate spinel [Text] / Zhihui Zh., Nan L. // Sci. Sinter. 2004. — V. 36. — N 2. — P. 73–79.
- Domansi D. Mechanochemical synthesis of magnesium aluminate spinel powder at room temperature [Text] / Domansi D., Urretavizcaya G., Castro F. J. et. al // J. Amer. Ceram. Soc. 2004. — V. 87. — N 11. — P. 2020–2024.

## ВЛИВ МЕХАНІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ НА ПРОЦЕСИ ТВЕРДНЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕТРИВКОГО БЕТОНУ

Досліджено вплив механічної активації електрокорунду і матричного компоненту низькоцементних корундових бетонів на змінення морфології і властивостей механоактивованих матеріалів, кінетику тверднення матричного компоненту і властивості корундових бетонів. Експериментальними дослідженнями встановлено вплив тривалості механічної активації електрокорунду на змінення реакційної активності і швидкість тверднення матричного компоненту, формування низькопористої й міцної структури вогнетривкого бетону.

**Ключові слова:** низькоцементний корундовий бетон, електрорунд, алюмінаткальцієвий цемент, матричний компонент, механічна активація, кінетика тверднення, показники властивостей.

*Песчанская Виктория Викторовна, доцент кафедри хімічної технології кераміки і огнеупоров, Національна металургічна академія України, e-mail: v\_peschanska@mail.ru.*  
*Макарова Анна Сергіївна, аспірант кафедри хімічної технології кераміки і огнеупоров, Національна металургічна академія України, e-mail: makaronchik2@yandex.ru.*  
*Голуб Ірина Валеріївна, доцент кафедри хімічної технології кераміки і огнеупоров, Національна металургічна академія України.*

*Пісчанська Вікторія Вікторівна, доцент кафедри хімічної технології кераміки і огнеупорів, Національна металургічна академія України.*

*Макарова Анна Сергіївна, аспірант кафедри хімічної технології кераміки і огнеупорів, Національна металургічна академія України.*

*Голуб Ірина Валеріївна, доцент кафедри хімічної технології кераміки і огнеупорів, Національна металургічна академія України.*

*Peschanskaya Victoria, National metallurgical academy of Ukraine, e-mail: v\_peschanska@mail.ru.*

*Makarova Anna, National metallurgical academy of Ukraine, e-mail: makaronchik2@yandex.ru.*

*Golub Irina, National metallurgical academy of Ukraine.*

УДК 005.8:65.014.12

**Филатов А. С.,  
Хрутьба В. А.**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО КЛИМАТА ПРОЕКТНЫХ КОМАНД КАК ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*В статье рассмотрены подходы, позволяющие повысить эффективность взаимодействия между членами проектной команды. Определены основные проблемы, связанные с общей психологической средой в команде. Предложен подход оптимизации внутреннего психологического климата команды для эффективного использования трудовых ресурсов с использованием компьютерной программы «Лад». Рассмотрен пример оптимизации внутреннего психологического климата для предприятия «САНТЪЯГО КО».*

**Ключевые слова:** проектная команда, управление командой, соционика, психологический климат, оптимизация работы команды.

### 1. Постановка проблемы

Экономическая деятельность в Украине бурными темпами развивается по направлениям, ведущим к конкурентным формам борьбы. В этих условиях возрастает роль управления психическим состоянием «человеческих ресурсов» в системе факторов, обеспечивающих эффективность функционирования государств, регионов и предприятий. За короткое время лидерам Украины от микро- до мегауровня придется преодолеть путь, пройденный западной экономикой в течение столетий, в которой соревновательные мирные и немирные формы борьбы всегда выступали движущим стимулом ее развития на путях мира и войны. Сначала конкуренция в этих государствах сосредоточивалась вокруг технологий, затем сдвинулась в сферу маркетинга и планирования, совершенствования коммуникаций и логистики с потребителями (конкурентами и противниками). В настоящее время она сконцентрировалась на проблеме управления психическим состоянием «человеческих ресурсов» и нанотехнологиях. По мнению ведущих западных специалистов в этой области, к 2020 году следует ожидать усиления конкуренции в борьбе за улучшение и управление психическим состоянием работников. Именно этот фактор станет решающим в деле

выживания и успеха государства и организации в экстремальных условиях [1].

Отечественным руководителям, бизнесменам и менеджерам придется все проблемы решать одновременно. Резервы производства в условиях современности лежат в формировании определенной организационной культуры, т. е. способности работать в гибкой организационной среде, кросс-функциональных командах [2], управлять изменениями в ней, пользоваться управленческим инструментарием. При приеме на работу во время тестирования, собеседования или при решении реальной практической задачи можно выявить тех людей, которые подходят по определенным принципам работы и взаимодействия в команде, а уже отобранных людей распределять по оптимальной схеме взаимодействия для достижения определенного результата. Когда заранее определены навыки и качества работников для выполнения определенных функций, тогда решение формирования команды проекта значительно упрощается. Использование комплексных соционических знаний и способностей неразрывно связано с психологической культурой, благодаря которой руководитель любого уровня сможет избежать искусственных барьеров между собой и подчиненными, формировать целевые команды, способные решать поставленные задачи в любых сферах деятельности человека.