

СТЕКЛО

И КЕРАМИКА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



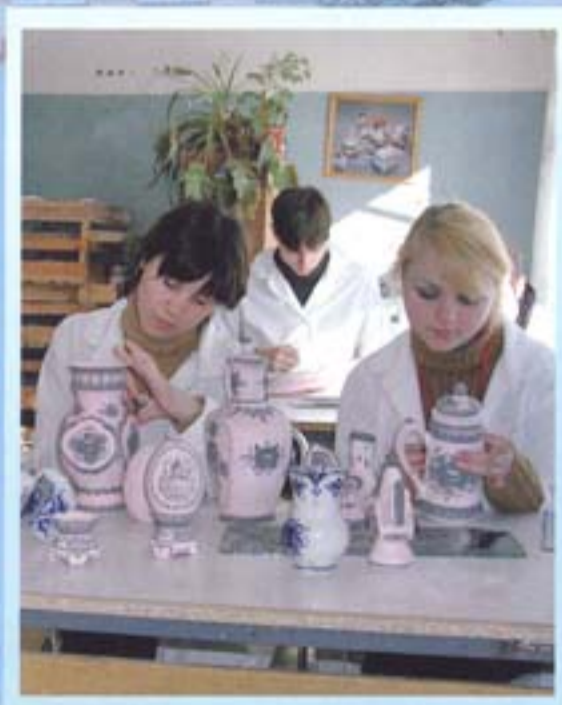
ГОУ ВПО
“Гжельский государственный
художественно-промышленный
институт”

осуществляет обучение
 по 13 специальностям,
 в том числе:

- Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы
- Дизайн
- Производство тугоплавких неметаллических и силикатных материалов и изделий
- Монументально-декоративное искусство



www.art-gzhel.ru



ГЖЕЛЬСКАЯ ШКОЛА КЕРАМИКИ: ОТ РИСОВАЛЬНЫХ КЛАССОВ ДО ВУЗА

Д-р пед. наук **Б. В. ИЛЬКЕВИЧ**, **Е. П. СУХОДОЛОВА** (e-mail: ilk_bv@mail.ru)

Гжельский государственный художественно-промышленный институт (ГТХПИ)
(Россия, г. Гжель, Московская область)

Произведения гжельских мастеров известны всему миру. Они восхищают и радуют людей самых разных национальностей, возраста, культуры, хотя в палитре художника, расписывающего гжельские изделия, обычно всего два цвета — синий и белый. Феномен популярности можно объяснить тем, что кобальтовая краска в руках искусного мастера дает множество оттенков.

Такие мастера требовались во все времена. В Гжели их стали готовить 110 лет назад. Начиналось все с деятельности двух выдающихся личностей, основателей московской школы технического рисования, убежденных, что прикладное искусство — это именно искусство, а не ремесло, и, значит, работать в этой области должны не ремесленники, а мастера-художники, способные развивать национальный стиль. Так считал граф Сергей Григорьевич Строганов — государственный деятель и меценат, попечитель Московского учебного округа. Его единомышленником был директор Строгановского художественно-промышленного училища Николай Васильевич Глоба — камергер императорского двора, действительный статский советник, член Совета Министерства торговли и промышленности. Благодаря их вниманию на промыслах, в том числе и на гжельском, стали открываться «рисовальные классы». «Известия общества преподавателей графических искусств» писали по этому поводу: «... важным проявлением художественно-просветительской деятельности Строгановского училища стало формирование сети филиалов училища в стране, прежде всего в Московской губер-



нии, ... отделение создали в селе Речицы Бронницкого уезда Московской губернии. Там были открыты классы рисования и живописи по фарфору для кустарей, работающих на местной фарфоровой фабрике. В январе 1901 г. тринадцать учеников приступили к занятиям по элементарному рисованию и композиции по гончарной посуде».

По сведениям из отчета преподавателя рисовального класса В. Трофимова, «посещали классы крестьяне с. Речицы в возрасте от 10 лет, 18 – 20 человек, преимущественно девочки, потому что распиской посуды занимаются женщины... Рисование велось применительно к фарфору и фаянсу. Работы учеников, представленные на рождественский экзамен, были отмечены преподавателями Строгановского училища денежными наградами и удостоены похвалы педагогического совета. Дети обучались бесплатно, получали стипендию, бесплатное питание и одежду».

Создание таких классов, считал Н. В. Глоба, было вызвано запросами самой отечественной культуры: традиционные художественные ремесла уступали позиции промышленному производству, появилась необходимость специально готовить художников, способных развивать традиции народного искусства.

В дальнейшем филиал Строгановского училища в Речицах был реорганизован в профшколу Наркомпроса, затем появились учебные мастерские по кера-



мическому производству, а в 1931 г. открылся Гжельский керамический техникум, который стал готовить специалистов в области декоративно-прикладного искусства (до 1962 г.), строительства, технологии керамики. В 1991 г. техникум получил статус художественно-промышленного колледжа, а потом и института (2002 г.).

Пройдя путь от “рисовальных классов” до высшего учебного заведения с мировой известностью, институт аккумулировал бесценный опыт по подготовке художников, мастеров фарфора, майолики, шмота, специалистов для различных отраслей народного хозяйства.

В 1970 г. началось строительство нового учебного комплекса, который был введен в эксплуатацию в 1980 г. За это время удалось возобновить подготовку по специальности “Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы” (с 1982 г.). Классным руководителем вновь набранной группы художников был Виктор Степанович Бырдин, ныне профессор, кандидат технических наук. К подготовке художников-керамистов были привлечены молодые специалисты объединения “Гжель”: В. В. Неплюев, Ю. Н. Гаранин, А. В. Царегородцев, Г. П. Московская и др.

Усилиями талантливых педагогов и художников стала создаваться гжельская школа керамики с уникальным обучением мастерству росписи. И тогда, и в настоящее время особое внимание уделяется традиционному направлению в создании произведений из фарфора и других видов керамики. Благодаря тому что в институте создана современная учебно-производственная база с мастерскими и собственным мини-заводом, студенты на практике знакомятся с технологией производства художественных изделий утилитарного и декоративного назначения. Не остаются без внимания и новые тенденции декоративно-прикладного искусства, в частности расширение сферы применения декоративного оформления в архитектуре. Под руководством заслуженных художников РФ С. В. Олейникова, Н. П. Бекетова и других преподавателей студенты экспериментируют в этом направлении художественной деятельности. Результат освоения новых и традиционных техник и видов искусства — дипломные и курсовые работы, которые украшают интерьеры института как музейные экспонаты.

В годы перестройки был значительно расширен спектр направлений профессиональной подготовки. Началось обучение таким специальностям, как “Экономика и бухгалтерский учет” (1986 г.), “Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования” (1987 г.), “Туризм” (1999 г.), “Правоведение” (2000 г.). Успехи педагогического коллектива были признаны на государственном уровне, и в 1996 г. постановлением Правительства РФ “За создание региональной системы непрерывного образования и воспитания молодого поколения народного художественного промысла Гжель” директор колледжа Вик-



тор Михайлович Логинов и первый заместитель директора Алла Александровна Андреева были удостоены Государственной премии.

В 2002 г., когда учебное заведение было реорганизовано в институт, колледж сохранился как структурное подразделение вуза, выполняющее задачи подготовки специалистов в региональной системе непрерывного образования. Значение колледжа возросло, поскольку он, с одной стороны, готовит специалистов среднего звена, а с другой — является базой для комплектования контингента института. Первым ректором института стал доктор педагогических наук, Герой Социалистического Труда В. М. Логинов, проректором — А. А. Андреева, кандидат педагогических наук, Заслуженный работник культуры РФ. Начался новый этап развития учебного заведения, и в 2003 г. на факультет “Декоративно-прикладное искусство” поступили первые студенты. Факультет возглавила Галина Петровна Московская, заслуженный художник России, лауреат премии Союза художников России и Министерства культуры РФ.

В 2004 г. проректором по учебной и научной работе был назначен доктор педагогических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Борис Владимирович Илькевич, имеющий большой опыт работы в высшей школе. В настоящее время он является ректором института и передает свои знания и умения коллегам. В том же 2004 г. началась подготовка специалистов в области сервиса и туризма, государственного и муниципального управления. Были созданы факультеты “Сервис и туризм” (декан факультета — кандидат педагогических наук, доцент Татьяна Борисовна Лисицына) и “Экономика и управление” (декан факультета — кандидат педагогических наук, доцент Надежда Ивановна Шульга).

С 2008 г. ведется обучение по специальности высшего профессионального образования “Финансы и кредит”, а в 2009 г. институт получил право на подготовку студентов по специальностям высшего профессионального образования “Дизайн” и среднего профессионального образования “Дизайн (по отраслям) в области культуры и искусства”.



Сегодня институт выпускает специалистов по пяти специальностям высшего и восьми специальностям среднего профессионального образования. Высокий кадровый потенциал (в институте преподают семь докторов и 23 кандидата наук, шесть Заслуженных художников РФ, три Заслуженных учителя РФ, Заслуженные работники культуры, Заслуженные строители) и хорошая материальная база позволяют обеспечивать качественный уровень подготовки специалистов.

В настоящее время вуз принимает активное участие в выполнении целевой программы кадрового обеспечения экономики Московской области. В институте эффективно работает служба содействия трудоустройству выпускников. Постановлением Бюро Президиума Российской академии образования в 2006 г. вузу был присвоен статус экспериментальной площадки Российской академии образования как "Ресурсному центру мастеров народных художественных промыслов России".

В ГХПИ разработана и реализуется концепция воспитательной работы, главной целью которой является обеспечение оптимальных условий для становления личности будущего специалиста, обладающего высокой культурой, гражданской ответственностью, способного к профессиональному и интеллектуальному творчеству. В реализации программ воспитательной работы деятельное участие принимают студенческое научное общество, совет студенческого самоуправления, студенческий театр-студия "СТЕП", вокальная студия "Гжель", фольклорный ансамбль "Синяя птица" и другие художественные и спортивные коллективы.

Студенты института стали активными участниками и победителями творческих фестивалей, конкурсов, выставок: Всероссийской художественной выставки "Молодые художники России", Выставки-ярмарки народных художественных промыслов России "Ладья", Московского фестиваля студенческого творчества "Фестос", Московского межвузовского фестиваля "Паруса надежды", Всероссийского кон-

курса "Мастерами славится Россия", Международной выставки-конкурса современного искусства "Russian art week", Международного конкурса дизайнеров "Золотая линия" и многих других.

Хорошо понимая, что профессиональное образование является фундаментом социально-экономического прогресса России, в институте стараются развивать славные традиции народных мастеров, воспитывать в молодежи трудолюбие и профессиональную мотивацию, готовить специалистов высокого класса для различных отраслей экономики, культуры и искусства. Широкий профиль обучения способствует решению социальных проблем молодежи. В гжельском регионе, как и во многих других, сегодня большую роль играет доступность образования и возможность самореализации подрастающего поколения. Гжельский государственный художественно-промышленный институт предоставляет молодежи возможность получить профессию, пользующуюся спросом на рынке труда и гарантирующую достойный уровень жизни. Число студентов за последние три года увеличилось почти в 2 раза. Наряду с направлением декоративно-прикладного искусства в институте планируется в 2011 г. открытие новых направлений бакалавриата — "Гостиничное дело", "Экономика", "Менеджмент", "Социально-культурная деятельность", "Народная художественная культура", специальности "Монументально-декоративное искусство". Колледж ГХПИ, соответственно, будет обучать новым специальностям: "Менеджмент", "Гостиничный сервис", "Право и организация социального обеспечения", "Социально-культурная деятельность", "Живопись", "Скульптура", "Народное художественное творчество".

В состав вуза входят четыре факультета, при этом факультет декоративно-прикладного искусства и дизайна является основным, определяющим специфику образовательного учреждения. В институте стараются прививать будущим художникам особый, неповторимый гжельский почерк в создании керамических, живописных и дизайнерских работ. Из его стен поколение за поколением выходят в жизнь профессиональные художники. Они изучают традиции искусства гжельских мастеров, чтобы творчески развивать их, формируя собственный художественный стиль.

К народным традициям, к искусству приобщаются все студенты, какой бы специальности они не обучались. И сегодня история России пишется там, где готовятся кадры для народных художественных промыслов, сохраняются традиции, совершенствуются навыки художественного мастерства, живет душа трудолюбивого русского народа. Гжельский государственный художественно-промышленный институт остается главным центром сохранения традиций всемирно известного керамического промысла.

ЗАВИСИМОСТЬ БЕЛИЗНЫ ФАРФОРА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА

Канд. техн. наук Н. С. РУСОВИЧ-ЮГАЙ (e-mail: nama7@yandex.ru), Т. Л. НЕКЛЮДОВА

Гжельский государственный художественно-промышленный институт (ГГХПИ)
(Россия, г. Гжель, Московская область)

Рассмотрены взаимосвязи эстетических свойств фарфора (белизна и цвет), его структуры и технологических факторов. Результаты исследований демонстрируют возможность регулирования показателей белизны фарфора с помощью качественного сырья, добавок минерализаторов, оптимальных режимов обжига. Использование различных методов определения белизны и цвета фарфора позволяет оценивать влияние технологических факторов на формирование колористических характеристик материала. Установлена возможность корреляции значений белизны фарфора, определенных на спектрофотометрах "Спекол" и "Пульсар"

Ключевые слова: фарфор; структура фарфора, методы оценки цвета и белизны фарфора, технологические факторы, температура обжига, монооксид углерода, красящие оксиды

Уникальная особенность фарфора состоит в его белизне, просвечиваемости и твердости. Восприятие человеком цвета фарфора зависит от множества факторов (внешней освещенности, восприимчивости глаза и др.).

Существующая методика определения белизны на приборе "Спекол" на керамических заводах не всегда точно идентифицирует цвет фарфора.

Цветовые модели, используемые при определении цвета, — это совокупность абсолютных или относительных параметров цвета, позволяющих описать цвет в применяемом цветовом пространстве методом математического описания цвета в компьютерных технологиях [1].

В последнее время для определения цвета и белизны материала все чаще обращаются к цветовой модели $L^*a^*b^*$, разработанной Международной комиссией по освещению (CIE). Цвет в данной модели определяется тремя параметрами, светлотой L и двумя хроматическими компонентами: a^* — изменяющимся параметром от зеленого до красного цвета и b^* — изменяющимся параметром от синего до желтого цвета. Значения хроматических компонентов a и b задаются числами в диапазоне от -128 до $+128$. Светлота изменяется в диапазоне от 0 до 100 %.

В работах Ю. Т. Платова, О. В. Глазкова использована колористическая система CIE $L^*a^*b^*$ в исследовании процессов структурообразования фарфора — от подготовки фарфоровых масс до формирования конечной структуры фарфора в процессе обжига.

Значения координаты цвета и белизны, полученные в ходе измерений колористических характеристик фарфора ЗАО "Объединение Гжель" в системах МКО и по ГОСТ 24768–2000, свидетельствуют о влиянии технологических факторов на формирова-

ние структуры и колористических характеристик материала.

Известно, что белизна фарфора зависит от чистоты используемого в производстве сырья и в первую очередь от чистоты и количества введенного в массу каолина. Наибольшей белизной обладают фарфоровые изделия, в состав масс которых не вводилась глина, а в качестве пластифицирующей добавки был использован бентонит (массовая доля 4–6 %). Белизна фарфора снижается при наличии в массе красящих оксидов (Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 , MnO_2) и корунда с коэффициентом преломления 1,760 [2]. Зависимость белизны фарфора ЗАО "Объединение Гжель" от содержания красящих оксидов представлена на рис. 1.

Показатели белизны и колористических характеристик у образцов фарфора, выпускаемых в ЗАО "Объединение Гжель", приведены в табл. 1. По молекулярной формуле (табл. 2) можно предположительно определить степень белизны фарфора. Например, исходя из содержания $Fe_2O_3 + TiO_2$ самое минимальное значение белизны может быть у образца МР, максимальное — у образца МКА. Результаты обжига, осуществленного в камерных печах при температуре 1320 °С (объемное содержание монооксида углерода

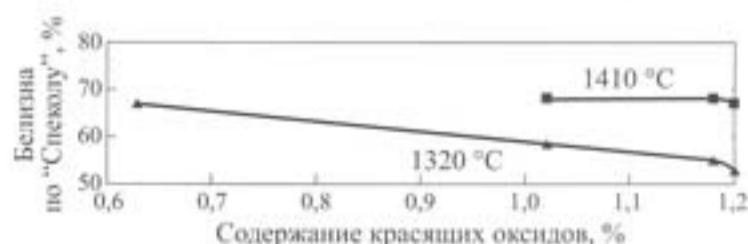


Рис. 1. Зависимость белизны фарфора от содержания красящих оксидов. Точки на кривых соответствуют номерам образцов, приведенных в табл. 1. Температура обжига фарфора задана на кривых

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ МОНОДИСПЕРСНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

Ю. Н. КРЮЧКОВ (e-mail: yu-kryuchkov@yandex.ru)

Гжельский художественно-промышленный институт (Россия, с. Гжель, Московская область)

Проанализированы методы определения зависимости среднего расстояния между частицами в монодисперсных композитах. Предложена уточненная методика определения среднего расстояния между частицами в дисперсных системах с указанием координационного числа, учитывающая величину объемной плотности, связность системы и степень ее уплотнения на основе корпускулярной и перколяционной моделей. Проведенное сравнение расчетов по уточненной методике с экспериментами показало их хорошее согласование. Методика применима для композиционных, пористых и коллоидных систем

Ключевые слова: дисперсные системы, структура, объемная плотность, расстояние между частицами, координационное число, корпускулярная и перколяционная модели, уплотнение, композиционные материалы, пористые и коллоидные системы

Структура композиционных и пористых материалов в значительной степени определяет их физические характеристики [1 – 5]. Основные структурные параметры этих систем — размер частиц и межчастичных контактов, характер и плотность распределения твердой фазы в дисперсионной среде (матрице).

Для описания свойств макро- и микронеоднородных порошковых материалов используются разные фрактальные [1, 2] и структурно-перколяционные [3 – 5] модели.

Использование фрактальных моделей целесообразно, по-видимому, только для наноматериалов, трех (и более) фракционных композитов, а также для самоорганизующихся (в которых явно проявляются элементы вселенского сознания) систем. Для пористых и композиционных материалов из частиц размером более 1 мкм физически более строгим является применение структурных и перколяционных моделей. Например, удобно использовать изложенную в работах [4, 5] структурную модель проницаемых и композиционных монодисперсных систем, где используются такие показатели, как: D — средний размер частиц составляющих систему (материала), Π — пористость системы, V — относительная объемная плотность упаковки частиц в системе, d — размер межчастичных контактов. По нижеприведенным выражениям легко определяются недостающие параметры: Z — среднее координационное число, S_o — удельная поверхность системы, r — средний радиус и ξ — извилистость капилляров (для пористых материалов), N_c — количество контактов и S_{oc} — площадь межчастичных контактов в единичном объеме. При этом исходим из того, что в единице объема моделируемого материала содержатся $N = 6(1 - \Pi)/(\pi D^3)$ частиц:

$$V = 1 - \Pi = (1 - 2/Z)^2 / [8(1,077 - 1/Z - Z^{-1,16})(0,5 - h/D)^3]; \quad (1)$$

$$h/D = h_o/D - 4(h_o/D)^2(1,5 - h_o/D)/3, \\ h_o/D = [1 - (1 - d^2/D^2)^{0,5}] / 2; \quad (2)$$

$$S_o = 6(1 - \Pi) \{1 - Z[h_o/D - d/D(h_o - h)/D]\} / D; \quad (3)$$

$$\xi = 2 / \{\Pi[1 - (1 - 2h/D)\ln \Pi] / v\}; \quad (4)$$

$$r = 2\Pi[(6/Z)^{0,2} / \xi^{0,5}] / S_o; \quad (5)$$

$$N_c = 3Z(1 - \Pi) / (\pi D^3), \quad S_{oc} = 3Z(1 - \Pi)d^2 / (4D^3), \quad (6)$$

где h — высота межчастичных контактов частиц;

h/D — нормальная деформация частиц;

v — коэффициент формы, равный 0,5 для сферических частиц;

h_o — высота шарового сегмента, приходящегося на один контакт.

Расчеты по выражениям (1), (2) при $d = 0$ согласуются с экспериментальными данными. Так, для $Z = 2,64$ (порог перколяции) получаем $V = 0,157$, а для $Z = 7,3$ получаем плотность случайной упаковки наполнителя $V_r = 0,63$.

Структуру пористых и композиционных монодисперсных материалов часто оценивают только по значениям среднего размера частиц дисперсной фазы D , числовой плотности частиц N (или их объемной плотности в дисперсионной среде (системе) $V = \pi D^3 N / 6$) и среднему расстоянию между центрами частиц L [6 – 10], что затрудняет оптимизацию структуры этих систем.

Простейший подход к определению среднего межчастичного расстояния в модели сферических частиц изложен в работе [6]. Если в системе известен относительный объем частиц V диаметром D , то получается следующее расчетное выражение:

$$D/L = (V/(\pi/6))^{1/3}. \quad (7)$$

Если известно число сферических частиц в единице объема композита N , то расчет еще более упрощается: $L = 1/N^{1/3}$.

Таблица 1. Результаты определения белизны в колористической системе $L^*a^*b^*$ и по ГОСТ 24768–2000

Образец	Фарфоровая масса	Координаты ¹ цвета, белизны (МКО)							Белизна ² , % по ГОСТ 24768–2000	Температура обжига, °С
		L	a^*	b^*	S	H	G	W_{iso} , %		
1	MP	79,714	-0,762	3,855	3,93	101,187	8,155	35,533	53	1320
2		81,424	-1,211	5,739	5,865	101,912	11,594	29,001	47	1340
3		82,623	-1,573	2,371	2,845	123,359	4,055	49,156	65	1380
4		83,242	-1,801	2,369	2,976	127,236	3,829	50,409	67	1410
6	ГП-2	79,735	-0,639	3,444	3,503	100,502	7,372	37,783	55	1320
7		84,181	-1,160	5,538	5,658	101,832	10,929	36,045	52	1340
8		80,592	-1,452	1,095	1,819	142,966	1,425	51,960	61	1380
9		84,151	-1,375	1,674	2,166	129,392	2,690	55,819	68	1410
10	ММГ	82,734	-1,483	3,332	3,647	113,992	6,180	44,370	58,5	1320
11		80,858	-1,280	4,361	4,544	106,353	8,682	35,124	55,1	1380
12		83,618	-1,970	2,241	2,983	131,324	3,395	51,384	68	1410
13	МКА	84,725	-1,655	2,748	3,208	121,058	4,698	51,503	67	1320

Обозначения: L — светлота; a и b — координаты цветности; S — насыщенность; H — оттенок; G — желтизна; W_{iso} — белизна.

¹ Определены на спектрофотометре “Пульсар”.

² Определена на спектрофотометре “Спекол”.

в печи около 2 %) и продолжительности около 44 ч, подтверждают это предположение. У фарфора на основе английского каолина (см. табл. 1, образец № 13), в составе которого отсутствует оксид титана, а массовое содержание красящих оксидов соответствует 0,63 %, была зафиксирована наивысшая степень белизны по спеколу (67 %) и высокие значения светлоты и низкие показатели желтизны. Самое низкое значение белизны (53 %) соответствовало образцу фарфора MP (см. табл. 1, образец № 1), в составе которого присутствует каолин Просяновского месторождения. Белизна фарфора на основе вторичных кварцитов Гусевского месторождения (см. табл. 1, образец № 6) была равной 55 %. Фарфоровая масса ММГ, содержащая добавку минерализатора в виде магнетита Саткинского месторождения, имела после обжига значение белизны, равное 58,5 % (см. табл. 1, образец № 10), в этом образце был зафиксирован высокий показатель светлоты и низкие значения желтизны.

В ходе перекрестного обжига было установлено, что изменение условий обжига, повышение температуры до 1380 и 1410 °С и увеличение до 4–5 % содержания СО в атмосфере печи в восстановительном периоде повышают значения светлоты и белизны фарфора с одновременным уменьшением желтизны. Образцы фарфора указанных составов после обжига в туннельных печах с различной продолжительностью (22 ч — ускоренный при 1410 °С и 36 ч — при 1380 °С) имели значения белизны до 67–68 %. В то же время было определено, что рост показателя светлоты при повышении температуры обжига не всегда сопровождался увеличением значений белизны. Так, у образцов фарфора MP и ГП-2 (см. табл. 1, образцы № 2, 7), обожженных при температуре 1340 °С, были зафиксированы самые низкие параметры белизны и самые высокие — желтизны, что объясняется условиями проведения обжига, недостаточностью восстановительного процесса при фарфорообразовании.

Таблица 2. Молекулярные формулы фарфоровых масс ЗАО “Объединение Гжель”

Фарфоровая масса	Молекулярная формула
MP	$0,152\text{CaO}$ } $0,152\text{MgO}$ } $0,547\text{K}_2\text{O}$ } $0,168\text{Na}_2\text{O}$ } 4,24 Al_2O_3 } 0,051 Fe_2O_3 } 20,68 SiO_2 } 0,120 TiO_2 }
МКА	$0,150\text{CaO}$ } $0,118\text{MgO}$ } $0,466\text{K}_2\text{O}$ } $0,266\text{Na}_2\text{O}$ } 3,447 Al_2O_3 } 0,057 Fe_2O_3 } 17,330 SiO_2 } 0,0 TiO_2 }
ММГ	$0,136\text{CaO}$ } $0,487\text{MgO}$ } $0,236\text{K}_2\text{O}$ } $0,141\text{Na}_2\text{O}$ } 2,708 Al_2O_3 } 0,033 Fe_2O_3 } 11,005 SiO_2 } 0,06 TiO_2 }
ГП-2	$0,187\text{CaO}$ } $0,166\text{MgO}$ } $0,454\text{K}_2\text{O}$ } $0,193\text{Na}_2\text{O}$ } 3,402 Al_2O_3 } 0,065 Fe_2O_3 } 15,670 SiO_2 } 0,070 TiO_2 }

Таким образом, наиболее отчетливо выявляется зависимость белизны фарфора от содержания красящих оксидов в составах масс при низких температурах (1320 °С) обжига. С изменением условий обжига, увеличением температуры до 1380–1410 °С и содержания монооксида углерода с 2 до 4–5 % влияние красящих оксидов на белизну становится менее выраженным.

Исследования структуры фарфоров различной белизны позволили классифицировать фарфор по степени “зрелости”. К группе недостаточно “зрелого” фарфора можно отнести массы MP и ММГ (рис. 2, а, в), прошедшие обжиг при температуре 1320 °С. Характерной особенностью структуры “незрелого” фарфора является незначительная кайма вокруг зерен кварца, сохранившиеся границы зерен полевых шпатов, слабо развитые кристаллы муллита в виде сетки игл и точечных скоплений, поры в основ-

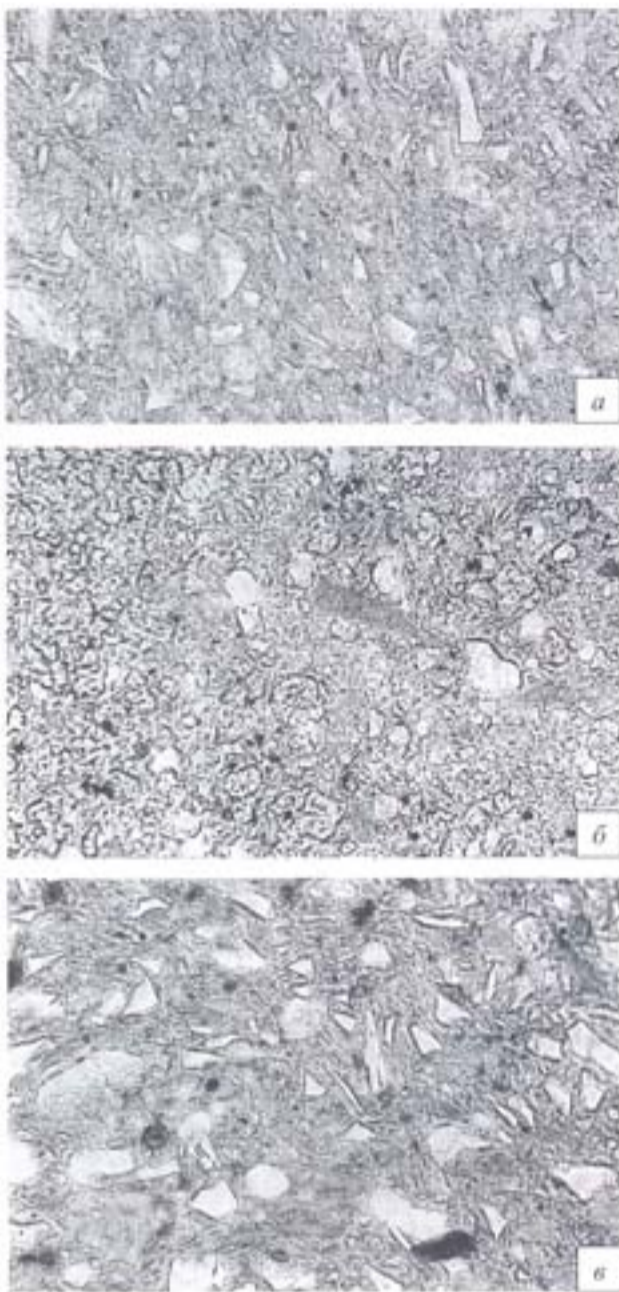


Рис. 2. Структуры образцов фарфора ЗАО "Объединение Гжель"
 а — МР; б — ГП-2; в — ММГ. Температура обжига 1320 °С; ×282

ном небольших размеров и неправильной формы и слияние пор в гнезда. Оценка степени зрелости фарфора осуществлялась по структурно-минералогическим критериям [3, 4].

С увеличением температуры обжига до 1410 °С структура фарфора видоизменяется, приобретая параметры структуры нормально обожженного (зрелого) фарфора (рис. 3). Для "зрелого" фарфора свойственны: развитая кайма вокруг зерен кварца 2–4 мкм, размытые границы зерен полевого шпата и наличие в этих областях густой сетки игол муллита. Муллит в "зрелом" фарфоре представлен точечными образованиями в виде мелких игол, размер которых составляет 1–2 мкм.

В структурах фарфора МР и ММГ установлено присутствие зерен непрореагировавшего кварца обломочной формы с отчетливо выраженным удлинением.

Особенность структуры фарфора ГП-2 (рис. 2, б) на основе фарфорового камня Гусевского месторождения представлена изометричной формой остаточного кварца и небольшим размером его зерен, равным 3–25 мкм, что можно объяснить генезисом кварца, находящегося в составе каолинизированных вторичных кварцитов (фарфорового камня). Для структуры фарфора ГП-2, образованной при температуре обжига 1320 °С, свойственна незрелость, нормальная степень зрелости достигается при температуре 1410 °С.

Группой ученых [5] была выявлена основная причина низких показателей светлоты фарфора, связанная с недостаточной степенью гомогенизации стекломуллитовой матрицы материала. Для количественной оценки стекломуллитовой фазы было предложено использовать показатель J_r , равный отноше-

Таблица 3. Характеристики структуры фарфора

Фарфоровая масса	Температура обжига, °С	Нерастворившиеся зерна кварца				Поры		Размер кристаллов муллита, мкм	
		Объемная доля, %	Ширина каймы вокруг зерен кварца, мкм	Форма зерен	Средняя длина зерен, мкм	Объемная доля, %	Средний размер, мкм	на местах зерен полевого шпата	в общей массе
МР	1320	13,8	1–2	Обломочная	15,1	6,1	8,8	5–7 и 10–12	≤ 1
МР	1380	10,5	2–3	Обломочная	14,0	6,5	10,6	2–6 и 10–15	1–2
МР	1410	9,1	2–4	Обломочная	13,7	6,4	12,4	5–10 и 10–15	1–2
ММГ	1320	12,9	1–2	Обломочная	18,7	6,4	11,1	5–7 и 10–12	≤ 1
ММГ	1380	9,7	2–3	Обломочная	18,1	9,6	17,6	2–5 и 10–15	1–2
ММГ	1410	9,6	2–4	Обломочная	17,2	7,1	13,6	5–7 и 15–20	1–2
ГП-2	1320	10,3	1–2	Окатанная	11,2	10,3	10,5	2–6 и 10–12	≤ 1
ГП-2	1380	7,0	2–3	Окатанная	8,9	7,6	11,0	5–7 и 10–15	1–2
ГП-2	1410	8,1	2–3	Окатанная	9,1	8,1	11,2	2–10 и 15–20	1–2

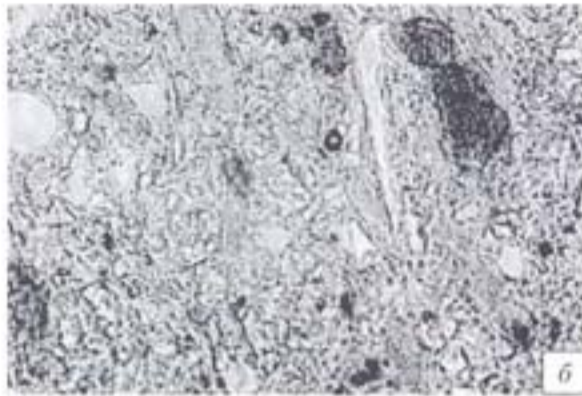
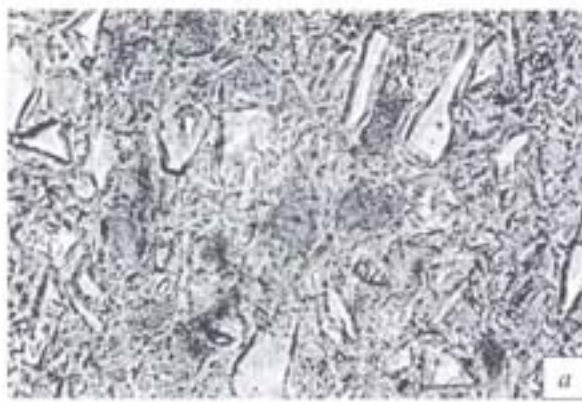


Рис. 3. Структуры образцов фарфора ЗАО "Объединение Гжель"
 а — МР; б — ГП-2; в — ММГ. Температура обжига 1410 °С; ×564

нию содержания муллита к содержанию кварца в фазовом составе фарфора, определенных методом РФА.

Результаты микроскопических исследований структур фарфора различной белизны подтверждают взаимосвязь между показателем светлоты и характером стекломуллитовой фазы. С увеличением температуры обжига наблюдается рост показателей светлоты у большинства образцов. Фарфор со структурой нормальной степени зрелости обладает высокими показателями светлоты при невысоких значениях желтизны (см. табл. 1, образцы № 3, 4, 9, 12) и соответствует нормальным значениям белизны 65–68 % по "Спеколу". Кроме того, установлено снижение значений светлоты и белизны у образцов фарфора ГП-2 и ММГ (см. табл. 1, образцы № 8, 11), структура которых имеет признаки пережога и характеризуется повышенным количеством пор значительных размеров. Также было выявлено усиление степени муллитизации при введении в состав фарфора минерализаторов в виде магнезита Саткинского месторождения, что обусловило повышение значений светлоты и белизны у образцов, особенно при низкой температуре обжига.

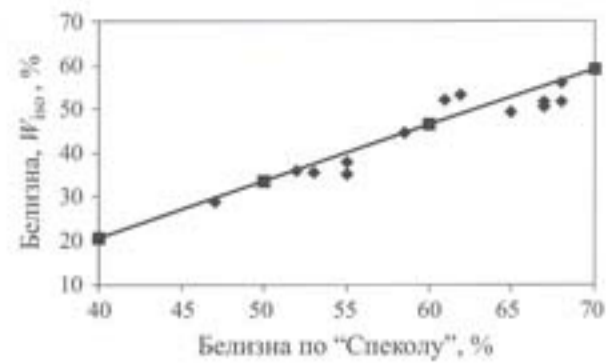


Рис. 4. Корреляционная кривая значений белизны, определенных на спектрофотометрах "Спекол" и "Пульсар"
 ◆ — экспериментальные значения белизны; ■ — расчетные значения белизны по уравнению линейного полинома

В целях корреляции значений белизны фарфора, определенных на спектрофотометрах "Спекол" и "Пульсар", была рассчитана статистическая математическая модель в виде линейного полинома [6]:

$$Y = b_0 + b_1 X;$$

$$Y = 1,282X - 30,63,$$

где $Y = W_{iso}$, белизна в системе МКО;

X — белизна по "Спеколу", %;

$b_0 = -30,63$ и $b_1 = 1,282$ — расчетные коэффициенты уравнения регрессии, найденные по методу наименьших квадратов.

В результате была получена графическая зависимость значений белизны в W_{iso} в системе МКО от белизны по "Спеколу" (рис. 4).

Исследования оценки качества фарфора различных составов показали наличие взаимосвязи технологических факторов, колористических характеристик и структуры фарфора. Для точной идентификации цвета фарфора рекомендуем использовать различные методы исследования, в том числе цветовую модель $L^*a^*b^*$, разработанную Международной комиссией по освещению (CIE).

Регулирование качественных показателей, таких как белизна фарфора, во многом зависит от оптимального подбора режима обжига, применения качественного сырья с минимальным содержанием красящих оксидов, минерализаторов, повышающих гомогенизацию стекломуллитовой матрицы и приводящих к повышению белизны фарфора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телегин Ф. Ю. Цвет в промышленности: пер. с англ. М.: Логос, 2002. 596 с.
2. Мороз И. И., Комская М. С., Сивчинова М. Г. Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. М.: Легкая индустрия, 1976. 296 с.
3. Батанова А. М., Бозаджиев Л. С. Техническая петрография / под ред. Е. Н. Граменицкого. М.: Изд-во МГУ, 1987. 189 с.
4. Методы исследования и контроля в производстве фарфора и фаянса / под ред. А. И. Августиника, И. Я. Юрчака. М.: Легкая индустрия, 1971. 432 с.
5. Жекшиева С. Ж., Кудряшов Н. И., Масленникова Г. Н. Физико-химические аспекты технологии алюмосиликатной керамики / под ред. Г. Н. Масленниковой. Бишкек: КРСУ, 2008. 239 с.
6. Бондарь А. Г. Математическое моделирование в химической технологии Киев: Вища школа, 1973. 280 с.

Из выражения (7) следует, что при $V = V_{cr} = 0,157$ получаем $D/L = 0,6693$; при $V = V_r = 0,63$ имеем $D/L = 1,0636$ и только при $V = 0,5235$ соотношение будет равно $D/L = 1,000$ (где V_{cr} — критическая объемная плотность частиц). В экспериментальных данных, например [5, 11], при этих значениях V во всех случаях имело место значение $D/L = 1,000$. То есть оценка структуры материала получается слишком произвольной.

Попытки уточнить оценку структуры монодисперсных систем при получении композитов с заданными свойствами и оптимизации структуры материалов рассмотрены в работах [7–10]. Так, в работах [7–9] анализ структуры триботехнических композиционных материалов использован для создания порошковых износостойких материалов с высокими антифрикционными свойствами. В работе [10] проблема оценки структуры монодисперсных систем анализировалась с позиции астрофизики.

В работе [8] показано, что среднее расстояние между центрами соседних частиц для случайного равномерного распределения невзаимодействующих частиц, определенное по работе [10] $L = \Gamma(4/3)(4\pi N^{-1/3}) = 0,554N^{-1/3}$, где N — числовая плотность частиц, $\Gamma(4/3)$ — значение гамма-функции для аргумента $4/3$, а также обычно используемая оценка среднего расстояния по выражению (10) и аналогичное выражение для гексагональной упаковки $L = D = 1,1225N^{-1/3}$ являются слишком грубыми. Поэтому предложена следующая интерполяционная зависимость:

$$L(V) = a(V)N_o^{1/3} = [0,56V^{1/3} + 1/(2,24V^{1/3})]D, \quad (8)$$

где $a(V)$ — функция, принимающая значение $0,5554$ при $V \rightarrow 0$ и $1,1225$ при $V = 0,74$.

Выражение (8) получено компьютерным моделированием. Однако этот алгоритм применим только до плотности $V = 0,45$, что свидетельствует о его ограниченности, поскольку реально достигаемая плотность случайной упаковки невзаимодействующих сферических частиц V_r равна $0,63$ [11].

В работе [10] рассчитан параметр L вероятностно-статистическим методом:

$$L = 1,19D/V^{1/3}, \quad (9)$$

где $\Gamma(7/3) = 1,19$ — значение гамма-функции для аргумента $7/3$.

Применение пуассоновского распределения снижает надежность оценки параметра L . Так, для случайной упаковки наполнителя с $V_r = 0,63$ среднее расстояние между центрами сферических частиц равно их диаметру D . По выражению (9) получаем $D/L = 0,7204$. Для критической плотности наполнителя $V_{cr} = 0,157$ имеем $D/L = 0,4534$, а для $V = 0,5$ отношение будет равно $D/L = 0,6667$. Это также не соответствует реальным системам [11].

Из представленного анализа следует вывод о целесообразности разработки более точной методики оценки параметра L в композиционных системах.

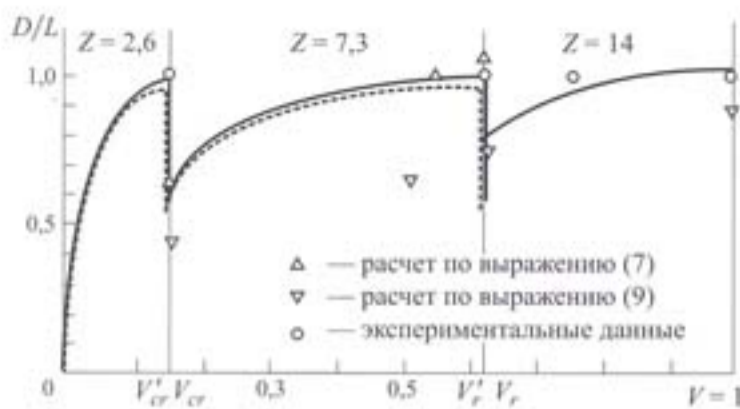
В настоящей работе излагается более строгая методика оценки параметра L в гетерогенных системах, в основе которой лежит положение, что недостаточно задания одного параметра L в качестве структурной характеристики системы. Нужно дополнительно указывать еще и координационное число Z .

Действительно, при объемной плотности дисперсной фазы V меньше плотности случайной упаковки V_r параметр L может зависеть как от объемной плотности дисперсной фазы, так и от среднего координационного числа Z (числа частиц, с которыми центральная частица контактирует в первой координационной зоне), а для композитов еще и от технологии изготовления, например от толщины предварительно нанесенного на частицы покровного слоя (если он выполнен из матричной фазы). Так, при расчете относительного объема твердой фазы системы по выражениям (1) и (2) получаем различные значения V для гетерогенной системы при $L = D$: $V = 0,63$ ($Z = 7,3$); $V = 0,4$ ($Z = 4$); $V = 0,157$ ($Z = 2,64$) при $h/D = 0$.

При объемной плотности дисперсной фазы V больше плотности случайной упаковки V_r зависимость параметра L от пористости также неоднозначна. Параметр L зависит от среднего размера межчастичных контактов d (или нормальной деформации в центре контакта h/D), которые при заданной концентрации твердой фазы зависят в свою очередь от среднего координационного числа Z . При определенных видах виброуплотнения можно при d , близком к нулю (параметр L практически не меняется и равен среднему диаметру частиц D), увеличить относительную плотность системы до $V \sim 0,74$ только за счет увеличения координационного числа Z .

С точки зрения теории перколяции низкоконцентрированные системы при плотности $V_{всп} < V_{cr} = 0,157$ ($Z < 2,64$) являются несвязанными, а значит, и неопределенными ($V_{всп}$ — случайная упаковка из вспомогательных сфер с объемной плотностью частиц при критическом координационном числе $Z = 2,64$ и $V_{всп} = V_{cr} = 0,157$).

Чтобы увеличить детерминированность систем, учесть размер частиц и тип образуемой системы, используем модель системы в виде квазипаковки вспомогательных сфер диаметром L . Удобно принять в качестве базовой случайную упаковку из вспомогательных сфер с относительной плотностью упаковки частиц $V_{всп}$ при критическом координационном числе $Z = 2,64$ и $V_{всп} = V_{cr} = 0,157$. В этом случае вспомогательные сферы образуют минимально связанную (статистически детерминированную) систему, по которой возможна проводимость (теплоты или электричества) с точки зрения теории перколяции. Так как средний размер D частиц меньше L , то получается частично детерминированная система из случайно



Зависимость относительного среднего расстояния между частицами D/L в дисперсной системе от объемной плотности V частиц в этой системе

распределенных невзаимодействующих частиц (каждая из частиц системы может находиться в произвольном месте внутри соответствующей вспомогательной сферы диаметром L , в среднем — в ее центре). Из соотношения $V_{всп} = \pi N L^3 / 6 = 0,157$ при $Z = 2,64$ и $V = \pi N D^3 / 6$ имеем

$$L = 0,5395 D V^{-1/3} = 0,6693 N^{-1/3} \quad \text{при } Z = 2,64 \text{ и } V < 0,157. \quad (10)$$

Кратчайшее среднее расстояние между границами частиц $\delta = L - D$ определим соотношением

$$\delta = (0,5395 V^{-1/3} - 1) D = L [1 - (V/0,157)^{1/3}] \quad \text{при } Z = 2,64 \text{ и } V < 0,157. \quad (11)$$

Выражения (10), (11) применимы также для газовых или жидкостных тонкодисперсных (коллоидных) и грубых систем.

При $V_{всп} = 0,157$ в случае предварительно нанесенного на частицы покровного слоя толщиной $\delta_{сн}$ критическая объемная плотность дисперсной фазы V'_{cr} не достигает теоретического критического значения, равного 0,157 (см. рисунок, пунктирная линия):

$$V'_{cr} = 0,157(1 - \delta_{сн}/L)^3. \quad (12)$$

Из выражений (10)–(12) следует, что при $V \leq 0,157$ система детерминирована, только если средний размер D частиц (или $D + \delta_{сн}$) равен L и $V_{всп} = V_{cr} = 0,157$.

Для $V \geq 0,157$ можно считать систему статистически детерминированной, т. е. состоящей из случайно и равномерно распределенных контактирующих частиц. Значение L постоянно. Оно может быть больше D (если $\delta_{сн} > 0$, т. е. анализируемая система матричного типа), равно D ($\delta = 0$, $h/D = 0$) или меньше D (если $h/D > 0$). Координационное число рассчитывается по выражению (1). При $Z = 7,3$ и $V = V_r$ контактирующие частицы образуют жестко связанную систему и необходимость использовать модель системы в виде квазиупаковки вспомогательных сфер диаметром L отпадает.

Удобно, однако, по аналогии с подходом к рыхлой упаковке рассматривать анализируемую систему

при $V_r \geq V \geq 0,157$ как частично детерминированную, используя модель системы в виде случайной плотной упаковки вспомогательных сфер диаметром L при постоянном $Z = 7,3$. В этом случае только вспомогательные сферы образуют жестко связанную (детерминированную) систему. Значение L также больше D . Кратчайшее среднее расстояние между границами частиц δ в такой системе определяется плотностью системы:

$$L = 0,8573 D V^{-1/3} = [3,78/(\pi N)]^{1/3} \quad \text{при } Z = 7,3 \text{ и } 0,157 \leq V_{всп} \leq V_r; \quad (13)$$

$$\delta = (0,8573 V^{-1/3} - 1) D = L [1 - (V/0,63)^{1/3}] \quad \text{при } Z = 7,3 \text{ и } 0,157 \leq V_{всп} \leq V_r. \quad (14)$$

Выражения (13), (14) повышают строгость оценки структуры неоднородных систем.

При $V = V_r$ (при наличии или отсутствии предварительно нанесенного на частицы покровного слоя толщиной $\delta_{сн}$) частицы твердой фазы образуют жестко связанную (детерминированную) систему. Значение L также может быть больше D , если анализируемая система матричного типа (например, матричный композит). Кратчайшее среднее расстояние между границами частиц δ в такой системе определяется толщиной покровного слоя $\delta_{сн}$, предварительно нанесенного на частицы.

При $V_{всп} = V_r$ и толщине предварительно нанесенного на частицы покровного слоя $\delta_{сн}$ объемная плотность случайной упаковки частиц с покровным слоем дисперсной фазы $V'_r = V_r(1 - \delta_{сн}/L)^3$ не достигает значения V_r (см. рисунок, пунктирная линия).

Дальнейшее уплотнение (например, виброуплотнение) дисперсной системы, т. е. при $V \geq V_r$, не приводит к ее большей статистической определенности, за исключением крайнего случая ($V = 1$, $Z = 14$ [11]), когда по выражению (1) получается $L/D = 1,0928$ (см. рисунок). Значение L , равное или меньшее D , и пористость системы определяются не только координационным числом, но и размером межчастичных контактов. Таким образом, повысить статистическую детерминированность системы можно, только если кроме L и Z дополнительно указывать средний размер межчастичных контактов (или среднюю нормальную деформацию частиц в зоне контакта).

В рассматриваемой модели это можно учесть дополнением к выражению (1) при пористости $\Pi < 0,37$ приближенной линейной зависимости от Z средней нормальной деформации частиц в зоне контакта (не учитываем значительное различие по размерам у первичных восьми и вторичных шести контактов у частицы):

$$h/D = (Z - 7,3)/158; \quad 7,3 \leq Z \leq 14. \quad (15)$$

Максимальное значение $Z = 14$, принятое по экспериментальным данным для компактного материала

ла [11] при подстановке в выражения (15) и (1) дает значение относительной плотности $V = 1$.

Сравним полученное по выражению (1) для $V = 1$ значение $D/L = 1,0928$ с результатами, вытекающими из модели непористых порошковых материалов ($Z = 14$), основанной на элементарных полуправильных многогранниках в виде усеченного октаэдра (ограничен восемью правильными шестиугольниками и шестью квадратами). Выбранными многогранниками полностью заполняется пространство. Координационное число, равное 14, и среднее число вершин в его гранях, равное 5,143, соответствуют экспериментальным данным [11].

Беспористый материал по этой модели получается для $Z = 14$ при средней деформации $h/D = 0,04244$ и соответственно величине контакта $d = 0,5657D$ по выражению (1). Из равенства объемов полуправильного многогранника и шара следует, что при $\Pi = 0$ имеем $h/D = 0,0395$ или $D/L = 1,0858$. Полученные значения достаточно близки, что свидетельствует в пользу рассмотренного подхода.

Аналогично подходу при получении расчетных выражений (13) и (14) для $Z < 7,3$ при пористости системы меньшей случайной упаковки среднее расстояние L целесообразно определять исходя из максимального координационного числа $Z = 14$.

Чтобы упростить расчетные выражения, используем метод наименьших квадратов для L при опорных значениях относительной плотности упаковки частиц в системе $V_{Z=7,3} = 0,63$, $L_{Z=14} = 1,24D$; $V_{Z=8} = 0,652$, $L_{Z=14} = 1,18D$; $V_{Z=12} = 0,7405$, $L_{Z=14} = 1,0905D$; $V_{Z=14} = 1$, $L_{Z=14} = 0,9151$. Так как среднее расстояние не должно зависеть от размеров контактов (рассматриваем в каждом случае область, в которой 14 частиц контактируют с одной), то контакты принимались точечными (за исключением значения при $Z = 14$). Так, для $V_{Z=12} = 0,7405$ (плотнейшая гексагональная упаковка) имеем 12 непосредственных точечных контактов ($L = D$) и 2 частицы, находящиеся от выбранной на расстоянии $L = 1,6337D$ (равно двойной высоте правильного тетраэдра). Тогда среднее арифметическое расстояние $L_{Z=12} = (12 + 2 \cdot 1,6337)/14 = 1,0905$. В результате получаем:

$$L = (2,25 - 1,335^{0,5})D \quad (\text{при } Z = 14), \\ 0,63 < V < 1 \quad (L \geq 0,9151D); \quad (16)$$

$$h = (0,6675V^{0,5} - 0,625)D \quad (\text{при } Z = 14), \\ 0,63 < V < 1 \quad (h \leq 0,04244D). \quad (17)$$

На рисунке приведены результаты расчета среднего расстояния между центрами частиц L по выражениям (10), (13) и (16). Там же указаны экспериментальные значения $V_{cr} = 0,157$ при $Z = 2,64$, $V_r = 0,63$ при $Z = 7,3$ и $V = 0,63$ при $Z = 12$ (укладка или виброуплотнение), полученные при разной объемной плотности наполнителя для одинакового значения

$D/L = 1$. Кроме того, на рисунке представлены результаты расчета L по выражениям (7) и (9). Рисунок подтверждает некорректность методик [6 – 10], т. е. оценки структуры монодисперсных систем с использованием только среднего межчастичного расстояния.

ВЫВОДЫ

Показано, что обычно применяемая методика оценки структуры монодисперсных систем с использованием среднего межчастичного расстояния является некорректной. Эта методика уточнена путем указания среднего координационного числа порошковой монодисперсной системы, а также посредством учета связности системы (при $V < V_{cr}$) на основе корпускулярной модели и теории перколяции.

Предложена уточненная методика определения среднего расстояния между частицами в плотных дисперсных системах при $V > V_{cr}$, учитывающая координационное число и средний размер межчастичных контактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобрышев А. Н., Козаматов В. Н., Бабин Л. О., Саламатов В. И. Синергетика композиционных материалов. Липецк: НПО "ОРИУС", 1994. 153 с.
2. Новиков В. В., Козлов Г. В., Микатаев А. К. Характеристика структуры композиционных материалов в рамках фрактального формализма // *Материаловедение*. 1998. № 7. С. 2 – 6.
3. Чмутин И. А., Летягин С. В., Шевченко В. Г., Пономаренко А. Т. Электропроводящие полимерные композиты: структура, контактные явления, анизотропия // *Высокомолекулярные соединения*. 1994. Т. 36. № 4. С. 699 – 714.
4. Крючков Ю. Н. Структурные параметры моно- и бидисперсных, пористых и композиционных систем // *Теория основ хим. технологии*. 2003. Т. 37. № 6. С. 613 – 619.
5. Крючков Ю. Н. Структура и нелинейные структурные эффекты пористых и композиционных материалов. Гельель: ГТХПИ, 2006. 256 с.
6. Казанов Ю. К. Определение объемно-геометрических характеристик эмалевых шликеров // *Стекло и керамика*. 1982. № 10. С. 11 – 12.
Kazanov Yu. K. Determination of volume-geometric characteristics of enamel slips // *Glass and Ceram.* 1982. V. 39. № 10. P. 487 – 491.
7. Андреев В. С., Лукьянов А. Е. Концентрационная зависимость среднего расстояния между частицами в дисперсных системах // *Коллоидный журнал*. 1989. Т. 51. № 4. С. 748 – 750.
8. Заболотный Л. В., Климанов А. С. Аналитическое исследование зависимости параметров контактирования и триботехнических характеристик от структуры и состава композиций матрично-наполненного типа // *Проблемы трения и изнашивания: респ. межвед. науч.-техн. сб.* Киев, 1981. Вып. 19. С. 20 – 23.
9. Белоусов В. Я., Цитрин А. И. Вероятностно-аналитический подход к вопросам изнашивания композиционных материалов при трении скольжения по монолитному абразиву и его практическое применение // *Трение и износ*. 1983. Т. 4. № 6. С. 1038 – 1041.
10. Чандрасекар С. Стохастические проблемы в физике и астрономии. М.: Иностран. лит., 1947. 128 с.
11. Arzt E. The influence of an increasing particle coordination on the densification of spherical powders // *Acta metallurgica*. 1982. V. 30. № 10. P. 1883 – 1887.