

DOI: 10.15593/2224-9400/2017.3.09

УДК 536.223

**Е.Н. Новокрещенных, В.З. Пойлов, Н.П. Углев**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия**Д.А. Ордин**

АО «ОДК-Авиадвигатель», Пермь, Россия

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ  
КОМПОНЕНТОВ ВОДНО-КОЛЛОИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ**

*Одним из этапов изготовления деталей авиационного назначения методом прецизионного литья по выплавляемым моделям является получение керамической формы, в основе которой лежит высокотемпературное связующее. В качестве последнего на российских предприятиях часто используется импортное водно-коллоидное связующее на основе коллоидного раствора кремнезоля производства американской фирмы Ransom&Randolph. Альтернативой импортному продукту является отечественное связующее «Армосил» (производство НТЦ «Компас», г. Казань), которое состоит из кремнезоля «Лэйксил» и композиции присадок импортного происхождения. Как импортные, так и отечественные связующие имеют недостатки, которые могут быть устранены или уменьшены за счет правильного подбора органических ПАВ различного назначения, добавляемых в коллоидный раствор кремнезоля. ПАВ должны обеспечивать не только заданные свойства суспензии, гарантирующие качество литейных керамик, но и быть совместимыми друг с другом, а также с другими компонентами, входящими в состав связующих. Ранее подбор присадок проводили чисто эмпирическими методами, выбирая из большого количества комбинаций различных компонентов. В состав связующего входят присадки, выполняющие функции смачивания поверхности восковой модели, пеногашения, прочности сырой керамической формы, ее пористости, а также бактерицидные добавки и компоненты, влияющие на размер зерна в отливке. Свойства и поведение всей композиции присадок на стадии создания керамической формы во многом зависят от взаимной химической и термодинамической совместимости компонентов, т.е. они, как минимум, должны быть химически инертны по отношению друг к другу.*

*Одним из способов определения совместимости компонентов являются калориметрические измерения их теплоты смешения, выполненные нами впервые в среде коллоидной системы.*

**Ключевые слова:** керамические формы, водно-коллоидное связующее, присадки, ПАВ, смачиватели, пеногасители, импортозамещение, совместимость, калориметрия, термодинамическое исследование, энтальпия смешения.

**E.N. Novokreshchennykh, V.Z. Poilov, N.P. Uglev**

Perm national research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

**D.A. Ordin**

OJSC "ODC Aviadvigatel", Perm, Russian Federation

## **THE THERMODYNAMIC COMPATIBILITY OF THE COMPONENTS OF WATER-COLLOIDAL BINDER**

*One of the stages of manufacture of parts of aircraft by precision investment casting is a ceramic form, which is based on high temperature binder. As the last Russian enterprises often use imported water-colloid-based binder of colloidal silica solution, produced by the American firm "Ransom & Randolph". An alternative to the imported product is a domestic binder "Armosil" (production of NTTS Kompast. Kazan) which consists of colloidal silica solution "Laxyl" and different additives and compositions of foreign origin. Both imported and domestic binders have drawbacks that can be eliminated or reduced by proper selection of organic surfactants for various purposes, added to a colloidal silica solution. Surfactants must not only provide the desired properties of the slurry to ensure the quality of casting of ceramics but also to be compatible with each other and with other components within the binder. Previously, the selection of additives was carried out purely empirical methods, based on the enumeration of a large number of combinations of different components. In the composition of the binder includes additives enabling wetting the surface of the wax model, the defoaming, the strength of the raw ceramic form, its porosity, as well as bactericidal additives, and components affecting grain size in the casting. Properties and behavior of the whole composition of additives at the stage of creating ceramic forms is largely dependent on the mutual chemical and thermodynamic compatibility of the components, that is, they, at least, must be chemically inert with respect to each other.*

*One way to determine the compatibility of components is calorimetric measurement of heat of mixing made by us for the first time in the medium of a colloidal system.*

**Keywords:** ceramic forms, water-colloidal binder, additives, surfactants, wetting agents, antifoaming agents, import substitution, compatibility, calorimetry, thermodynamic study of the enthalpy of mixing.

## **Введение**

Высокотемпературное водно-коллоидное связующее для создания керамических форм содержит в своем составе различные полимерные присадки [1, 2]. При разработке рецептур связующих особое внимание необходимо уделять характеру взаимодействия присадок, так как комплекс свойств полимеров в значительной степени определяется химической и термодинамической совместимостью смешиваемых компонентов [3]. Как правило, причиной взаимной нерастворимости полимеров является положительное или недостаточное отрицательное изменение энтальпии. Изменение энтропии при смешении высокомолекулярных соединений (ВМС) также невелико, в то время как при смешении низкомолекулярных веществ энтропия существенно возрастает [4, 5]. Поэтому самопроизвольное взаимное растворение подавляющего большинства полимеров невозможно, т.е. полимеры, как правило, несовместимы по термодинамическим причинам (величина изменения изобарно-изотермического потенциала положительна). В определенной степени эти особенности могут быть перенесены и на водные растворы ВМС. Известно, что в некоторых случаях энтропия смешения ВМС может даже незначительно уменьшиться за счет внутренней конформационной составляющей структуры ВМС (за счет изменения формы молекулы в растворе).

Термодинамическую совместимость полимеров оценивают термодинамическими и нетермодинамическими методами [6, 7]. Однако правильнее термодинамическую совместимость оценивать термодинамическими методами, т.е. определять термодинамическое сродство в системах полимер–полимер. Исследование термодинамических свойств системы проводят калориметрическим методом.

### **Термодинамика смешения полимеров**

Под смесями полимеров понимаются системы, полученные смешением двух или большего числа полимеров в условиях, при которых смешиваемые компоненты могут необратимо деформироваться (конформационная составляющая) [6, 7]. При целенаправленной разработке гетерогенной коллоидно-дисперсной системы путем смешения полимерных материалов и растворителя с сохранением их свойств необходимо знать термодинамику их смешения.

Термодинамическое сродство между полимером и растворителем количественно оценивают величинами изменения химического потенциала компонентов  $\Delta\mu$  или его избыточным значением  $\mu^0$ , энергией

Гиббса смешения  $\Delta G$  или ее избыточным значением  $G^0$  и др. Эти же параметры характеризуют термодинамическое сродство и между полимерами. Их определяют экспериментально, например, изучая растворение разных полимеров в общем растворителе.

Термодинамическим условием самопроизвольного смешения является отрицательное значение энергии Гиббса смешения ( $\Delta G$ ), которая представляет собой алгебраическую сумму двух вкладов: энтальпийного ( $\Delta H$ ) и энтропийного  $T\Delta S$ :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0. \quad (1)$$

Поскольку изменение объема системы при образовании смеси незначительное, изобарно-изотермический потенциал может быть без большой погрешности заменен на изохорно-изотермический:

$$\Delta F \approx \Delta U - T\Delta S < 0, \quad (2)$$

где  $\Delta U$  – энергия взаимодействия компонентов;  $\Delta S$  – изменение энтропии при смешении.

Наибольший вклад в изменении энтропии оказывает так называемая «конфигурационная составляющая» [8], определяемая числом комбинаций при распределении молекул в растворе.

Если условие (1) или (2) выполняется, то при смешении двух полимеров образуется гомогенная однофазная система. При  $\Delta G > 0$  смесь полимеров представляет собой двухфазную коллоидную систему.

Для многих совместимых пар полимер–полимер наблюдаются отрицательные значения  $\Delta H$  и  $\Delta S$ , на основании чего были сформулированы термодинамические требования, выполнение которых необходимо для того, чтобы полимеры хорошо совмещались друг с другом [7]:

1. Энтропия смешения полимеров  $\Delta S < 0$ . Это означает, что макромолекулы в смеси располагаются более упорядоченным способом, чем среди себе подобных макромолекул, т.е. образуются совместные упорядоченные полимерные структуры.

2. Энтальпия смешения полимеров  $\Delta H < 0$ , если энергия взаимодействия между разнородными молекулами больше, чем между однородными.

3. Алгебраическая сумма величин  $\Delta H$  и  $T\Delta S$  должна быть отрицательной, т.е.  $|\Delta H| < |T\Delta S|$ .

Однако эти правила относятся к смесям полимеров. В случае сильно разбавленных растворов в воде или коллоидных систем они могут быть пересмотрены.

Молекулы полимеров велики, а их число мало, как и число возможных перестановок в смеси. Поэтому конфигурационная энтропия смешения двух полимеров мала. Чем больше молекулярная масса полимеров, тем меньше приращение энтропии при смешении, и для пары полимеров с очень высокой молекулярной массой  $\Delta S$  смешения близка к нулю. Поэтому взаимная растворимость полимеров определяется в основном энтальпией (теплотой) смешения, которая зависит от энергии межмолекулярного взаимодействия.

Согласно Гильдебрандту, теплота молекулярного смешения жидкости и полимера в эндотермическом процессе пропорциональна  $(\delta_{\text{п}} - \delta_{\text{ж}})^2$ :

$$\Delta h_{\text{м}} = \Phi_1 \Phi_2 (\delta_1 - \delta_2)^2, \quad (3)$$

где  $\Delta h_{\text{м}}$  – теплота смешения на единицу объема;  $\Phi_1, \Phi_2$  – объемная доля компонента 1 и 2 с параметрами растворимости  $\delta_1$  и  $\delta_2$  соответственно.

Если теплота молекулярного смешения должна быть не слишком большой, чтобы не препятствовать смешению, то и величина  $(\delta_{\text{п}} - \delta_{\text{ж}})^2$  должна быть малой. В предельном случае, когда  $(\delta_{\text{п}} - \delta_{\text{ж}})^2 = 0$ , растворение определяется только энтропийным фактором. Если значения  $\delta$  двух веществ приблизительно равны друг другу, то эти вещества будут смешиваться, т.е. взаимно растворяться.

Чтобы исключить возможность химического взаимодействия, необходимо подбирать такие компоненты, чтобы энтальпия их смешения не была отрицательной ( $\Delta H \geq 0$ ), т.е. наблюдалось эндотермическое смешение.

Параметр растворимости определяет только теплоту молекулярного смешения жидкостей или аморфных полимеров.

Любой некристаллический полимер будет растворяться в органическом растворителе с близким значением  $\delta$ .

При выводе соотношения для параметра растворимости было сделано предположение об отсутствии специфических сил взаимодействия. Однако наличие сильно полярных групп или водородных связей в растворителе либо полимере усложняют картину. При этом может возникать положительное взаимодействие между полимером и растворителем, так что энтальпийный член станет отрицательным. Растворение будет осуществляться, даже когда разность  $(\delta_{\text{п}} - \delta_{\text{ж}})$  относительно велика.

### **Методика калориметрического исследования**

Изучение тепловых эффектов химических реакций и физико-химических процессов является задачей термохимии – одного из разделов химической термодинамики. Основным экспериментальным ме-

тодом в термохимии, с помощью которого измеряются тепловые эффекты, является калориметрия [10].

При выборе термодинамической системы знаков тепловых эффектов тепловой эффект смешения будет энтальпией этого процесса, и экзотермическим эффектам будут отвечать отрицательные значения  $\Delta H$ . Для тех систем, где протекают реакции соединения, либо систем, где наблюдаются иные типы взаимодействия, проходящие до конца, термин «теплота смешения» адекватен термину «тепловой эффект реакции» [11].

Изотермы  $\Delta H$  подразделяются на три основных типа: положительные (эндотермические), отрицательные (экзотермические), *S*-образные (на рис. 1 соответственно 1, 2, 3).

Чаще всего изотермы первого типа (эндотермические) свойственны системам с химически не взаимодействующими компонентами. Знак теплового эффекта  $\Delta H > 0$  объясняется тем, что при смешении полимеров первоначальные связи разрываются и на их разрыв затрачивается энергия.

Изотерма второго типа свойственна системам с химическим взаимодействием, т.е. при образовании раствора возникают новые связи между его составляющими, поэтому  $\Delta H < 0$ . *S*-образный ход изотермы  $\Delta H$  вызван наложением эндотермического эффекта, обусловленного нехимическими взаимодействиями (разрушение исходных связей), и экзотермическими эффектами, связанными с взаимодействием (образование новых связей между его составляющими).

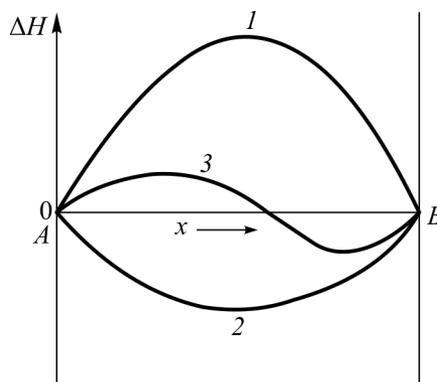


Рис. 1. Основные типы изотерм теплоты смешения

### Калориметрическая ячейка

Измерительная ячейка представляла собой три одинаковые полиэтиленовые пробирки объемом 4 мл, размещенные в массивном стальном блоке со стальной крышкой (рис. 2). Материал стального блока обладал достаточно высокой теплопроводностью, которая гарантировала практически изотермические условия начала эксперимента. Кроме

того, полная теплоемкость блока была достаточно велика, что гарантировало проведение калориметрического эксперимента в условиях, близких к адиабатному режиму. Дифференциальная хромель-алюмелевая термопара была напрямую подключена к струнному зеркальному гальванометру М17/2, имевшему чувствительность по току около  $2 \cdot 10^{-9}$  А/мм/м. Оценка возможностей калориметра, выполненная на основе измерения теплот растворения некоторых солей, показала, что достигнутая чувствительность была в пределах  $2-3 \cdot 10^{-3}$  °С на одно деление выносной шкалы прибора. Общая длина светового луча от сверхъяркого светодиода составляла 2,5 м.

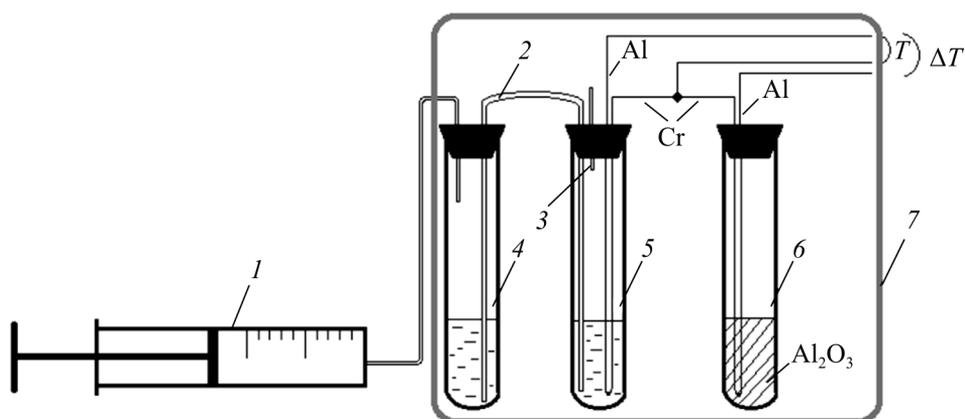


Рис. 2. Схема калориметрической ячейки: 1 – шприц; 2 – трубка; 3 – воздухоотводная трубка; 4 – сосуд, из которого подается раствор на смешение; 5 – сосуд смешения двух растворов с измерительной термопарой; 6 – герметичный сосуд со встроенной опорной термопарой; 7 – стальная изотермическая оболочка

Калориметрический эксперимент состоит из трех периодов:

1) устанавливается равномерное изменение температуры, вызванное нерегулируемым теплообменом с оболочкой 7 и побочными тепловыми процессами в калориметре, так называемый «свободный температурный ход калориметра»;

2) происходит смешение растворов, в результате чего неравномерно изменяется температура калориметрической системы. При нажатии на шприц 1 из сосуда 4 раствор выдавливается по трубке 2 в сосуд 5. Стоит отметить, что все сосуды герметичны и для выхода воздуха из сосуда 5 предназначена трубка 3. В результате смешения растворов термопара фиксирует изменение начальной температуры  $t_{н}$

в сосуде 5 за счет выделения или поглощения теплоты, в результате чего во время смешения компонентов на измерительной шкале прибора фиксируется резкий отброс зайчика в новое положение температурного равновесия  $t_k$ ;

3) по завершении процесса растворения и окончании выделения теплоты температура измерительного шарика дифференциальной термопары медленно возвращается к исходному температурному ходу калориметра.

Для качественной оценки теплового эффекта смешения представляет интерес величина температурного скачка, возникающая во втором периоде измерения:  $(t_k - t_n)$ .

Общий вид кривой отклика термопары на температурное возмущение представлен на рис. 3.

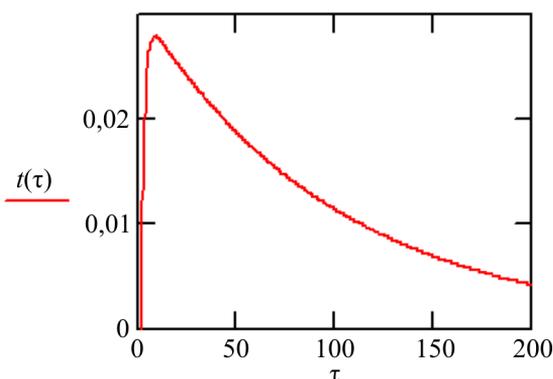


Рис. 3. Общий вид калориметрической кривой (изменения сигнала дифференциальной термопары) для экзотермического эффекта смешения (второй и третий периоды калориметрического эксперимента)

Если принять равномерное выделение тепла в течение активного периода смешения растворов, то избыточная над свободным температурным ходом температура  $t(\tau)$  в ячейке смешения 5 (см. рис. 2) может быть описана уравнением

$$t(\tau) = \frac{b}{\chi - \alpha} \cdot (1 - \exp(\chi \cdot \Delta\tau)) \cdot \exp(-\chi \cdot \tau) + \frac{b \cdot \chi}{\alpha \cdot (\chi - \alpha)} \cdot (\exp(\alpha \cdot \Delta\tau) - 1) \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau), \quad (4)$$

где  $b$  – постоянная ячейки;  $\alpha$  – комплексный коэффициент конвективного теплообмена калориметрической ячейки с металлическим блоком;  $\chi$  – комплексный коэффициент теплообмена шарика измерительной термопары, находящегося в защитном чехле, с жидкостью в пробирке 5 (см. рис. 2);  $\Delta t$  – длительность активного периода выделения теплоты;  $\tau$  – длительность калориметрического эксперимента от начала смешения компонентов.

Анализ показывает, что вклад первого члена уравнения (4) в общий итог температурного эффекта при  $\tau \geq \Delta t$  пренебрежимо мал, поэтому основную роль при формировании температурной кривой (см. рис. 3) играет второй член выражения. Величина  $\alpha$  на 2–3 порядка меньше, чем величина  $\chi$ , поэтому процесс теплообмена сосуда смешения с металлическим блоком в первый (короткий) период эксперимента (потеря теплоты) очень мало влияет на абсолютное изменение температуры ( $t_k - t_n$ ) при смешивании компонентов и может не учитываться при расчетах теплового эффекта [12, 13].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Результаты измерений тепловых эффектов смешения представлены в таблице.

Для сравнительной оценки термодинамической устойчивости смесей компонентов достаточным является сопоставление тепловых эффектов смешения, полученных в одинаковых условиях. Таким образом, эксперимент является чисто качественным, однако при необходимости результаты измерений могут быть пересчитаны в количественные данные.

Основной компонент – Лэйксил 40 – характеризуется положительной теплотой смешения только с одним реагентом – 10%-м раствором АБСК. Учитывая, что АБСК является слабой органической кислотой, а кремнезем Лэйксил 40 приготавливается на щелочной основе, экзотермический характер реакции между ними не вызывает сомнения. Значительные отрицательные теплоты смешения для раствора ПВС указывают на тенденцию расслоения бинарной смеси, что подтверждается экспериментально при смешении кремнезема с 1%-м раствором ПВС: при хранении этой смеси уже через месяц становится заметным выделение полимера в верхнем слое раствора.

**Сравнительные тепловые эффекты смешения растворов  
в единицах шкалы прибора**

Компоненты связующего	Лэйксил 40	2% р-р ПВС	10% р-р АБСК	10% р-р CH <sub>2</sub> O	Р-р CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	10% р-р KLEO	10% Лапрол 6003
Лэйксил 40	0	–	–	–	–	–	–
2% р-р ПВС	–31	0	–	–	–	–	–
10% р-р АБСК	+46,5 (+39,5)	–4	0	–	–	–	–
10% р-р CH <sub>2</sub> O	–20,5	–4	–24,5	0	–	–	–
Р-р CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	–2,5	–1	+3(+3)	–5	0	–	–
10% р-р KLEO	–2,5	–3	–5	+9	0	0	–
10% Лапрол 6003	–2	–1	+56,5	+5	+6	–3,5	0

Значительный экзотермический эффект наблюдается и при смешении АБСК с Лапролом. По нашему мнению, это связано с протеканием обратимой химической реакции между органическими компонентами. В любом случае этот эффект является в некотором роде гарантом термодинамической устойчивости смеси, что подтверждается экспериментально. Кроме того, можно предположить, что действующим началом в связующем на основе этих компонентов являются не только молекулы АБСК и Лапрола, но и их более высокомолекулярные соединения, дающие неаддитивный вклад в основные физические свойства растворов.

Значительный отрицательный тепловой эффект смешения формалина с АБСК и Лэйксилем не имеет принципиального значения при компаундировании связующего, поскольку он не является исходным компонентом смеси, а вводится лишь при наличии биологического загрязнения. При этом отрицательный эффект смешения играет положительную роль с точки зрения технологии, поскольку это приводит, возможно, к снижению растворимости формалина в связующем и восстановлению его исходного состава.

### Заключение

Калориметрические измерения теплоты смешения компонентов водных связующих позволяют получить качественную оценку их совместимости, а также информацию о влиянии их на некоторые свойства растворов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.00188) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки раз-*

*вития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».*

### **Список литературы**

1. Свойства керамических суспензий на основе водно-коллоидных связующих / Н.П. Углев, В.З. Пойлов, А.В. Шилов, В.Л. Звездин, Д.А. Ордин [и др.] // Литейное производство. – 2016. – № 3. – С. 21–25.
2. Разработка экспресс-метода определения механической прочности литейных керамик / Н.П. Углев, В.З. Пойлов, М.С. Дьяков, Е.Н. Новокрещенных // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11 (53), ч. 4. – С. 126–129.
3. Химическая энциклопедия / под ред. И.Л. Кнунянца. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 792 с.
4. Курс физической химии: учеб. для вузов / Я.И. Герасимов, В.П. Древинг, Е.Н. Еремин [и др.]. – М.: Химия, 1964. – 624 с.
5. Тагер А.А., Блинов В.С. Термодинамическая совместимость полимеров // Успехи химии. – 1987. – № 56. – С. 1004–1023.
6. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учеб. для вузов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
7. Гольгаде В.А. Технология полимерных композитов: тексты лекций / Гомел. гос. ун-т им. Ф.Скорины. – Гомель, 2015. – 66 с.
8. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.
9. Тагер А. А. Термодинамика смешения полимеров и термодинамическая устойчивость полимерных композиций // Высокомолекулярные соединения. – 1977. – Т. 19, № 8. – С. 1659–1669.
10. Кирьянов А.В. Калориметрические методы исследования. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Современные методы исследования новых материалов электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем». – Нижний Новгород, 2007. – 76 с.
11. Аносов В. Я., Озерова М. И., Фиалков Ю. Я. Основы физико-химического анализа. – М.: Наука, 1976. – 504 с.
12. Углев Н.П. Теплоемкость бинарных металлических расплавов на основе олова, висмута, индия и свинца: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Перм. политехн. ун-т. – Пермь, 1987. – 161 с.
13. Попов М.М. Термометрия и калориметрия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1954. – Т.2. – 943 с.

## References

1. Uglev N.P., Poilov V.Z., Shilov A.V., Zvezdin V.L., Ordin D.A. et al. Svoistva keramicheskikh suspenzii na osnove vodno-kolloidnykh svyazuiushchikh [Properties of ceramic suspensions based on aqueous colloidal binder]. *Liteinoe proizvodstvo*, 2016, no. 3, pp. 21-25.
2. Uglev N.P., Poilov V.Z., D'iakov M.S., Novokreshchennykh E.N. Razrabotka ekspress-metoda opredeleniia mekhanicheskoi prochnosti liteinykh keramik [Development of a rapid method for the determination of mechanical strength of foundry ceramics]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2016, no. 11(53), part 4, pp.126-129.
3. Khimicheskaiia entsiklopediia [Chemical encyclopedia]. Ed. I.L. Knuniantsa. Moscow, Sovetskaia entsiklopediia, 1988, 792p.
4. Gerasimov Ia.I., Dreving V.P., Eremin E.N et al. Kurs fizicheskoi khimii. Tom 1 [Course in physical chemistry. Vol. 1]. Moscow, Khimiia, 1964, 624 p.
5. Tager A.A., Blinov V.S. Termodinamicheskaiia sovместimost' polimerov [Thermodynamic compatibility of polymers]. *Uspekhi khimii*, 1987, no. 56, pp. 1004-1023.
6. Frolov Iu.G. Kurs kolloidnoi khimii (Poverkhnostnye iavleniia i dispersnye sistemy) [Course of colloid chemistry (Surface phenomena and disperse systems)]. Moscow, Khimiia, 1982, 400 p.
7. Gol'gade V.A. Tekhnologiiia polimernykh kompozitov: teksty lektzii [Technology of polymer composites: texts of lectures]. Gomel, Gomel'skii gosudarstvennyi universitet imeni F.Skoriny, 2015, 66 p.
8. Kirillin V.A., Sheindlin A.E., Shpil'rain E.E. Termodinamika rastvorov [Thermodynamics of solutions]. 2nd ed. Moscow, Energiia, 1979, 288 p.
9. Tager A.A. Termodinamika smesheniia polimerov i termodinamicheskaiia ustoichivost' polimernykh kompozitsii [Thermodynamics of mixing of polymers and thermodynamic stability of polymeric compositions]. *Vysokomolekuliarnye soedineniia*, 1977, vol. 19, no. 8, pp. 1659-1669.
10. Kir'ianov A.V. Kalorimetricheskie metody issledovaniia. Uchebno-metodicheskie materialy po programme povysheniia kvalifikatsii «Sovremennye metody issledovaniia novykh materialov elektroniki i optoelektroniki dlia informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem» [Calorimetric methods. Training materials for the training program "Modern methods of research of new materials of electronics and optoelectronics for information and telecommunication systems"]. Nizhny Novgorod, 2007, 76 p.
11. Anosov V.Ia., Ozerova M.I., Fialkov Iu.Ia. Osnovy fiziko-khimicheskogo analiza [Fundamentals of the physical-chemical analysis]. Moscow, Nauka, 1976, 504 p.

12. Uglev N.P. Teploemkost' binarnykh metallicheskiykh rasplavov na osnove olova, vismuta, indii i svintsa [The heat capacity of binary metal melts based on tin, bismuth, indium and lead]. Ph. D. thesis. Perm, 1987, 161 p.

13. Popov M.M. Termometriia i kalorimetriia. Tom 2 [Thermometry and calorimetry. Vol. 2]. Moscow, Moskovskii universitet, 1954, 943 p.

Получено 22.08.2017

### **Об авторах**

**Новокрещенных Екатерина Николаевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, e-mail: Novokreshchenykh@mail.ru).

**Пойлов Владимир Зотович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, завкафедрой химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, e-mail: Vladimirpoilov@pstu.ru).

**Углев Николай Павлович** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, e-mail: ouglev@mail.ru).

**Ордин Дмитрий Алексеевич** (Пермь, Россия) – инженер-технолог отдела главного металлурга АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь.

### **About the authors**

**Ekaterina N. Novokreshchennykh** (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: Novokreshchenykh@mail.ru).

**Vladimir Z. Poilov** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: Vladimirpoilov@pstu.ru).

**Nikolay P. Uglev** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate professor, Department of Chemical Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: ouglev@mail.ru).

**Dmitry A. Ordyn** (Perm, Russian Federation) – engineer-technologist, metallurgy department, JSC “ODK-Aviadvigatel”, Perm.