

*О.Б. Скородумова, д.т.н., доцент, НУГЗУ,  
Е.В. Тарахно, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
М.Л. Степанов, курсант, НУГЗУ,  
В.А. Крадожон, курсант, НУГЗУ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ПО КОСТЮМАМ ПОЖАРНЫХ**

(представлено д-ром техн. наук Киреевым А.А.)

Представлены результаты исследования влияния состава экспериментальных гелей на водо- и кислотостойкость, а также степень гидрофобности защитных покрытий на их основе. Установлен оптимальный состав геля. Показано, что разработанный состав можно использовать для нанесения защитного покрытия костюмов пожарных.

**Ключевые слова:** тетраэтоксисилан, метилтриэтоксисилан, гидрофобность, водостойкость, кислотостойкость, защитные огнестойкие покрытия.

**Постановка проблемы.** Проведенные ранее исследования позволили разработать основные технологические приемы получения огнестойкого эластичного покрытия по ткани костюмов пожарных [1, 2]. Была установлена принципиальная возможность использования гибридных гелей системы тетраэтоксисилан (ТЭОС) – метилтриэтоксисилан (МТЭОС) для нанесения эластичных покрытий путем изучения процессов гелеобразования в гибридных золях ТЭОС-МТЭОС и их деградации при действии высоких температур [1].

Принципиально важным представляется изучение комплекса физико-химических свойств покрытий, таких как степень гидрофобности, водо- и кислотостойкость, так как именно эти свойства определяют применимость разработанных составов для предотвращения загрязнения костюмов пожарных различными маслянистыми веществами и их возгорания в момент нахождения поблизости от источника огня.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Покрытия на основе кремнийорганических каучуков широко используются для разработки защитных покрытий по костюмам пожарных, однако имеют определенные недостатки, в частности, многокомпонентный неоднородный состав вследствие выделения побочных при поликонденсации продуктов (спирта, воды и кислоты), которые крайне неравномерно распределяются в покрытии, образуя клатраты, что приводит к разрушению покрытия при тепловой нагрузке, возгоранию сопутствующих продуктов и резкому снижению огнезащитных свойств [3].

В технической литературе имеется достаточно сведений о процессах гелеобразования в растворах алкоксисилоксанов в присутствии органических растворителей и без них, представлены свойства готовых порошков на их основе и покрытий по стеклянным и керамическим поверхностям, однако нет сведений об их отношении к агрессивным средам и электризуемости [4, 5].

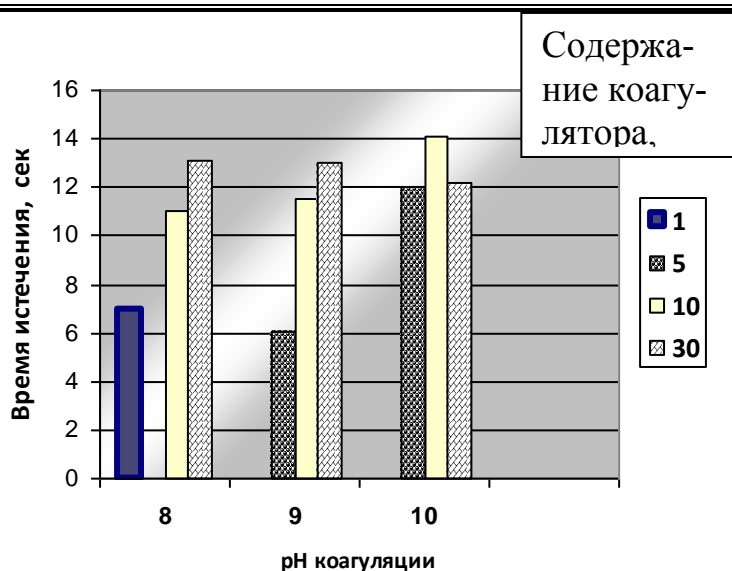
**Постановка задачи и ее решение.** Принимая во внимание первые результаты, полученные при исследовании гибридных гелей системы тетраэтоксисилан-метилтриэтоксисилан [1, 2], а также сведения, приведенные в статье [3], представляется целесообразным упростить технологию получения защитных покрытий и удалять сопутствующие продукты поликонденсации до нанесения покрытия.

Задача исследования – изучить влияние состава гибридных золей на степень гидрофобности и стойкости к агрессивным средам разрабатываемых защитных покрытий.

Для исследований использовали гибридные золи на основе тетраэтоксисилана (ТЭОС) и метилтриэтоксисилана (МТЭОС), полученные в присутствии органических растворителей в условиях переменного рН. Полученные гели и порошки из них исследовали с помощью микроскопического (оптический микроскоп МИН-8) метода анализа. Водостойкость гелей изучали при их смешении с водой с последующим фильтрованием и определением оптической плотности фильтрата с помощью спектрофотометра КФК-2-УХЛ. Кислотостойкость гелей, погруженных в раствор соляной кислоты (рН 1,5-2), определяли, измеряя изменение во времени оптической плотности раствора над поверхностью геля. Степень гидрофобности оценивали, определяя склонность к агрегированию высушенного гелевого порошка по времени истечения точной навески порошка из воронки со стандартным диаметром отверстия (4 мм). Предполагали, что гидрофобизация поверхности геля предотвратит образование мягких агрегатов, что должно сопровождаться увеличением текучести порошка (снижением времени истечения порошка через воронку) (рис. 1).

Снижение рН коагуляции приводит к увеличению текучести порошка. Учитывая, что на поверхности глобул геля присутствуют гидрофильные участки (SiOH - группы) и гидрофобные участки (Si-CH<sub>3</sub> - группы), можно предположить, что текучесть будет высокой при равномерном распределении гидрофильных и гидрофобных участков на поверхности глобул геля и резко снижаться при образовании больших гидрофильных участков и их неравномерном распределении.

Изменение рН золя от 3 до 10 приводит к быстрой коагуляции геля и сопровождается образованием микронеоднородностей, как это было показано в статье [2]. Как видно из рисунка, минимальное время истечения порошка через воронку наблюдается при использовании разбавленного раствора коагулятора (1%) и рН коагуляции равном 8.



**Рис. 1.** Влияние рН коагуляции геля на время истечения порошка через воронку

Для наиболее полного удаления сопутствующих продуктов поликонденсации гибридного золя ТЭОС-МТЭОС необходимо предусмотреть дополнительную операцию отмывки водой гелевого покрытия. Известно, что тонкие частицы ортокремниевой кислоты – основного «кирпичика» в структуре полисилоксановых полимеров – легко переходят в раствор при длительном воздействии воды за счет наличия активных гидрофильных поверхностных силанольных групп SiOH. Учитывая выше сказанное, полученные гели разминали шпателем и отмывали, перемешивая с водой с помощью пропеллерной мешалки с последующим фильтрованием. Отфильтрованный гель снова отмывали дистиллированной водой, а фильтрат исследовали на спектрометре для определения его оптической плотности. Отмывку геля повторяли до достижения нейтральной среды фильтрата.

Установлено, что достижение нейтральной среды фильтрата стабильно обеспечивается проведением пятикратной отмывки геля. Результаты исследования приведены в табл. 1.

**Табл. 1.** Изменение оптической плотности фильтрата после отмывки гибридного геля

Количество отмывок геля	Скорость перемешивания, об/мин	Оптическая плотность
1	156	0,45
2	156	0,46
3	156	0,465
4	156	1,252
5	76	1,253
6 (выдержка под водой в течение 10ч)		1,4

Как видно из таблицы, оптическая плотность фильтрата после тройной отмывки свежееосажденного геля изменяется незначительно. Последующая отмывка приводит к некоторому увеличению оптической плотности фильтрата, по-видимому, в результате гидратации самых мелких глобул геля.

Установлено, что снижение скорости перемешивания с 156 об/мин до 76 об/мин снижает степень гидратации частиц геля, а длительное выдерживание под слоем воды без перемешивания практически не сказывается на его растворимости. Таким образом, гелевое покрытие после нанесения на костюм пожарного можно не сушить, а значит, можно избежать усадочных трещин и разрушения покрытия.

Кислотостойкость покрытий исследовали, выдерживая экспериментальные измельченные гели в сильноокислом растворе (рН 1,5-2) в течение 1 час. при постоянном перемешивании при скорости вращения мешалки 76 об/мин. Порцию полученной суспензии фильтровали, фильтрат исследовали на спектрометре, определяя его оптическую плотность (табл. 2).

**Табл. 2. Изменение оптической плотности фильтрата после испытания геля на кислотостойкость**

Продолжительность выдержки в растворе HCl, час.	Оптическая плотность
Влажный гель	
0,5	1,5
1	1,5
1,5	1,5
2	1,5
Температура сушки геля 60 °С	
0,5	1,5
1	1,5
1,5	1,55
2	1,55

Установлено, что экспериментальные гели ни во влажном, ни в высушенном состоянии не реагируют с раствором соляной кислоты, что свидетельствует о перспективности использования разработанных составов для защиты костюмов пожарных от агрессивных сред с низким рН.

**Выводы.** В результате проведенных исследований уточнен состав разработанных гибридных гелей системы ТЭОС-МТЭОС. Показано, что разработанная технология гибридных гелей может быть успешно применена для получения гидрофобных водо- и кислотостойких покрытий по костюмам пожарных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скородумова О.Б. Исследование процессов термодеструкции органо-неорганических гелей  $\text{SiO}_2$  / О.Б. Скородумова, Е.В. Тарахно, А.Ю. Лозовской // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – Вып. 36. – С. 231-234.

2. Скородумова О.Б. Исследование влияния механизма гелеобразования в гибридных золях тетраэтоксисилана на эластичность защитных покрытий / О.Б. Скородумова, А.Ю. Лозовской, Е.В. Тарахно, Я.Н. Гончаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – Вып. 37. – С. 201-206.

3. Тарахно Е.В. Применение кремнийорганических материалов для огнестойкого защитного обмундирования / Е.В. Тарахно, Л.А. Андрищенко, А.М. Кудин, Л.Н. Трефилова // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – Вып. 36. – С. 243-258.

4. Расторгуев Ю.И. О гидролитической конденсации тетраэтоксисилана / Ю.И. Расторгуев, Г.Ф. Сметанина, А.И. Кузнецов // Ж. прикл. химии. – 1988. – 99. – № 2-3. – С. 1424-1426.

5. Скородумова О.Б. Исследование механизма гелеобразования в гибридных гелях кремнезема с пониженной склонностью к агрегированию [Текст] / О.Б. Скородумова, А.Ю. Лозовской, Е.В. Тарахно, Т.Б. Гонтар // Вестник НТУ «ХПИ», 2014. – №60 (1102). – С. 14-19.

О.Б. Скородумова, О.В. Тарахно, М.Л. Степанов, В.А. Крадожон

### **Дослідження властивостей вогнезахисних кремнеземистих покриттів по костюмах пожежних**

Представлено результати дослідження впливу складу експериментальних гелів на водо- і кислотостійкість, а також ступінь гідрофобності захисних покриттів на їх основі. Встановлено оптимальний склад гелю. Показано, що розроблений склад можна використовувати для нанесення захисного покриття костюмів пожежних.

**Ключові слова:** тетраетоксисилан, метилтриетоксисилан, гідрофобність, водостійкість, кислотостійкість, захисні вогнестійкі покриття.

O.V. Skorodumova, E.V. Tarahno, V.L. Stepanov, V.A. Kradozhon

### **Study the properties of fire-resistant silica coatings on firefighter protective clothing**

The effect of the composition of the experimental gels on water and acid resistance, and the degree of hydrophobicity of coatings on their basis has been presented. The optimum composition of the gel is determined. It is shown that the designed composition of hibrid gel may be used for the protective coating of firefighter protective clothing.

**Keywords:** tetraethoxysilane, methyltriethoxysilane, hydrophobicity, water resistance, acid resistance, fire-resistant protective coating.