

УДК 614.84

mansurovtx@rambler.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ  
МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ****RESEARCH OF FIRE PROTECTIVE CABLE COATINGS  
BY THERMAL ANALYSIS AND FIRE TEST METHODS**

*Мансуров Т. Х.,  
Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,  
Головина Е. В., кандидат технических наук,  
Контобойцева М. Г., кандидат педагогических наук, доцент,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Kontobojceva M. G.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В работе рассматриваются вопросы, связанные с исследованием эффективности работы огнезащитных кабельных покрытий при проведении огневых испытаний, а также определение термоаналитических характеристик огнезащитных составов для разработки критериев оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий методами термического анализа.

В результате экспериментальных исследований установлено, что основные термоаналитические характеристики огнезащитных кабельных покрытий: потеря массы, зольный остаток на момент окончания эксперимента и изменение теплоемкости – обладают достаточной информативностью и могут использоваться для выработки критериев оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий методами термического анализа. В последующем данные критерии возможно использовать в разработке методики оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий методами термического анализа.

*Ключевые слова:* огнезащитные кабельные покрытия, кабельные изделия, пенококс, термическая стойкость, огнезащитная эффективность, натурные огневые испытания, синхронный термический анализ.

The paper discusses issues related to the study of the performance of fire-retardant cable coatings during fire tests, as well as the determination of the thermoanalytic characteristics of flame retardants to develop criteria for assessing the heat resistance of fire-retardant cable coatings by thermal analysis.

As a result of experimental studies, it was found that the main thermoanalytic characteristics of fire-retardant cable coatings: mass loss, ash residue at the end of the experiment and change in heat capacity, are sufficiently informative and can be used to develop criteria for assessing the heat resistance of fire-retardant cable coatings by thermal analysis methods. Subsequently, these criteria can be used in the development of methods for assessing the heat resistance of fire-retardant cable coatings by thermal analysis methods.

*Keywords:* fire retardant cable coatings, cable products, foam, thermal resistance, fire retardant efficiency, full-scale fire tests, synchronous thermal analysis.

### Введение

Огнезащитные кабельные покрытия, применяемые для повышения пожарной безопасности кабельных изделий, уменьшают тепловое воздействие при пожаре, снижают распространение пламени по кабельным изделиям при любой ориентации в пространстве и увеличивают время работоспособности электрической цепи кабельного изделия покрытого огнезащитным кабельных покрытием.

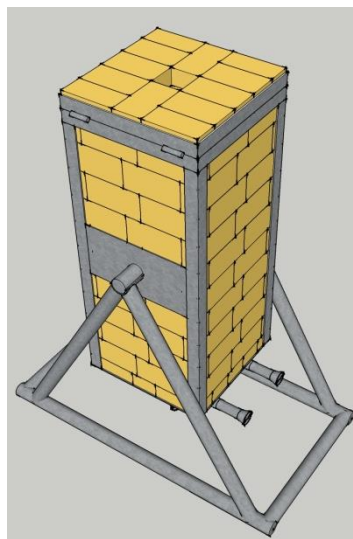
Анализ пожарной опасности кабельных изделий (КИ), рассмотренный в работе [1], позволяет утверждать, что полимерные материалы, используемые в роли отдельных конструктивных элементов, могут способствовать распространению пламени при пожаре по поверхности КИ. Для снижения распространения пламени и защиты от теплового воздействия используются огнезащитные кабельные покрытия (ОКП), полученные вследствие нанесения огнезащитного интумесцентного состава на поверхность КИ и обладающие огнезащитной эффективностью [2]. Огнезащитные кабельные покрытия при термическом воздействии пламени или нагретых газовых потоков вспучиваются, увеличиваясь в объеме в десятки раз и образуют пористый термостойкий слой – пенококсы, обладающий теплоемкостью и уменьшающий теплопередачу на КИ до 100 раз [3, 4, 5].

Оценка огнезащитной эффективности ОКП в Российской Федерации производится по ГОСТ Р 53311, методы которого трудоёмки и недостаточно информативны, а также не прослеживается возможность приведения условий испытаний к температурно-временной кривой стандартного режима пожара.

По результатам методов исследования, предложенным в ГОСТ Р

53311, затруднительно осуществить оценку термической стойкости ОКП, как это представлено, например, в работе [6], также остается открытым вопрос определения групп огнезащитной эффективности по аналогии с ГОСТ Р 53292 или ГОСТ Р 53295. Имеющаяся оценка огнезащитной эффективности ОКП не предусматривает проведения корреляции с другими видами анализов, например, методом синхронного термического анализа (СТА), который имеет возможность количественного определения параметров исследуемого вещества: потери массы, скорости потери массы, экзо- и эндотермических пиков, возникающих в результате фазовых превращений и изменения теплоемкости пенококсы. Вместе с этим, термоаналитические характеристики ОКП позволяют, в перспективе, выработать критерии оценки термостойкости ОКП методами термического анализа. Однако выработка критериев оценки термостойкости ОКП методами термического анализа затрудняется отсутствием характеристик оценки термостойкости ОКП методами натуральных огневых испытаний, которые бы успешно коррелировали между собой. Впоследствии, характеристики термостойкости ОКП, полученные методом синхронного термического анализа с использованием корреляционно-регрессионного анализа позволят выработать критерии оценки термостойкости и разработать методику оценки термостойкости ОКП.

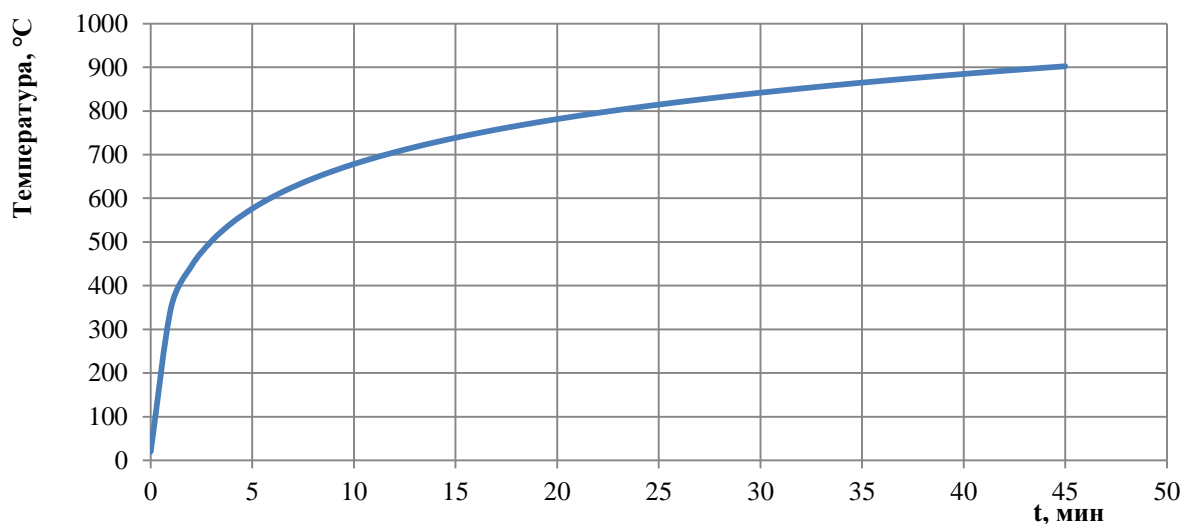
С целью получения характеристик ОКП натурными огневыми испытаниями разрабатывается испытательная установка, которая имеет возможность создавать условия, приближенные к условиям, возникающим при реальных пожарах (рис. 1).



*Рисунок 1. Общий вид разрабатываемой испытательной установки для проведения натуральных огневых испытаний кабельных изделий с нанесенным ОКП*

Рабочий температурный режим испытательной установки согласуется с условиями стандартного режима пожара по ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75) [7] и находится в пределах от 25 °С до 900 °С. Расчётное время работы установки до достижения верхнего предела темпе-

ратурного диапазона составляет 45 минут. Вывод испытательной установки на режим будет осуществляться с использованием температурно-временной кривой стандартного режима пожара по ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75), представленного на рисунке 2.



*Рисунок 2. Температурно-временная кривая стандартного режима пожара по ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75)*

В качестве топлива будут использоваться топливные сжиженные углеводородные газы марки пропан-бутан автомобильный (ПБА) по ГОСТ Р 52087–2018 [8]. Инжекционные газовые горелки, которые обеспечат работоспособ-

ность испытательной установки, имеют функцию регулировки под другие виды топливных газов. Максимальная расчетная мощность горелок составляет 400 кВт при максимальном расходе газозоудушной смеси и включении всех 4

горелок. Ограждающие конструкции испытательной установки выполнены из шамотного кирпича марки ШБ-5 и герметизированы при помощи термостойкой мастики, предназначенной для конструкционного склеивания теплоизолирующих материалов, марки МТ-Р. Ограждающие конструкции помещены в металлический каркас, выполненный

из стального уголка с полкой 50\*50 мм, и размещены на упорной станине, позволяющей изменять пространственное положение испытательной установки на угол до 90° от вертикали для расширения спектра экспериментов.

Для расчета параметров установки составлено уравнение теплового баланса:

$$q_{\text{гор}}^{\Gamma} + q_{\text{гор}}^{\text{окп}} = q_{\text{констр}}^{\text{погл}} + q_{\text{констр}}^{\text{теплоотвод}} + q_{\text{пг}} + q_{\text{каб}},$$

где  $q_{\text{гор}}^{\Gamma}$  – интенсивность тепловыделения за счёт реакции горения газовой смеси, кВт;

$q_{\text{гор}}^{\text{окп}}$  – интенсивность тепловыделения за счёт реакции горения огнезащитных кабельных покрытий, кВт;

$q_{\text{констр}}^{\text{погл}}$  – интенсивность поглощения тепла строительными конструкциями (шамотным кирпичом), кВт;

$q_{\text{констр}}^{\text{теплоотвод}}$  – интенсивность теплоотвода строительными конструкциями (шамотным кирпичом), кВт;

$q_{\text{пг}}$  – интенсивность удаления тепла с нагретыми продуктами реакции, кВт;

$q_{\text{каб}}$  – интенсивность потерь тепла на нагрев кабельного изделия, кВт.

Результаты расчетов интенсивности поглощения тепла и интенсивности теплоотвода строительными конструкциями (шамотным кирпичом) испытательной установки представлены на рисунке 3.

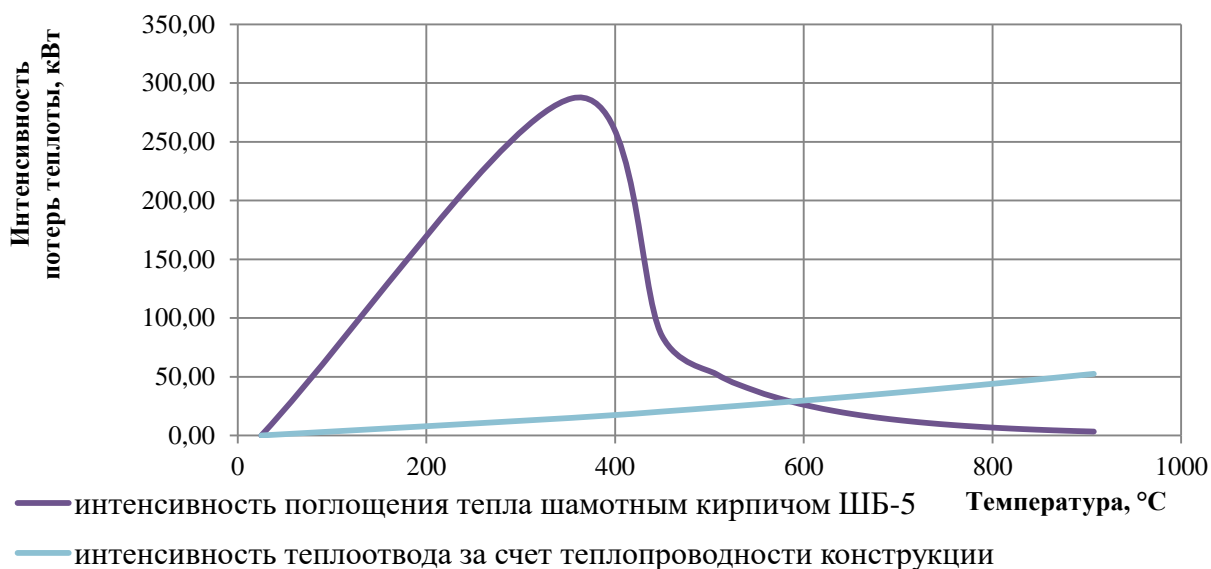


Рисунок 3. Интенсивность потери теплоты в зависимости от изменения температуры

Разрабатываемый вариант испытательной установки отличается от подобных, представленных авторами работ [9, 10, 11], значительно большим

объемом камеры (0,176 м<sup>3</sup>) и наличием пламенного горения у источника нагрева, что позволяет максимально приблизить условия испытаний фрагмента КИ

с нанесенным ОКП к условиям реально-го пожара и повысить достоверность полученных результатов, характеризующих огнезащитную эффективность ОКП методом натуральных огневых испытаний.

Термоаналитические характеристики, используемые для выбора критериев оценки термостойкости ОКП на связующем различной химической природы, полученные методом СТА, представлены в таблице 1.

Таблица 1  
Термоаналитические характеристики ОКП на связующих различной химической природы

Огнезащитные кабельные покрытия	$\Delta m_{100}$ , %	$\Delta m_{200}$ , %	$\Delta m_{400}$ , %	$\Delta m_{600}$ , %	Зольный остаток ( $ZO_{900}$ ), %	$\Delta C_{p600-900}$ , Дж/(г*К)
ОКП № 1 (дисперсия на основе органического растворителя)	2,54	5,36	35,21	43,84	34,19	12,93 ↓
ОКП № 2 (дисперсия на водной основе)	0,80	2,23	47,16	62,56	26,24	26,82 ↓
ОКП № 3 (водно-дисперсионная краска)	0,22	0,94	57,52	79,28	8,45	12,34 ↓
ОКП № 4 (на основе водной полимерной дисперсии)	0,76	2,40	47,01	70,33	16,32	58,36 ↓
ОКП № 5 (на основе силиконового эластомера)	0,00	0,00	40,59	45,33	52,08	14,44 ↑

Примечание:  $\Delta m_{100}$  – потеря массы образца при температуре 100 °С;  $\Delta m_{200}$  – потеря массы образца при температуре 200 °С;  $\Delta m_{400}$  – потеря массы образца при температуре 400 °С;  $\Delta m_{600}$  – потеря массы образца при температуре 600 °С;  $ZO_{900}$  – зольный остаток (остаточная масса) образца на момент окончания эксперимента при температуре 900 °С;  $\Delta C_{p600-900}$  – изменение теплоемкости пенококса в интервале температур 600–900 °С.

Одной из основных термоаналитических характеристик ОКП является потеря массы  $\Delta m$  ОКП при заданной температуре. При температурах 150–200 °С у ОКП начинается процесс интумесценции (вспучивания), а в интервале температур 200–450 °С идет активная фаза формирования пенококсового слоя. По потере массы  $\Delta m$  можно судить об интенсивности процесса интумесценции [6]: чем больше потеря массы, тем интенсивнее протекает процесс интумесценции.

При температурах 450–600 °С наступает следующая фаза – выгорание связующего и в данном случае, чем ниже показатель потери массы  $\Delta m$ , тем более стойким к температурным колебаниям является связующее ОКП и выше термостойкость пенококса. Наибольшая потеря массы в интервале температур 150–600 °С наблюдается у ОКП на водной основе (рис. 4), тогда как у силиконовой и органической основ этот показатель значительно меньше.

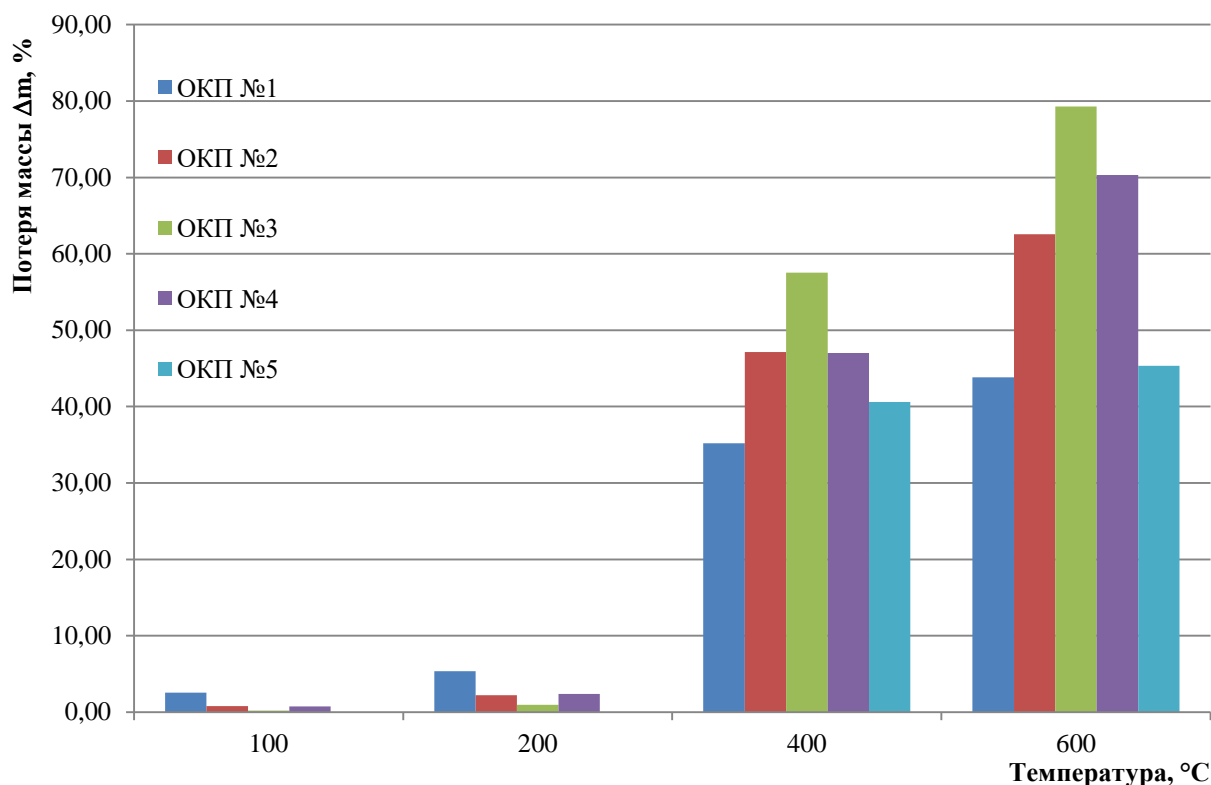


Рисунок 4. Потеря массы огнезащитных кабельных покрытий на связующем различной химической природы при различных температурах (OKP № 1 – дисперсия с добавлением интеркалированного графита на основе органического растворителя; OKP № 2 – дисперсия на водной основе; OKP № 3 – водно-дисперсионная краска; OKP № 4 – на основе водной полимерной дисперсии; OKP № 5 – на основе силиконового эластомера)

Немаловажной характеристикой, которая будет использоваться для выработки критериев оценки термостойкости ОКП, является зольный остаток (ЗО) на момент окончания эксперимента в соответствии с ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75), то есть при температуре 900 °C. ЗО при максимальной температуре стандартного режима пожара и моменте окончания эксперимента, дает развернутую информацию о способности образовавшегося пенококсового

слоя сопротивляться выгоранию. Диаграмма, представленная на рис. 5, наглядно демонстрирует остаточную массу пенококсового слоя на момент окончания эксперимента в соответствии с условиями стандартного режима пожара, а полученные данные позволяют сделать вывод, что ОКП на основе силиконового и органического связующих имеют большую стойкость к выгоранию, в отличие от ОКП на водной основе.

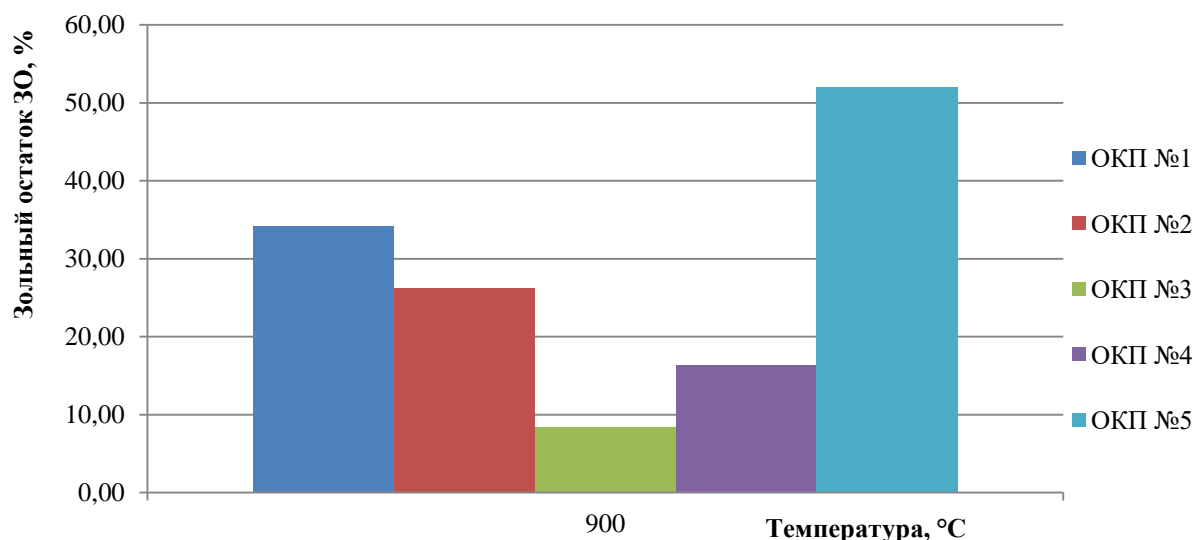


Рисунок 5. Зольный остаток огнезащитных кабельных покрытий при температуре 900 °C

Следующей весьма информативной характеристикой является изменение теплоемкости  $\Delta C_p$  ОКП в диапазоне температур от 600 °C до 900 °C (рис. 6). Этот показатель наглядно демонстрирует состояние пенококсового слоя на момент окончания формирования пористой структуры и изменение его теплофизических свойств в указанном диапа-

зоне температур. Снижение этого показателя дает количественное представление о снижении теплоизоляционных свойств пенококсового слоя конкретного ОКП. На рисунке 6 показано изменение теплоемкости ОКП на связующем различной химической природы в диапазоне температур от 600 °C до 900 °C.

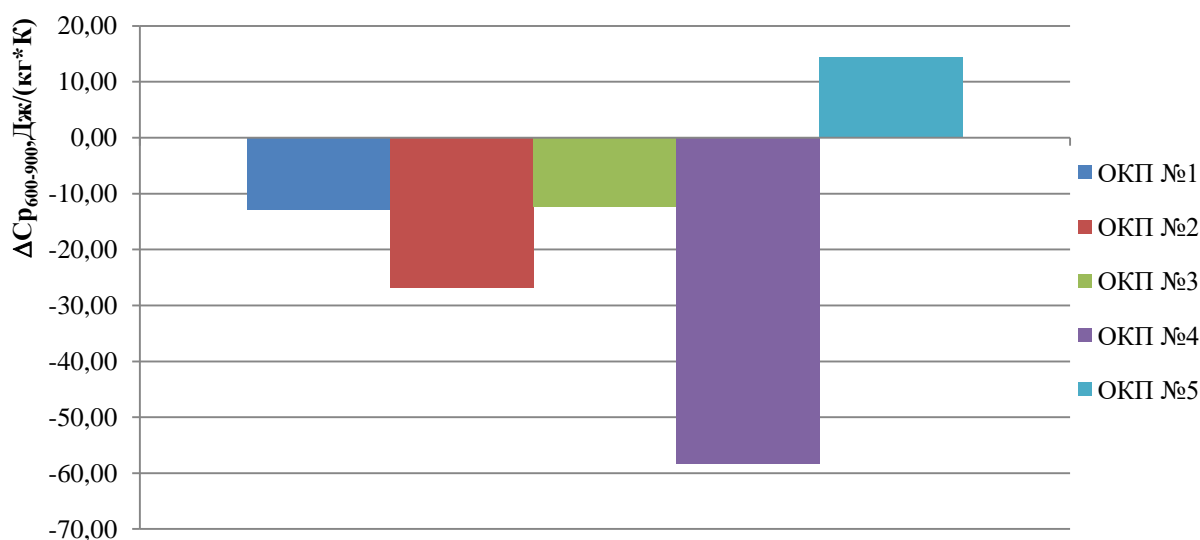


Рисунок 6. Изменение теплоемкости ОКП на связующем различной химической природы в диапазоне температур от 600 °C до 900 °C

Снижение теплоизолирующих свойств ОКП в диапазоне 600–900 °C наблюдается у составов на органической и водной основе, тогда как у состава

на силиконовой основе этот показатель увеличивается, что можно интерпретировать как низкий показатель деградиационных процессов в пенококсо-

вом слое и сохранность теплофизических свойств пенококса.

### Выводы

По результатам экспериментов установлено, что термоаналитические характеристики, полученные методами термического анализа, такие как потеря массы, зольный остаток на момент окончания эксперимента и изменение теплоемкости ОКП, обладают достаточной информативностью, чтобы использовать их для выработки критериев оценки термостойкости ОКП методами

термического анализа и применять при разработке методики оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий методами термического анализа.

Авторы выражают благодарность ООО «НеоКрил», а также инженеру по охране труда АО УПП «ВЕКТОР» Кривошееву Алексею Анатольевичу за помощь в подготовке к экспериментам и предоставленные огнезащитные кабельные покрытия.

### Литература

1. Мансуров Т. Х. и др. Применение огнезащитных интумесцентных составов для повышения пожарной безопасности кабельных изделий при одиночной и групповой прокладке // Техносферная безопасность. – 2019. – № 2 (23). – С. 65–73.
2. ГОСТ Р 53311-2009 Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности // Справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
3. Vandersall H. L. Intumescent Coating Systems. Their Development and Chemistry // J. Fire and Flamm. – 1971. – № 2. – С. 97–140.
4. Машляковский Л. Н., Лыков А. Д., Репкин В. Ю. Органические покрытия пониженной горючести. Л., 1989. 280 с.
5. Зыбина О. А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дисс. ... на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург, 2015. 260 с.
6. Головина Е. В., Беззапонная О. В., Мансуров Т. Х. Критерии оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазового комплекса // Техносферная безопасность. – 2018. – № 3(20). – С. 133–138.
7. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
8. ГОСТ Р 52087–2018 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия.
9. Li J.-m. et al. Insulation Failure Prediction Model of Power Cable in Fire // E3S Web of Conferences 72, 01002 (2018). URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187201002>, CEEGE 2018.
10. Gonzalez F. et al. Fire-retardant cable coatings – a fresh look into their role in risk-informed performance-based applications // 24th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 24), 15th International Post-Conference Seminar on «FIRE SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS AND INSTALLATIONS», 2017.
11. Нагревательная печь для испытания кабелей на огнестойкость: а.с. №662852 СССР. МПК G01N25/52. Г. И. Смелков, И. Ф. Поединцев, Б. И. Кашолкин № 662852; заявл. 30.11.1976; опубл. 25.05.1979.
12. Головина Е. В., Беззапонная О. В., Мансуров Т. Х. Методика оценки термостойкости огнезащитных материалов интумесцентного типа для условий углеводородного горения методом синхронного термического анализа // Техносферная безопасность. – 2018. – № 1(18). – С. 32–36.

### References

1. Mansurov T. H. et al. Primenenie ognezashchitnyh intumescentnyh sostavov dlya povysheniya pozharnoj bezopasnosti kabel'nyh izdelij pri odinochnoj i gruppovoj prokladke // Tekhnosfernaya bezopasnost'. – 2019. – № 2 (23). – S. 65–73.
2. GOST R 53311-2009 Pokrytiya kabel'nye ognezashchitnye. Metody opredeleniya ognezashchitnoj effektivnosti // Sprav.-pravovaya sistema «Konsul'tantPlyus».
3. Vandersall H. L. Intumescent Coating Systems. Their Development and Chemistry // J. Fire and Flamm. – 1971. – № 2. – С. 97–140.
4. Mashlyakovskij L. N., Lykov A. D., Repkin V. YU. Organicheskie pokrytiya ponizhennoj goryuchesti L., 1989. 280 s.
5. Zybina O. A. Teoreticheskie principy i tekhnologiya ognezashchitnyh vspuchivayushchihsy materialov: diss. ... na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg, 2015. 260 s.



6. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Mansurov T. H. Kriterii ocenki termostojkosti ogneza-shchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovogo kompleksa // Tekhnosfernaya bez-opasnost'. – 2018. – № 3(20). – S. 133–138.
7. GOST 30247.0–94 (ISO 834–75) Konstrukcii stroitel'nye. Metody ispytaniy na ognestoj-kost'. Obshchie trebovaniya.
8. GOST R 52087–2018 Gazy uglevodorodnye szhizhennye toplivnye. Tekhnicheskie usloviya.
9. Li J.-m. et al. Insulation Failure Prediction Model of Power Cable in Fire // E3S Web of Conferences 72, 01002 (2018). URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187201002>, CEEGE 2018.
10. Gonzalez F. et al. Fire-retardant cable coatings – a fresh look into their role in risk-informed performance-based applications // 24th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 24), 15th International Post-Conference Seminar on «FIRE SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS AND INSTALLATIONS», 2017.
11. Nagrevatel'naya pech' dlya ispytaniya kabelej na ognestojkost': a.s. №662852 SSSR. MPK G01N25/52. G. I. Smelkov, I. F. Poedincev, B. I. Kasholkin № 662852; zayavl. 30.11.1976; opubl. 25.05.1979.
12. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Mansurov T. H. Metodika ocenki termostojkosti ogneza-shchitnyh materialov intumescentnogo tipa dlya uslovij uglevodorodnogo goreniya metodom sinhronnogo termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. – 2018. – № 1(18). – S. 32–36.