

**А. Н. Егоров**

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: stinger1010@yandex.ru)

## ТЕРМОГРАФИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НАГРЕВА ЗАЩИТНОЙ СТЕНКИ МОДЕЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ТИПА "СТАКАН В СТАКАНЕ"

Приведён анализ способов измерения температур, используемых при огневых испытаниях. Обоснована возможность применения тепловизора для проведения огневых испытаний защитной стенки модели резервуара типа "стакан в стакане". С помощью тепловизора проведена оценка распределения температурных полей защитной стенки резервуара типа "стакан в стакане", позволяющая подойти к решению теплотехнической задачи.

Ключевые слова: защитная стенка, нефть, огневые испытания, пожар, резервуар, тепловизор, термопара.

Современным подходом к обеспечению пожарной безопасности резервуаров, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов, является применение *резервуара с защитной стенкой типа "стакан в стакане" (РВСЗС)*, которые, в свою очередь, обеспечивают повышенный уровень безопасности людей и окружающей среды в случае разгерметизации основного корпуса резервуара, предотвращая разлив горючей жидкости по территории производственного объекта защиты.

Однако, как сохранить устойчивость защитной стенки при пожаре остаётся малоизученным вопросом. В ст. 6.5.9.5 ГОСТ 31385-2016 "Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия" и ст. 12.3.3 Стандарта организации СТО–СА–03-002-2009 "Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов" говорится о том, что распределение стационарных установок пенного пожаротушения на конструкциях резервуара должно производиться с учётом:

- расчётного состояния и возможных деформаций стенки и крыши резервуара при пожаре или взрыве;
- возможных деформаций противопожарного оборудования (насадок, распылителей, оросителей);
- требований к расстояниям между сварными швами стенки и швами крепления постоянных конструктивных элементов, присоединяемых к стенке резервуара.

Однако, интенсивность подачи воды на охлаждение горящего и соседнего с ним резервуара должна обосновываться теплотехническим расчётом или принимается по нормам проектирования резервуарных парков.

Необходимо отметить, что системы противопожарной защиты для резервуаров объёмом свыше 30 тыс. м<sup>3</sup> могут применяться с учётом экспериментально-теоретического обоснования расположения систем автоматических установок пожаротушения и автоматических систем орошения на защитной стенке резервуара типа "стакан в стакане" [1]. Указанное обоснование возможно реализовать с помощью комплекса исследований, связанных с определением теплового состояния корпуса защитной стенки резервуара и возникающего при этом её напряжённо-деформированного состояния, которые совместно будут влиять на расположение систем пожарной автоматики на ней [1].

При проведении огневых испытаний первостепенной задачей является получение сведений по распределению температуры на защитной стенке. Для её определения и измерения необходимо выбрать соответствующий измерительный прибор.

В настоящее время существует два основных способа измерения температуры – контактный и бесконтактный. Контактный способ основан на прямом контакте измерительного прибора с исследуемым объектом, в результате чего добивается состояния теплового баланса преобразователя и исследуемого объекта. Данный способ измерения температуры возможно осуществить с использованием следующих приборов: различные термометры; термопары<sup>1</sup>. Для измерения температуры с использованием термопары её необходимо подключить к измерительному прибору, например, многоканальному измерительному прибору или мультиметру.

Наравне со многими достоинствами, у контактного способа измерения температуры имеются свои недостатки:

- температурное поле исследуемого объекта изменяется при вводе в него термоприёмника;
- температура преобразователя отличается от фактической температуры объекта;
- верхний предел измерения температуры ограничен свойствами материалов, из которых изготовлены температурные датчики;

В настоящее время наравне с контактным способом измерения температуры всё более широкое применение находит бесконтактный способ измерения температуры с использованием таких приборов, как пирометры и тепловизоры.

Бесконтактный способ основывается на восприятии тепловой энергии, которая выражается через лучеиспускание и воспринимаемый на разных расстояниях от исследуемого объекта. Средство измерения не приводится в прямой контакт с объектом измерения

Согласно ГОСТ 28243-96 "Пирометры. Общие технические требования", пирометр измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению объекта в круговой зоне, ограниченной полем зрения прибора и усредняет её. Зона видимости пирометра зависит от расстояния до объекта и от оптического разрешения пирометра.

<sup>1</sup> <https://studopedia.org/4-146294.html>

Их классифицируют как:

- оптические – определяют температуру нагретого тела визуально, без дополнительного оборудования;
- цветовые или мультиспектральные – определяют температуру методом сравнения теплового излучения тела в различных спектрах;
- радиационные (инфракрасные) – используют считанный показатель мощности теплового излучения для определения температур.

Пирометры, выполняющие измерения в пределах широкой полосы спектральных излучений, называются пирометрами полного излучения. С использованием пирометров возможно измерить температуру в диапазоне от  $-50$  до  $+3000$  °C.

Пирометры различают по температурному диапазону на низко- и высокотемпературные. Низкотемпературные предназначены для измерения температур тел даже в области отрицательных значений. Высокотемпературные пирометры используются для оценки температуры сильно нагретых предметов.

В настоящее время большую популярность при проведении научно-исследовательских работ завоевал такой прибор бесконтактного способа измерения, как тепловизор. Основным назначением тепловизора является измерение и фиксирование значений температур на исследуемой поверхности. При проведении измерений значение температуры отображается на дисплее как тепловая картина исследуемой области, размер которой равен или больше размера элементарной ячейки поля зрения тепловизора, где разным температурам соответствуют разные цвета. Изучение тепловых изображений называется термографией, с помощью которой и получают изображения тепловых полей рассматриваемого объекта [2].

Диапазон измеряемых температур тепловизорами составляет от  $-50$  до  $+3000$  °C. Отличие между тепловизорами заключается в решении ими определённого числа измерительных и диагностических задач, температурном диапазоне и чувствительности.

При измерении тепловизором температурные показатели могут отличаться от действительных значений из-за ряда факторов, влияющих на результат измерений. Например, внешние факторы: влияние солнечного излучения; влияние ветра; влияние осадков; тепловая инерция; и контролируемые факторы: фокусировка; коэффициент излучения; расстояние при проведении измерений от прибора до изучаемого объекта, пространственное разрешение.

Однако, бесконтактные способы измерения температуры имеют ряд преимуществ перед контактными, а именно:

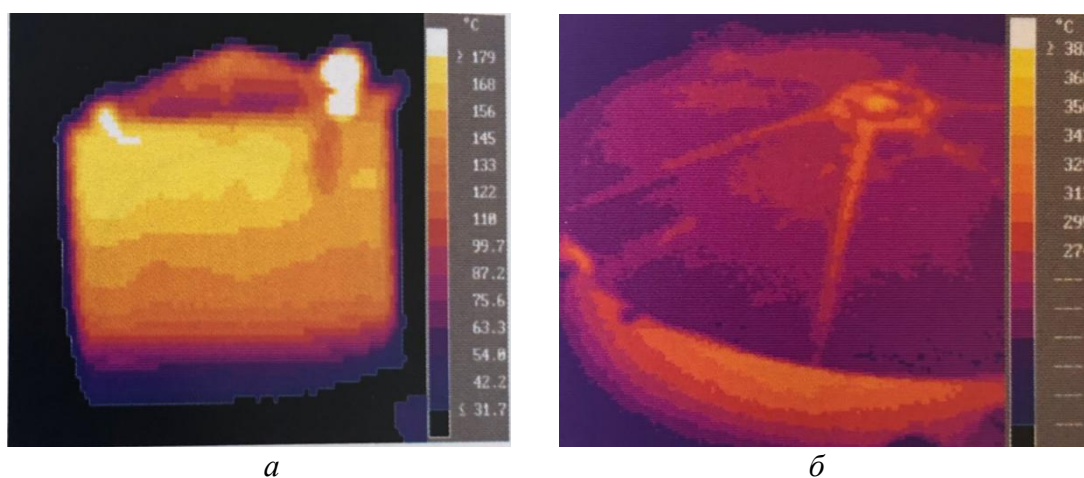
- высокое быстродействие – для измерения температуры быстропротекающих процессов;
- измерение температуры объекта без остановки технологического процесса;
- измерение на расстоянии опасных объектов, например, корпуса горящего резервуара;

- обнаружение перегрева исследуемого объекта;
- измерение температуры объектов, находящихся под напряжением;
- контроль значений измеряемой температуры непосредственно с прибора;
- создание отчётов о проведённых измерениях в виде термограмм [3].

Однако пирометры и тепловизоры имеют некоторые недостатки – зависимость полученных данных от расстояния до измеряемого объекта, от отражательных свойств измеряемой поверхности исследуемого объекта, от излучения прямо не попадающих в поле зрения пирометра областей измеряемого объекта, а также высокая цена оборудования.

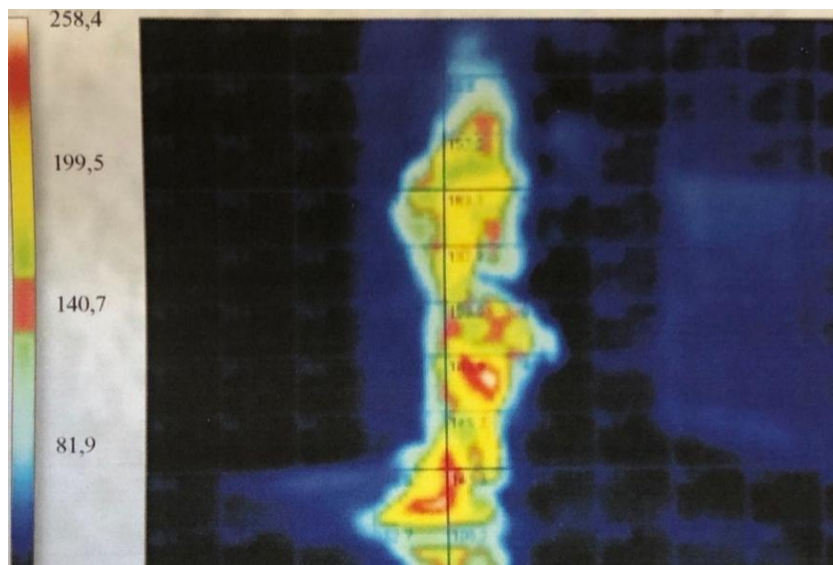
Вместе с этим возможность применения тепловизора при проведении огневых испытаний подтверждается ранее проведёнными исследованиями на сходственные тематики.

В работе [4] проводились огневые испытания на модели *резервуара вертикального стального с понтоном (РВСП)* объёмом  $1000 \text{ м}^3$  в масштабе 1:5. Целью работы являлось исследование температурного режима элементов РВСП в процессе пожара и вероятные условия потери несущей способности крыши, разрушения и потери плавучести понтона из алюминия в условиях пожара. Моделью пожара являлось горение в кольцевом зазоре между понтоном и стенкой резервуара с нормальным положением крыши и без крыши. Для определения нагрева понтона и крыши из алюминия при различных вариантах пожара использовался тепловизор. Полученные с его помощью термограммы (рис. 1) позволили определить распределение температурных полей на РВСП.



**Рис. 1.** Термограммы распределения температурных полей на модели РВСП с понтоном и крышей из алюминия:  
а – корпус резервуара; б – понтон

В работе [5] фиксировалось изменение температурного поля пламени при горении бензина в модельном очаге пожара с применением подложки из гранулированного пеностекла. Изменения фиксировались с помощью тепловизора FlukeTi20. Пример полученных термограмм представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Термограмма горения бензина в модельном очаге пожара

На представленных рисунках видно, что тепловизоры позволяют фиксировать значения температурных полей на исследуемых объектах при проведении огневых испытаний. Максимальные значения температуры, полученные в работах [4, 5] составляют порядка 400 °С.

Опираясь на опыт ранее проведённых исследований [4, 5] и требования к эксплуатации тепловизоров [6], для проведения огневых испытаний на физической модели резервуара с защитной стенкой типа "стакан в стакане" с целью измерения распределение температурных полей на защитной стенке автором была определена возможность применения тепловизора фирмы NEC ThermoTracer TH7800 (рис. 3).



**Рис. 3.** Тепловизор фирмы NEC ThermoTracer TH7800



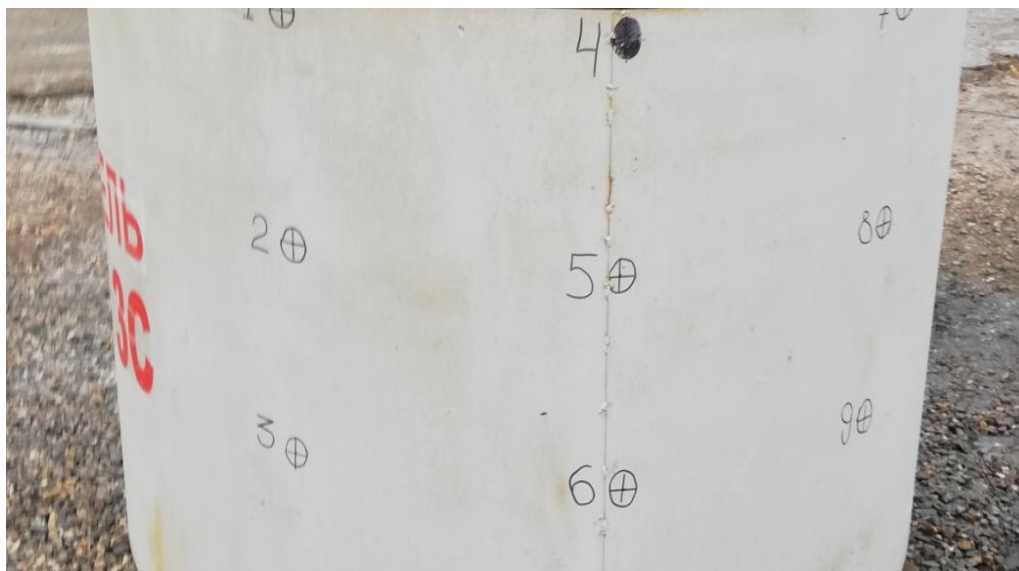
С его помощью проводились измерения распределения температурных полей на защитной стенке модельного резервуара типа "стакан в стакане" и определение её максимальной температуры нагрева. На рис. 4 представлена принципиальная схема проведения измерений температурных полей на защитной стенке модельного резервуара типа "стакан в стакане".



**Рис. 4.** Схема проведения измерения температуры на защитной стенке модельного резервуара типа "стакан в стакане":  
 $q_1$  – излучение, направленное в окружающую среду;  
 $q_2$  – излучение, действующее на защитную стенку при пожаре в основном резервуаре

Перед применением тепловизора осуществлялась его настройка согласно руководству по эксплуатации [6]. С его помощью возможно измерить температуру в диапазоне от  $-20$  до  $1000$  °C с погрешностью в  $\pm 2$  % от показания. Поле зрения составляет  $27^\circ$  по горизонтали и  $20^\circ$  по вертикали, а диапазон фокусировки от  $50$  см до бесконечности. Необходимое и безопасное расстояние для измерения температурных полей на защитной стенке РВСЗС было определено экспериментально на стадии проведения качественного эксперимента.

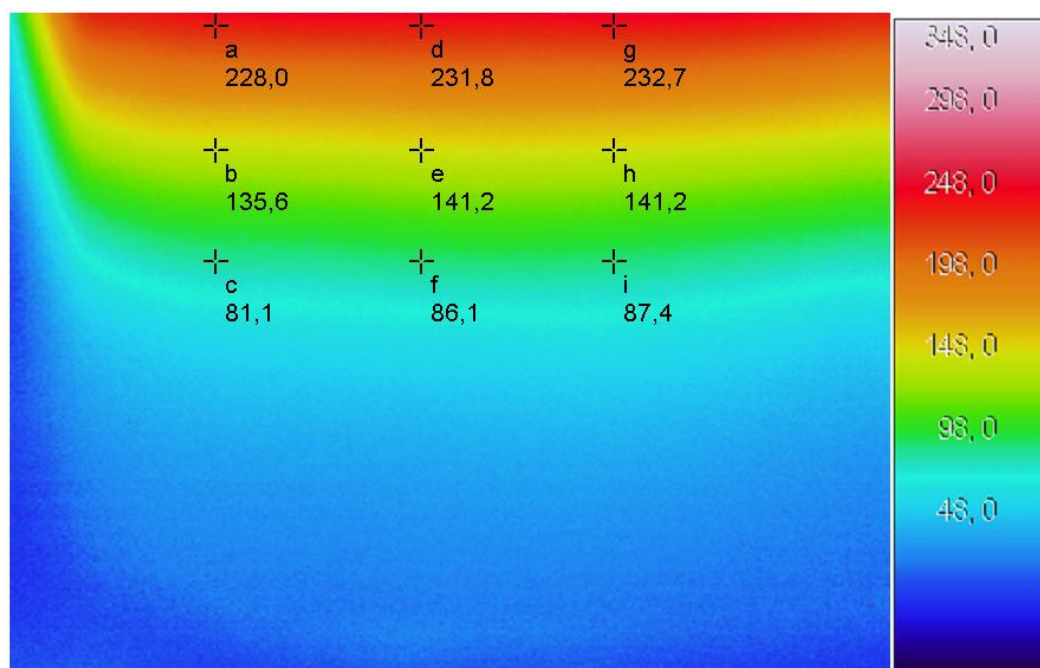
При проведении огневых испытаний получены результаты, которые фиксировались в экспериментальных протоколах, в которых так же записывались начальные данные по стенду. Для измерения тепловых полей защитной стенки модели РВСЗС на неё была нанесена координатная сетка, представленная на рис. 5.



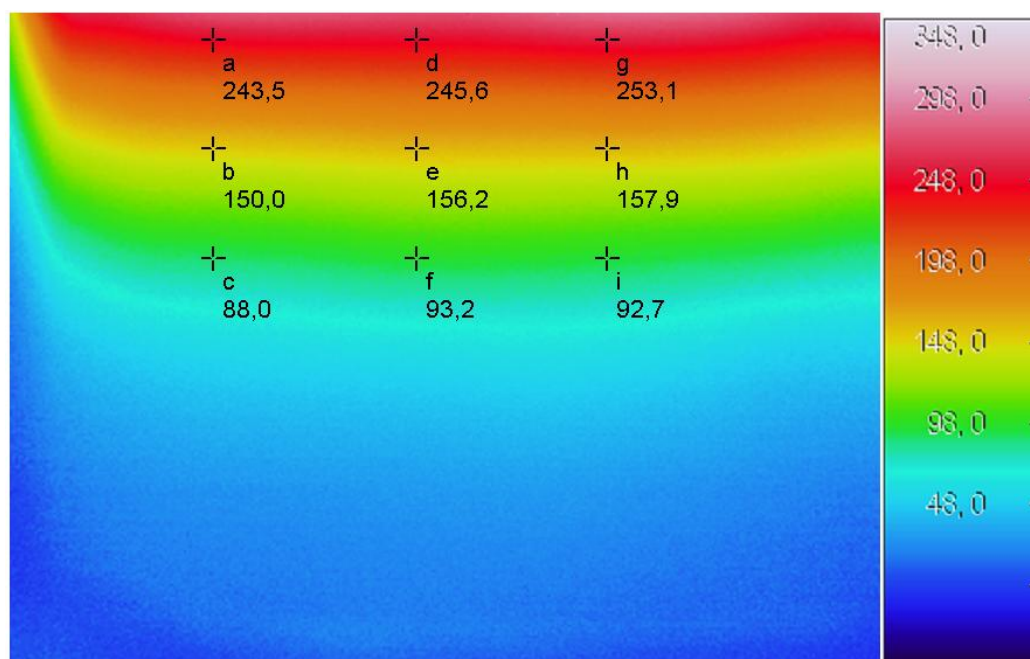
**Рис. 5.** Координаты точек фиксации температур

На рис. 6 и 7 представлены результаты измерений при разных скоростях ветра в виде термограммы, в которой хорошо просматривается распределение тепловых полей защитной стенки на 10 минуте эксперимента. Обоснование выбора временного диапазона представлено в работе [7].

На полученных термограммах видно изменение температур и их распределение на защитной стенке модельного резервуара при изменении скорости ветра. Это говорит о том, что от скорости ветра зависит изменение температур и вектор её распределения на защитной стенке модельного РВСЗС.



**Рис. 6.** Распределение температурных полей защитной стенки модели РВСЗС при скорости ветра 0 м/с



**Рис. 7.** Распределение температурных полей защитной стенки модели РВСЗС при скорости ветра 3 м/с

При проведении огневых испытаний на спроектированной модели резервуара с защитной стенкой типа "стакан в стакане" одним из возможных способов измерения распределения температурных полей на защитной стенке является применение тепловизора. Распределение температурных полей защитной стенки резервуара типа "стакан в стакане" позволяет подойти к решению тепло-технической задачи.

#### Литература

1. Егоров А. Н., Рубцов Д. Н., Рубцов В. В., Худобин В. А. Требования к размещению систем пожарной автоматики на защитной стенке резервуара типа "стакан в стакане" // Матер. междунар. науч.-практ. конф. "Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности". М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. С. 217-221.
2. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: ИД Спектр, 2009. 544 с.
3. Неделько А. Ю. Преимущества и недостатки бесконтактного измерения температуры // Фотоника. 2013. № 1. С. 102-109.
4. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб.: изд-во. Политехн. ун-та, 2010. 398 с.
5. Ширяев Е. В., Рубцов Д. Н., Назаров В. П., Булгаков В. В. Огнезащитный эффект гранулированной пеностеклянной подложки при углеводородном пожаре пролива // Безопасность жизнедеятельности. 2016. Вып. 4. С. 33-38.
6. ThermoTracerTH7800. Руководство по эксплуатации.
7. Рубцов Д. Н., Егоров А. Н., Рубцов В. В. Огневые испытания защитной стенки резервуара типа "стакан в стакане" при воздействии на неё тепловых нагрузок от пожара в основном резервуаре // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 1. С. 25-30.

*Материал поступил в редакцию 15 марта 2019 г.*

**Для цитирования:** Егоров А. Н. Термография в экспериментальных исследованиях нагрева защитной стенки модельного резервуара типа "стакан в стакане" // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 2 (84). – 2019. – С. 54-62. DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.54-62.



A. N. Egorov

## THERMOGRAPHY IN EXPERIMENTAL RESEARCHES HEATING PROTECTIVE WALL MODEL RESERVOIR OF "GLASS IN GLASS" TYPE

The necessity of experimental and theoretical substantiation of the location of automatic fire extinguishing systems and automatic irrigation systems on the protective wall of the "glass in glass" tank has been confirmed. The analysis of methods for measuring temperatures was used in fire tests. The advantages and disadvantages of contact and contactless methods of temperature measurement during fire tests was conducted were assessed. The possibility of using a thermal imager for fire tests of the protective wall of a "glass in glass" tank model has been substantiated. Thermograms of temperature field distribution of the protective wall are presented during fire tests on the model of a tank with a "glass in a glass" protective wall. Using a thermal imager, an assessment of the distribution of the temperature fields of the protective wall of a "glass in a glass" tank was made, which makes it possible to approach the solution of a thermal problem.

Key words: protective wall, oil, fire tests, fire, reservoir, thermal imager, thermocouple.

### References

1. Yegorov A. N., Rubtsov D. N., Rubtsov V. V., Khudobin V. A. Requirements for the placement of fire automatics systems on the protective wall of a tank like a "glass in a glass". *Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Istoricheskij opyt, sovremennye problemy i perspektivy obrazovatel'noj i nauchnoj deyatel'nosti v oblasti obespecheniya pozharnoj bezopasnosti"* [Proceed. of International Scientific and Practical Conference "Historical experience, contemporary problems and prospects of educational and scientific activities in the field of fire safety"]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2018, pp. 217-221 (in Russian).
2. Vavilov V. P. *Infrakrasnaya termografiya i teplovoj kontrol* [Infrared thermography and thermal control]. Moscow, ID Spectr Publ., 2009, 544 p.
3. Nedelko A. Yu. *Preimushchestva i nedostatki beskontaktnogo izmereniya temperatury* [Advantages and disadvantages of non-contact temperature measurement]. *Fotonika* Publ., 2013, no. 1, pp. 102-109.
4. Volkov O. M. *Pozharnaya bezopasnost' rezervuarov s nefteproduktami* [Fire safety of tanks with oil products]. Saint Petersburg, Polytechnic University Publ., 2010, 398 p.
5. Shiryayev E. V., Rubcov D. N., Nazarov V. P., Bulgakov V. V. The fire retardant effect of granulated foam glass substrate with the hydrocarbon fire spills. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti / Life Safety*, 2016, vol. 4, pp. 33-38 (in Russian).
6. ThermoTracerTH7800. Manual.
7. Rubtsov D. N., Egorov A. N., Rubtsov V. V. Fire tests of the protective wall of the tank type "glass in a glass" when exposed to thermal loads from the fire in the main tank. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya / Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2019, no. 1, pp. 25-30 (in Russian). DOI: 10.25257/FE.2019.1.25-30.

**For citation:** Egorov A. N. Thermography in experimental researches heating protective wall model reservoir of "glass in glass" type. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 2 (84), 2019, pp. 54-62 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.54-62.