

УДК 551.4.012:624.04:614.841.34

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТОЙ

Полева И.И. к.т.н., доцент, Кудряшов В.А. к.т.н., доцент, Жамойдик С.М.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

zhamoidik.kii@gmail.com

Разработана методика и проведены натурные экспериментальные исследования огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой. Получены результаты температурного прогрева, и перемещения стальных каркасных конструкций с различными толщинами конструктивной огнезащиты при трех- и двухстороннем огневом воздействии. Определено влияние огнестойкости смежных ограждающих конструкций на время прогрева стальных каркасов с конструктивной огнезащитой. Проведены измерения перемещений металлических колонн в контрольных точках. Зафиксировано увеличение скорости прогрева сечения металлоконструкций экспериментального сооружения, по сравнению с испытаниями типовых одиночных элементов.

The technique is developed for conducted full-scale experimental study of steel frame structures fire resistance with structural fire protection. The thermal results and steel frame structures displacements with different structural fire protection thicknesses under three- and two-sided fire exposure are found. The effect of the adjacent walling fire resistance on steel frames with structural fire protection warming rate is determined. The steel columns displacements at the control points are measured. An increase of steel structures construction sections warming rate is detected, compared with single elements standard tests.

(Поступила в редакцию 14 января 2016 г.)

Введение. При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий обеспечение огнестойкости металлоконструкций является актуальной и важной задачей [1, 2]. Учитывая, что металлоконструкции вследствие их негорючести относят к классу пожарной опасности К0 [3], то основным показателем, определяющим их область применения, является предел огнестойкости. Огнестойкость незащищенных конструкций, выполненных из конструкционной стали составляет, как правило, 15 минут [4] и вследствие чего ограничена зданиями VII-VIII степени огнестойкости (в общем случае). Для ее расширения используется огнезащита, в основном сущность которой заключается в создании теплозащитных экранов или устройств, ограничивающих прогрев при пожаре. Наиболее оптимальным способом огнезащиты стальных каркасных конструкций, исходя из условий долговечности и надежности, по нашему мнению, является конструктивная огнезащита.

Состояние проблемы на современном этапе. Предел огнестойкости металлоконструкций с огнезащитой определяется следующими способами:

- проведением испытаний по [5];
- определением огнезащитной эффективности материала огнезащиты по [6];
- расчетным методом.

Проведение испытаний по [5] предусматривает использования для создания стандартного температурного режима пожара огневую камеру, в результате чего, геометрические параметры испытуемых конструкций ограничены габаритными размерами огневой камеры. Таким образом проведение огневых испытаний по [5] не позволяет испытывать конструкции и конструктивные схемы реальных размеров (фрагмент части стального каркаса).

Испытания по определению огнезащитной эффективности материала по [6] проводятся на образце высотой 1,7 м. В качестве металлоконструкции используется двутавр № 20 по [7]. Испытуемая конструкция подвергается четырехстороннему огневому воздействию без статической нагрузки. В результате чего испытания по [6] являются лишь показателем температурапроводности материала огнезащиты и не отражают реальную работу огнезащиты в реальных условиях эксплуатации. Моментом окончания испытаний по [6] является достижение средней температуры термоэлектрических преобразователей, установленных на испы-

туемом образце, критической температуры 500 °С. Однако критическая температура зависит от действующих напряжений в сечении конструкций [4, 8, 9] и может принимать значения отличные от 500 °С.

Значительное количество конструкций в здании расположены по периметру помещения и в результате пожара подвергаются трех или двухстороннему огневому воздействию. Часть таких элементов защищается от воздействия пожара огнезащитой, а другая ограждающими конструкциями помещения. Испытания рассматриваемых конструктивных схем на огнестойкость не проводятся. Главным недостатком огневых испытаний одиночных элементов является невозможность воспроизвести совместную их работу при пожаре [5, 6]. Такой недостаток полностью исключается при поведении натуральных огневых испытаний.

Учитывая сложность проведения и воспроизведения натуральных огневых испытаний, а также фиксации всех требуемых показателей, значимость модельных стандартных испытаний заключается в возможности более подробно и при меньших затратах выявить закономерности поведения теплотехнических характеристик огнезащиты.

Расчетные методы определения предела огнестойкости [10, 11], как правило, рассматривают прогрев одиночного элемента и основаны лишь на теплотехнических характеристиках целостной конструкции. В процессе расчета не учитывается влияние на время прогрева, деформаций и возможное нарушение целостности конструктивной огнезащиты вследствие разрушения смежных конструкций. Для получения объективной информации о влиянии сочленяемых конструкций на предел огнестойкости рассчитываемой конструкции, необходимо проведение натуральных огневых испытаний, которые способны воссоздать конструктивную схему работы рассчитываемой конструкции.

Целью натуральных огневых исследований является экспериментальная оценка эффективности конструктивной огнезащиты с учетом ее совместного поведения и ограждающих конструкций экспериментального сооружения, при пожаре близком к стандартному, а также перемещения стальных каркасных конструкций, вызванных температурными деформациями и статической нагрузкой на целостность конструктивной огнезащиты и для дальнейшей разработки метода расчета температурного прогрева стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой учитывающей ускорение прогрева ее сечения за счет возможного разрушения ограждающих конструкций к которой примыкает конструктивная огнезащита.

Методика экспериментальных исследований огнестойкости стального каркаса с конструктивной огнезащитой. Для достижения цели экспериментальных исследований поставлены следующие задачи:

спроектировать фрагмент конструктивной системы на основе стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой;

смоделировать температурный режим в здании (помещении), основанный на значениях стандартной температурной зависимости пожара, рассчитать требуемое количество и плотность распределения пожарной нагрузки для его воспроизведения в натуральных огневых испытаниях;

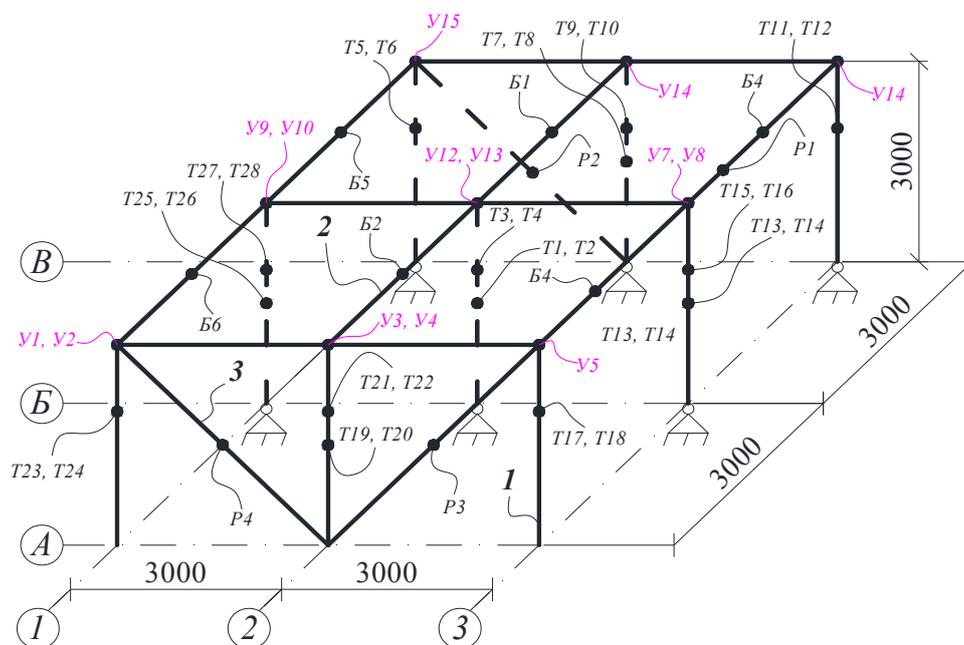
разработать схему расстановки термоэлектрических преобразователей для измерения температуры на наиболее ответственных участках;

разработать схему расстановки геодезических марок и станций стояния для определения перемещения колонн; на наиболее ответственных участках, позволяющих оценить эффективность примененной конструктивной огнезащиты и поведение стального каркаса в условиях совместного температурно-силового воздействия;

определить влияние ограждающих конструкций на время прогрева стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой, расположенных по периметру помещения.

Крупномасштабные огневые испытания для экспериментального исследования огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой проведены на территории поселка Юхновка на базе территории Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. Запроектировано здание размерами в плане 6×6 м и высотой 3 м, шаг и пролет колонн равен 3 м (рисунок 1). Выбор вида сечений и геометрических параметров стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой и статической нагрузки для

экспериментального сооружения осуществлялся исходя из возможности воспроизведения фрагмента реального здания и необходимой величины нагрузки, для создания в расчетных сечениях конструкций напряжений, соответствующих напряжениям, действующим на конструкции при реальной эксплуатации зданий. Схема экспериментального сооружения позволяет на основании полученных результатов прогнозировать поведение стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой при изменении вида сечения и геометрических параметров.



1 – колонна (двутавры № 12 по [7]); 2 – балка покрытия (швеллеры № 6,5 по [12]); 3 – раскос (уголки № 4 по [13]); T1-T28 – термоэлектрические преобразователи установленные на колоннах;
Y1-Y15 – термоэлектрические преобразователи установленные в узловых соединениях;
B1-B6 – термоэлектрические преобразователи установленные на несущих балках

Рисунок 1 – Внешний вид каркаса экспериментального сооружения

Каркас здания состоит из следующих конструкций: колонны (двутавры № 12 по [7]); балки (швеллеры № 6,5 по [12]); раскосы (уголки № 4 по [13]). Соединение металлоконструкций каркаса осуществляется при помощи болтов. Для обеспечения необходимой статической нагрузки на здание, покрытие было загружено мешками с песком.

Для повышения огнестойкости стальных каркасных конструкций предусмотрены огнестойкие плиты «KNAUF FIREBOARD». Толщина огнестойких плит для колонн, расположенных в осях составляет: 1, А-Б – 2×20 мм; 1, В – 2×25 мм; 2, А и 2, В – 25 мм; 2, Б – 2×25 мм; 3, А и 3, В – 20 мм; 3, Б – 15 мм (рисунок 2).

Огнезащита металлоконструкций осуществляется согласно [14]. Балки экспериментального сооружения защищены подвесным потолком, выполненным из огнестойких плит «KNAUF FIREBOARD» в два слоя толщиной каждый 25 мм. Покрытие запроектировано из металлического профилированного настила. Пространство между огнестойкими плитами и профилированным настилом заполнено минеральной ватой. В качестве наружных ограждающих конструкций используются ячеистобетонные блоки. В осях 1-2, В; ячеистобетонная перегородка защищена от воздействия пожара противопожарной облицовкой из гипсовых армированных стекловолокном плит толщиной 40 мм, пространство между ячеистобетонными блоками и гипсовыми плитами заполнено минеральной ватой толщиной 50 мм. В осях 2-3, В; 3, А-В; 1-2, А и 1, А-Б ячеистобетонные перегородки защищены от воздействия пожара противопожарной облицовкой из гипсовых армированных стекловолокном плит толщиной 20 мм, пространство между ячеистобетонными блоками и гипсовыми плитами заполнено минеральной ватой толщиной 50 мм. В осях 1, Б-В; ячеистобетонная перегородка

защищена от воздействия пожара цементной плитой «Аквапанель» толщиной 12,5 мм, пространство между ячеистобетонными блоками и цементными плитами заполнено минеральной ватой толщиной 50 мм. Ячеистобетонные блоки в осях в осях 2-3, А дополнительной защиты не подвергались. В ограждающих конструкциях устраиваются по одному дверному и оконному проему, а также отверстие для подачи при помощи дымососа наружного воздуха, для создания необходимого воздухообмена при пожаре. Для устойчивости перегородок из ячеистобетонных блоков, в ней были установлены двутавры № 12 по [7].

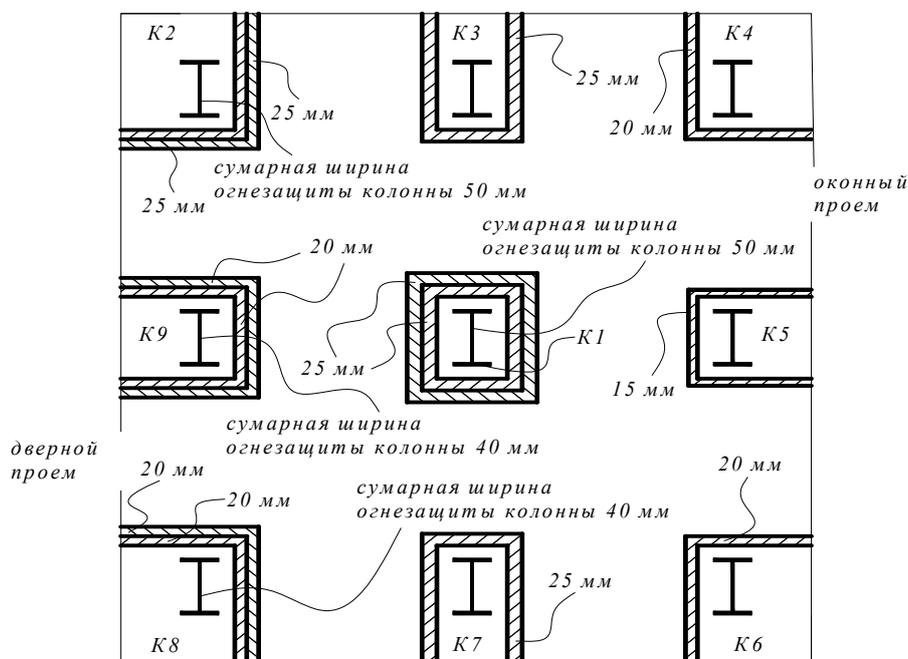


Рисунок 2 – Схема расположения стальных каркасных конструкций и толщины конструктивной огнезащитой

В качестве температурного режима пожара выбран стандартный режим по [15]. Стандартная температурная кривая выбрана как наиболее неблагоприятный вариант развития пожара с точки зрения наступления последствий (за исключением углеводородной кривой пожара, которая имеет место на объектах газонефтяной промышленности, что не входит в область диссертационных исследований). Для его создания в экспериментальном здании устроено 20 очагов пожарной нагрузки с регулируемым воздухообменом. В качестве пожарной нагрузки использовано 1800 литров отработанного моторного масла и 1800 кг древесины. Розжиг горючей нагрузки производился одновременно.

В процессе проведения экспериментальных исследований регистрировались температура и перемещения стальных каркасных конструкций, узловых соединений, изменение среднеобъемной температуры газовой среды внутри исследуемого здания. Моментом окончания натурных огневых испытаний, являлось обрушение части экспериментального сооружения.

Термоэлектрические преобразователи установлены в количестве четырех штук для колон, подверженных трехстороннему огневому воздействию, по два термоэлектрических преобразователя в середине длины колонны (на отметке +1.500) и в месте максимального ожидаемого прогиба (на отметке +2.000) при помощи специальных устройств. По два термоэлектрических преобразователя установлено на колоннах, подверженных двухстороннему огневому воздействию (на отметке +2.000). В сечении термоэлектрические преобразователи установлены один в среднем сечении образца на стенке двутавра и один на внутренней поверхности в середине полки двутавра.

В ходе проведения экспериментальных исследований огнестойкости стальных каркасных конструкций одной из задач для возможности сопоставления ранее полученных результатов было воспроизводство температурного режима пожара, соответствующего стан-

дартному по [15]. Для контроля температуры газовой среды внутри экспериментального сооружения, в его объеме было установлено 12 термоэлектрических преобразователя типа ТХА(К), в трех плоскостях на высоте 0,5, 1,5 и 2,5 м от плоскости потолка. Данные термоэлектрических преобразователей с дискретностью в 1 минуту регистрировались с помощью прибора «Сосна-004». Температура окружающей среды на момент начала испытаний составляла около 13 °С.

Перемещения стальных каркасных конструкций определялись следующим образом: к колоннам на высоте +2.000 (в месте ожидаемого максимального прогиба) перпендикулярно колонне приваривался уголок, на котором были закреплены геодезические марки. По периметру здания (рисунок 4) установлены 5 станций стояния с электронными тахеометрами Leica TCR 703 3' № 660828, (станция 5000), Leica TCR 703 3' № 653383 (станция 1000), Nikon NPL-632 2' № 020948 (станция 2000), Leica TCR-405 Power № 633193 (станция 3000), SokkiaSET530R 5" № 164553 (станция 4000), при помощи которых производилось фиксация перемещений геодезическим марок на уголке. Перемещения конструкций во время огневого воздействия, определялись решением уравнения прямой в пространстве.

Экспериментальные исследования. В соответствии с ГОСТ 8-207 [16] значения среднеобъемной температуры определялись как среднеарифметическое из показаний термоэлектрических преобразователей, погрешность измерений составляла $\pm 15,5$ °С. На рисунке 3 представлены данные об изменении среднеобъемной температуры газовой среды во всех измеряемых плоскостях внутри экспериментального сооружения, а также изменение температуры стандартного пожара с допустимыми отклонениями по [15].

Для поддержания необходимого воздухообмена при пожаре в начале испытаний с 5 по 10 минуты был включен дымосос УДП-12,5М.

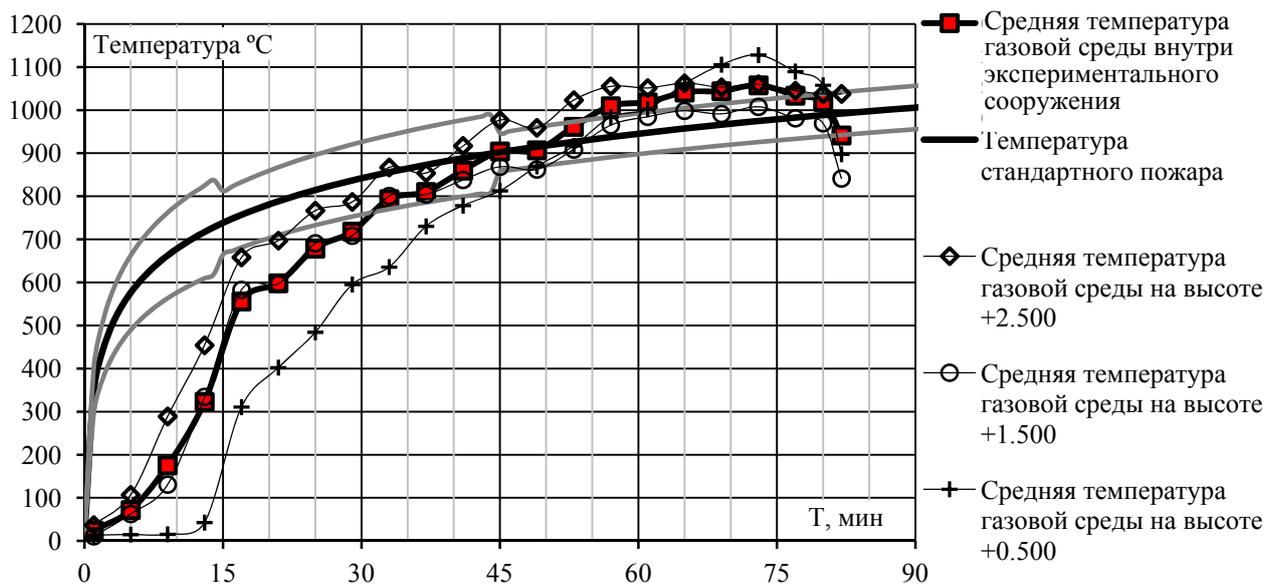


Рисунок 3 – График изменения среднеобъемной температуры среды внутри экспериментального сооружения

В ходе проведения огневых испытаний, с дискретностью в 1 минуту при помощи термоэлектрических преобразователей ТХА(К), регистрировалось изменение температуры на поверхности стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой. На рисунке 4 представлен график изменения температуры колонн К3 и К7 в ходе огневых испытаний.

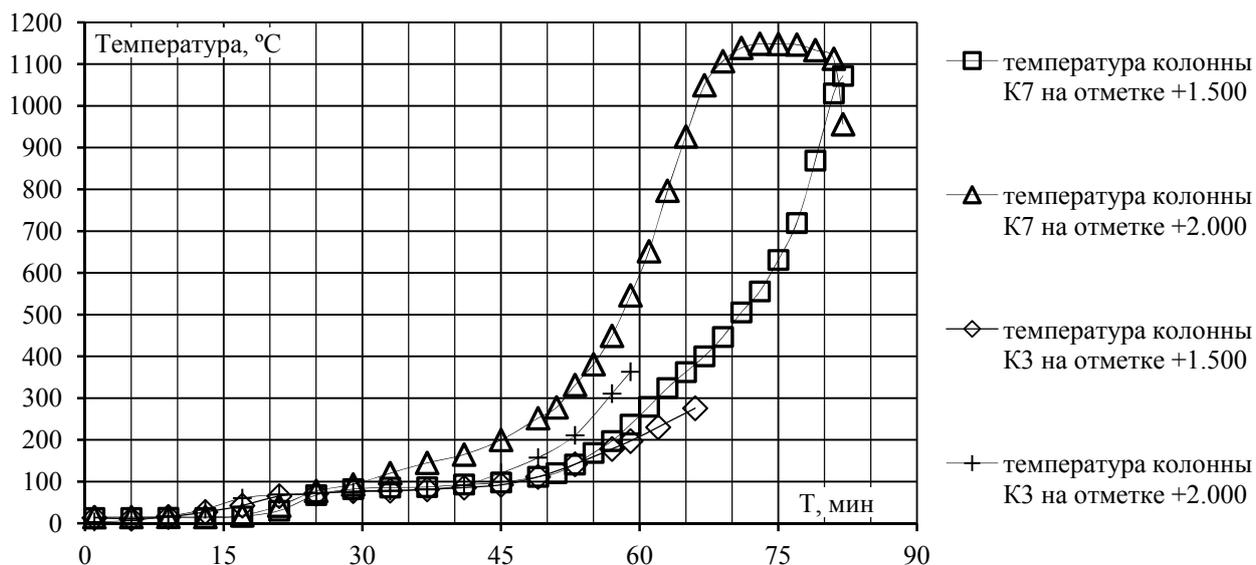


Рисунок 4 – Экспериментальные значения температуры колонн К3 и К7

Колонна К3 защищена одним слоем огнестойкого гипсокартона толщиной 25 мм. Температурный прогрев колонны плавный, начиная с 40 минуты огневых испытаний наблюдается разная скорость прогрева конструкции на высоте +1.500 и +2.000 (рисунок 4.). На высоте +2.000 скорость прогрева увеличивается, это связано с разрушением гипсокартонной перегородки, расположенной в осях 2-3, В (рисунок 1), что привело к проникновению тепловых потоков внутрь огнезащищенной конструкции. С внутренней стороны разрушение перегородки выполненной из огнестойких гипсокартонных листов расположенных в осях 1-2, В не произошло, что предотвратило непосредственное огневое воздействие на стальную конструкцию с данной стороны (рисунок 5). Фиксация изменения температуры рассматриваемой колонны на высоте +1.500 окончена по истечении 66 минуты, а на высоте +0.000 по истечении 59 минуты. Максимальное значение средней температуры на колонне в момент окончания измерения температуры составило: на высоте +1.500 – 275,7 °С, на высоте +2.000 – 363,1 °С.



а) общий вид колонны



б) верхняя часть колонны

Рисунок 5 – Внешний вид колонны К3 после огневых испытаний

Колонна К7 защищена одним слоем огнестойкого гипсокартона толщиной 25 мм. Температурный прогрев колонны на высоте +2.000 плавный до 50 минуты, начиная с 51 минуты огневых испытаний происходит нарастание скорости прогрева колонны на высоте +2.000. Колонна на высоте +1.500 прогревается плавно, но скорость прогрева выше чем у колонны № 3 имеющей такие же условия прогрева что и колонна К7 (рисунки 4, 6). Начиная с 30 минуты огневых испытаний наблюдается разная скорость прогрева конструкции на высоте +1.500 и +2.000 (рисунок 4). На высоте +2.000 скорость прогрева увеличивается, это связано с прогибом в верхней части перегородки расположенной в осях 1-2, А, что привело к проникновению тепловых потоков внутрь огнезащищенной конструкции. На высоте +1.500 до 71 минуты огневых испытаний наблюдается плавное нарастание температуры, которое начинает увеличиваться с 72 минуты. Значительный скачок температуры наблюдается на 78 минуте в среднем на 105,3 °С за минуту, такая скорость прогрева характерна для условий прогрева незащищенной стальной конструкции. Быстрый прогрев свидетельствует о полном разрушении конструктивной огнезащиты колонны на 70 минуте (рисунок 4). Обрушение колонны произошло на 76 минуте огневых испытаний, одновременно с колоннами К5 и К6. Колонна К7 была нагружена значительно меньше чем колонна К5, в результате чего ее критическая температура была выше чем у колонны К5, что позволило не обрушиться зданию по достижению критической температуры колонны К7. Фиксация изменения температуры рассматриваемой колонны окончена на 82 минуте. Средняя температура на колонне в момент обрушения на высоте +1.500 составила 675,6 °С, на высоте +2.000 составила 1100,0 °С. Внешний вид колонны К7 представлен на рисунке 6.

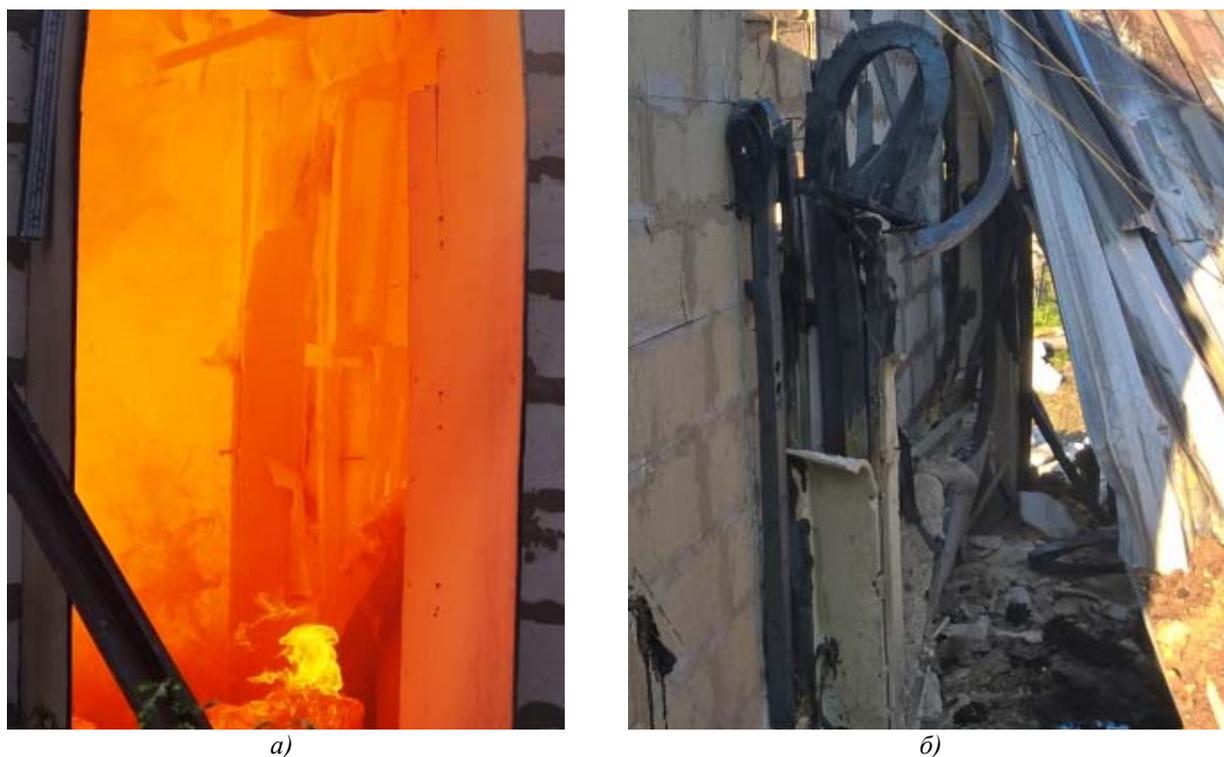


Рисунок 6 – Внешний вид колонны К7 во время (а) и после огневых испытаний (б)

На конструкции К7 дополнительно были установлены 3 термоэлектрических преобразователя на огнезащите на высоте +2.000. Один датчик на обогреваемой поверхности огнезащиты в середине ширины листа, второй датчик на необогреваемой поверхности огнезащиты также в середине ширины листа и третий датчик в углу на необогреваемой поверхности огнезащиты в месте стыка листов гипсокартона. Изменения температуры указанных точек на конструкции отображены на рисунке 7.

Изменение температуры на внутренней поверхности огнезащиты до 43 минуты огневых испытаний близко к изменению средней температуры на поверхности стальной конструкции на высоте +2.000, что подтверждает факт от том, что практически все тепло которое

поступало в конструкцию через пространство, образованное между ограждающей конструкцией экспериментального сооружения и конструктивной огнезащитой было направлено на прогрев профиля конструктивной огнезащиты.

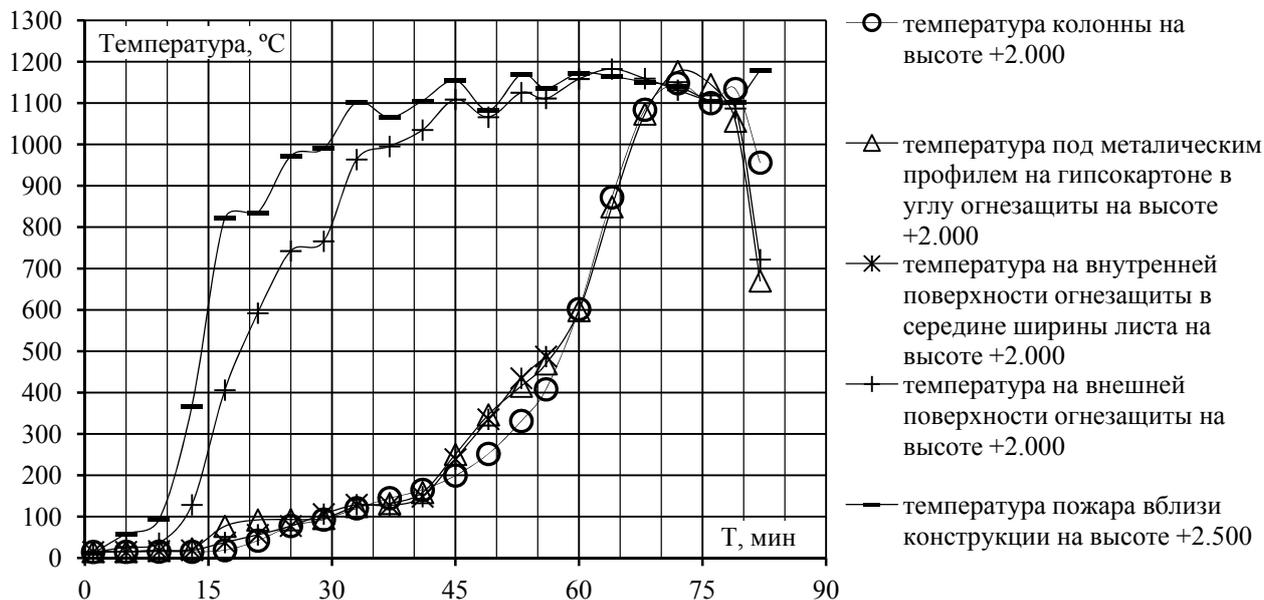


Рисунок 7 – График температурно-временного режима прогрева стальной каркасной конструкции K7 и конструктивной огнезащиты

По истечении 43 минут произошел прогрев и разрушение конструктивной огнезащиты в верхней части колонны K7 (рисунок 6), ввиду того, что стальная конструкция имеет большую инерционность прогрева (за счет большей металлоемкости) по сравнению с чувствительным элементом термопары, наблюдается отклонение в показаниях температуры на необогреваемой поверхности огнезащиты и средней температуры на поверхности стальной конструкции с 43 по 57 минуты. По истечении 57 минуты огневых испытаний скорость изменения рассматриваемых температур практически одинакова (рисунок 7).

На рисунке 8 представлен график изменения температуры колонн K4 и K6 в ходе огневых испытаний.

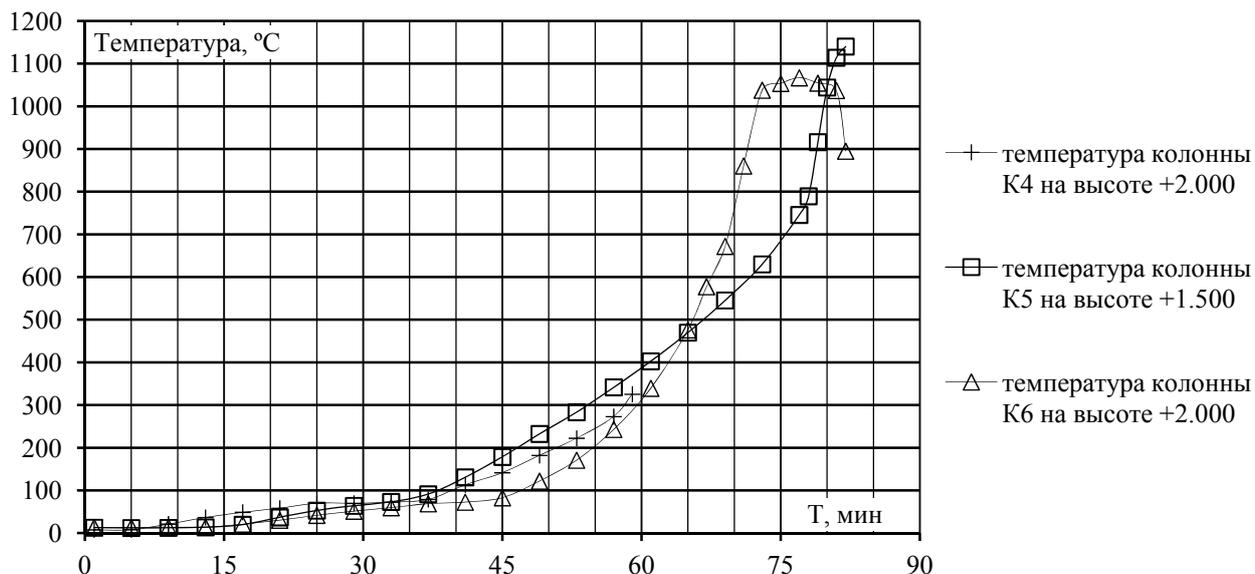


Рисунок 8 – Экспериментальные и расчетные температуры колонн K4, K5 и K6

Колонна K4 защищена одним слоем огнестойкого гипсокартона толщиной 20 мм.

Температурный прогрев колонны плавный на 37 минуте температура на колонне начинает подниматься выше 100 °С. Ровная площадка у колонны К4 также, как и у колонны К5 заканчивается на 37 минуте огневых испытаний, хотя колонна К5 подвержена трехстороннему огневому воздействию и имеет толщину огнезащиты на 5 мм менее рассматриваемой колонны. Такой прогрев колонны К4 указывает на нарушение целостности конструктивной огнезащиты и как следствие увеличение скорости прогрева защищаемой стальной колонны. Нарушение целостности конструктивной огнезащитой обусловлено разрушением гипсокартонной перегородки и деформации ячеистобетонных блоков, расположенных в осях 2-3; В (рисунок 1), что привело к проникновению тепловых потоков внутрь огнезащищенной конструкции (рисунок 9). Также наблюдается увеличение скорости прогрева конструкции К4 начиная с 56 минуты, по сравнению со скоростью нарастания температуры конструкции К5. Ускорение скорости прогрева связано с тем, что в верхней части конструкции огнезащиты произошло раскрытие ее швов, вследствие чего тепло начало попадать внутрь огнезащищенной колонны (рисунок 9). Фиксация изменения температуры рассматриваемой колонны окончена на 59 минуте. Максимальная температура на данной колонне составила 342,2 °С.



Рисунок 9 – Внешний вид колонны К4 после огневых испытаний

Колонна К6 защищена одним слоем огнестойкого гипсокартона толщиной 20 мм. По истечению 46 минуты температура на колонне начинает подниматься выше 100 °С, это свидетельствует о полном испарении влаги из конструкции огнезащиты. В целом, нарастание температуры на колонне до 64 минуты являлось плавным. Начиная с 55 минуты происходит незначительное ускорение прогрева, которое с течением времени увеличивается. Испытания по определению огнезащитной эффективности конструктивной огнезащитой выполненной из гипсовых армированных стекловолокном плит на каркасе из тонкостенных профилей показали, что после испарения влаги из материала огнезащиты, скорость нарастания температуры стальной конструкции практически равномерна [17]. Увеличение скорости нарастания температуры связано с тем, что произошло нарушение целостности конструктивной огнезащиты, за счет разрушения ограждающей конструкции к которой она примыкала. Значительный скачок температуры наблюдается на 71 минуте в среднем на 127,8 °С за минуту, такая скорость прогрева характерна для условий прогрева незащищенной стальной колонны. Скорость прогрева свидетельствует о разрушении конструктивной огнезащиты колонны на 70 минуте (рисунок 8). Обрушение колонны произошло на 76 минуте огневых испытаний, одновременно с колонной К5. Колонна К6 была нагружена значительно меньше чем колонна К5, в результате чего ее критическая температура являлась выше чем у колонны К5, что

позволило не обрушиться зданию по достижению критической температуры колонны. Фиксация изменения температуры рассматриваемой колонны окончена на 82 минуте. Средняя температура на колонне в момент обрушения составила 1043,7 °С. Внешний вид колонны К6 во время обрушения и после огневых испытаний представлен на рисунке 10.

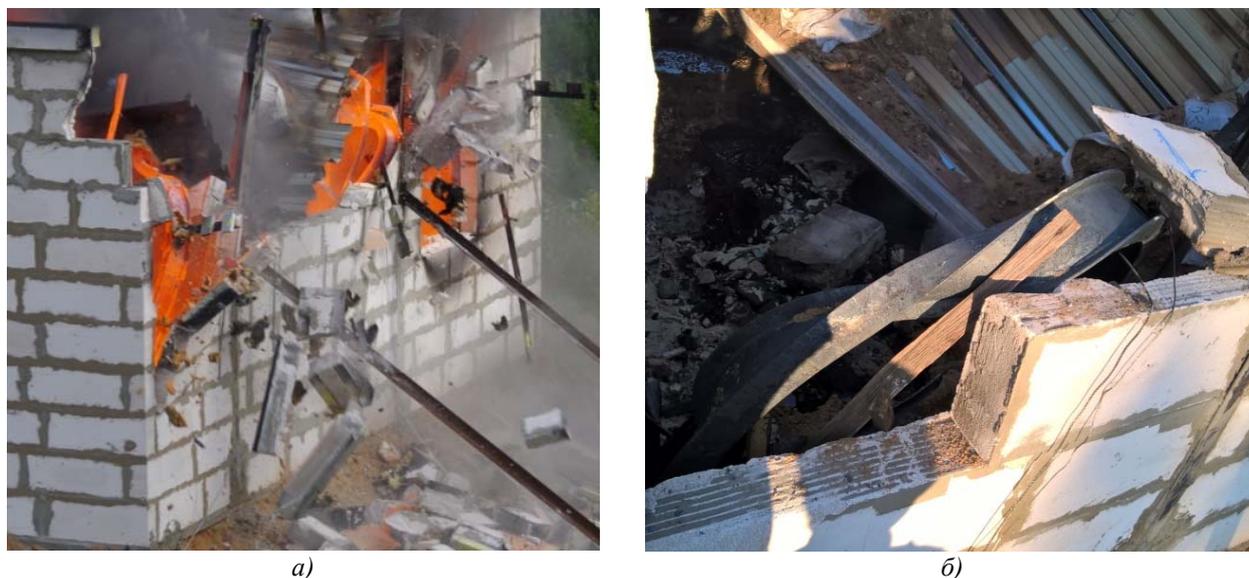


Рисунок 10 – Внешний вид колонны К6 во время обрушения (а) и после огневых испытаний (б)

В ходе проведения натуральных огневых испытаний определялись перемещения контрольных точек на стальных каркасных конструкциях. Перемещения получали посредством двух геодезических марок, установленных на уголках-удлинителях перпендикулярно колоннам. Затем определялась координата конца уголка, прикрепленного к испытуемой конструкции, соответствующей координате контрольной точки колонны. В результате чего, для колонн К4, К5, К6, К7 и К9 получены перемещения двух точек, расположенных на конструкции. Место заделки колонны в фундаментные стаканы принималось условно не перемещаемым. Таким образом, для выше указанных колонн имеется значение трех точек координат во время проведения огневых испытаний. Перемещения контрольных точек испытуемых конструкций К4, К5 и К6 представлены на рисунках 11-16. Местоположение геодезических марок в координатах x , y и z на момент начала испытаний составляет $(0, 0, 0)$. Направления перемещения контрольных точек представлены на рисунке 17 и указаны стрелками по оси x и y , перемещение по оси z со знаком «+» обозначает, что конструкция перемещалась вверх относительно планировочной отметки земли. За планировочную отметку 0.000 принята основа колонны. Тонкие стрелки указывают направление основного перемещения контрольных точек на отметке +2.000, толстые – на отметке +3.000 соответственно. Рядом с некоторыми стрелками указан период времени, в котором наблюдались перемещения в направлении стрелки, в случае отсутствия сбоку или над стрелкой периода времени. Это означает, что основные перемещения контрольных точек осуществлялись в одном указанном на чертеже направлении.

Перед началом натуральных огневых испытаний стальные каркасные конструкции были статически нагружены. В ходе проведения испытаний дополнительная механическая нагрузка отсутствовала. Вследствие чего перемещения стальных каркасных конструкций во время проведения натуральных огневых испытаний вызваны с одной стороны, температурными деформациями самих конструкций, а с другой стороны снижением модуля упругости по причине повышения температуры стали. В результате чего одна и та же нагрузка вызывала большие перемещения стальных каркасных конструкций в ходе огневых испытаний в сравнении с перемещениями на момент начало испытаний.

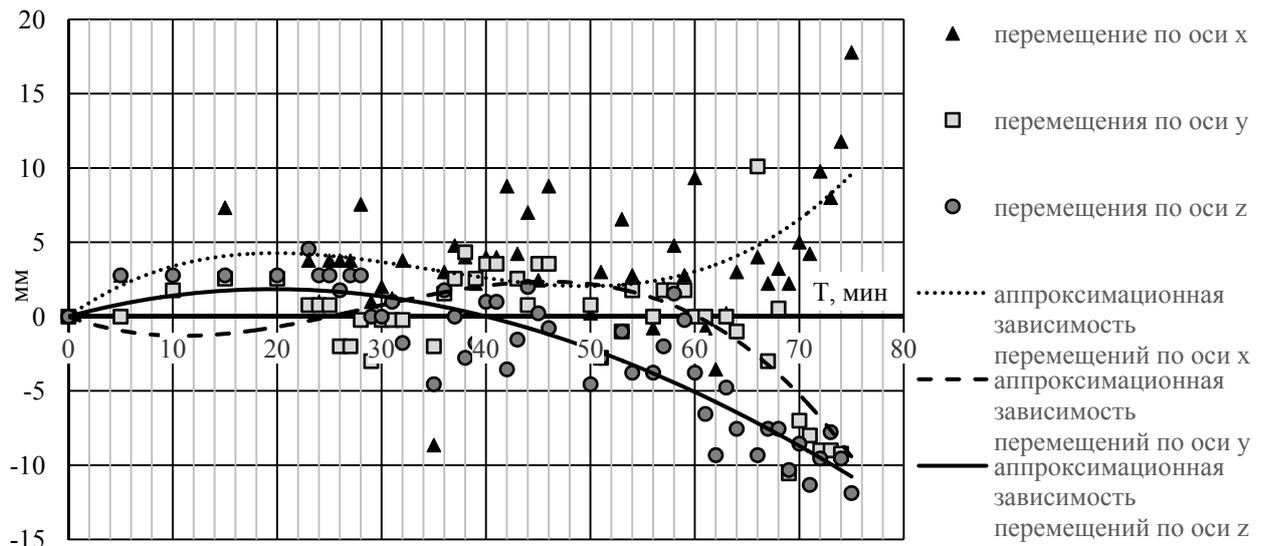


Рисунок 11 – Перемещение контрольной точки колонны К4 на высоте +2.000

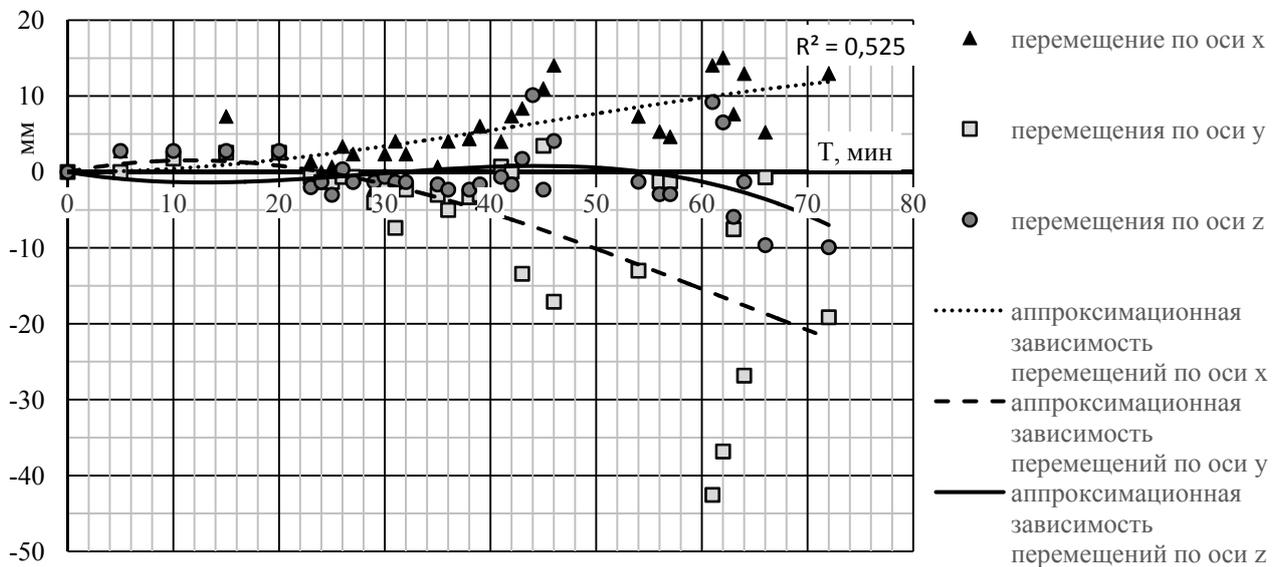


Рисунок 12 – Перемещение контрольной точки колонны К4 на высоте +3.000

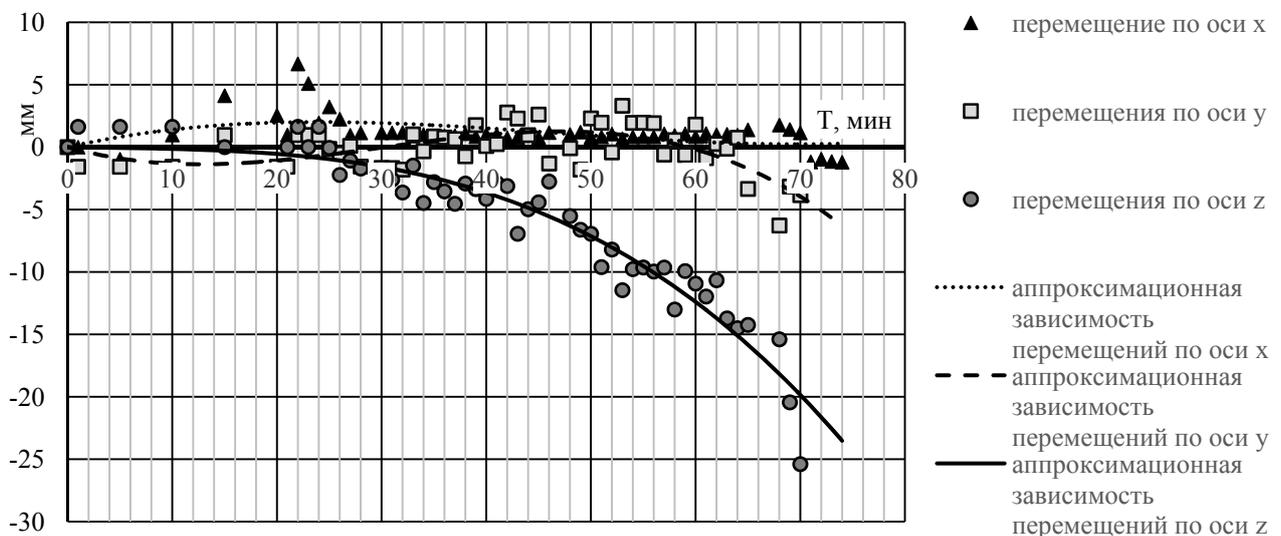


Рисунок 13 – Перемещение контрольной точки колонны К5 на высоте +2.000

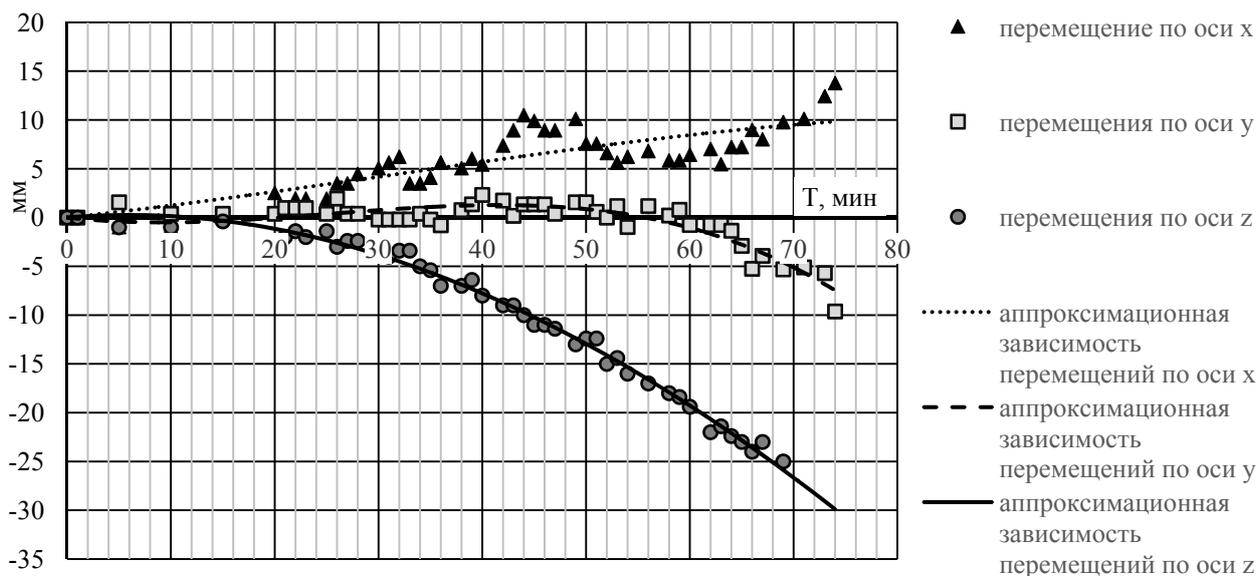


Рисунок 14 – Перемещение контрольной точки колонны К5 на высоте +3.000

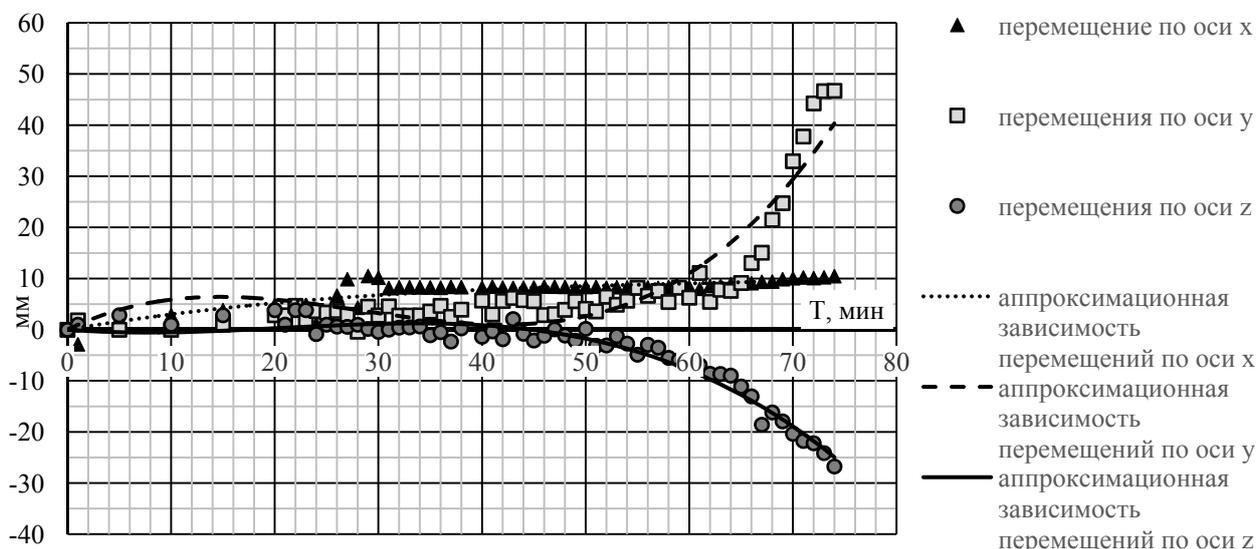


Рисунок 15 – Перемещение контрольной точки колонны К6 на высоте +2.000

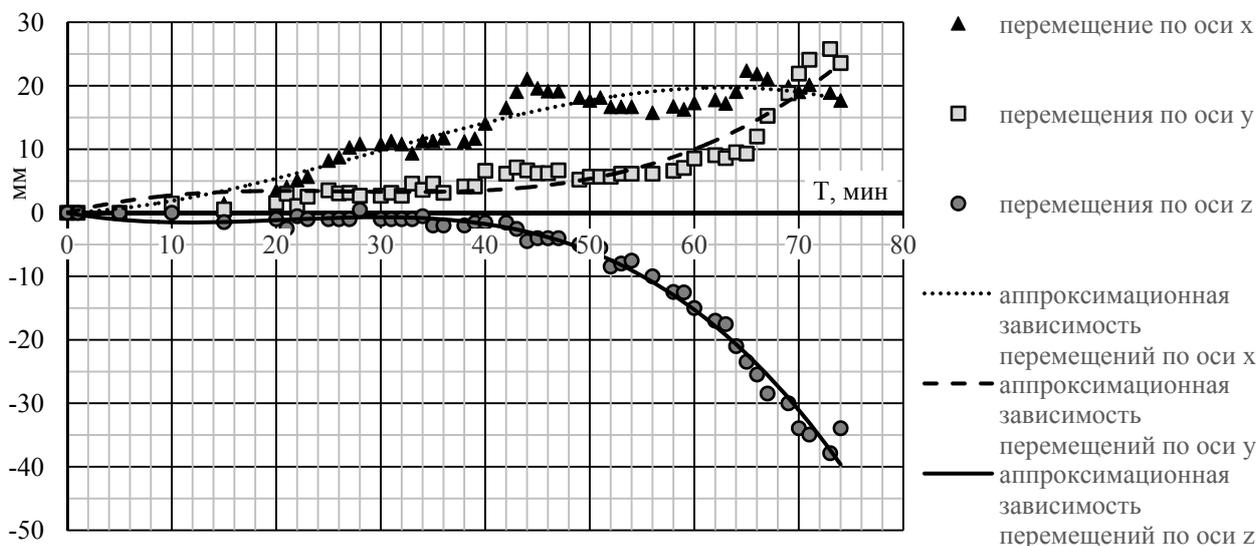


Рисунок 16 – Перемещение контрольной точки колонны К6 на высоте +3.000

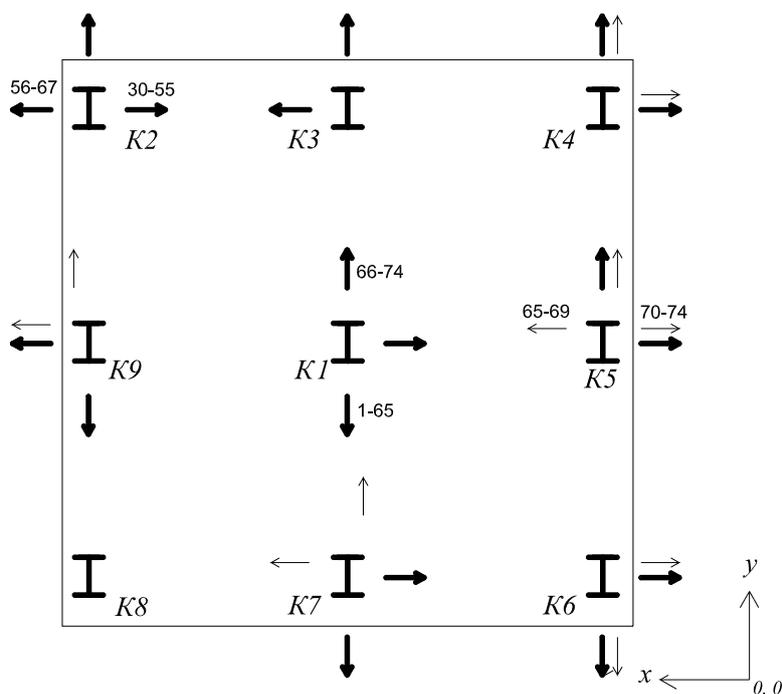


Рисунок 17 – Направления перемещения контрольных точек на конструкциях

Анализ результатов перемещений контрольных точек на стальных каркасных конструкциях (рисунки 11-16) показал, что они увеличиваются по мере нарастания температуры металлоконструкции. Все перемещения направлены по направлению наружу от экспериментального сооружения. Ячеистобетонные блоки, используемые в качестве ограждающих конструкций экспериментального сооружения располагались на расстоянии не менее 20 см от стальных каркасных конструкций, этого расстояния было достаточно для того, что бы они не оказывали механического воздействия на них. Таким образом, при рассмотренной конструктивной схеме перемещения металлоконструкций не оказывают влияния на целостность конструктивной огнезащиты стальных каркасных конструкций.

Разрушение экспериментального сооружения произошло на 75 минуте огневых испытаний. Первой потеряла свою огнестойкость конструкция К7 на 57 минуте огневых испытаний, однако прогрессирующего разрушение сооружения не произошло. По истечению 75 минуты огневых испытаний произошло одновременное разрушение конструкций К5 и К6, которые повлекли за собой обрушение конструкции К8. Таким образом, можно сделать вывод о том, что огнестойкость экспериментального сооружения составляет 75 минут.

Заключение. Разработана методика проведения экспериментальных исследований огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой. Спроектирован фрагмент здания, являющийся типовым представителем конструктивной схемы, использующей стальные каркасные конструкции с конструктивной огнезащитой при строительстве зданий и сооружений. Смоделирован температурный режим пожара в здании (помещении), основанный на значениях стандартной температурно-временной зависимости. Разработана схема расстановки термоэлектрических преобразователей для измерения температуры на наиболее ответственных участках. Разработана схема расстановки геодезических марок и станций стояния для определения перемещений контрольных точек колонн на наиболее ответственных участках.

В ходе проведения огневых испытаний по определению огнестойкости экспериментального сооружения установлены следующие результаты:

Зависимость изменения температуры сечения испытываемых стальных каркасных конструкций с различной толщиной конструктивной огнезащитой при двух-, трех- и четырехстороннем огневом воздействии от времени.

Ускорение прогрева сечения всех стальных каркасных конструкций с конструктивной

огнезащитой (за исключением К1 и К2) по сравнению с испытаниями по определению огнезащитной эффективности материала огнезащиты.

Ускорение прогрева стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой связано с деформациями и разрушением ограждающих конструкций, к которым примыкает конструктивная огнезащита колонн, расположенных по периметру экспериментального сооружения.

Перемещения металлоконструкций в рассмотренной конструктивной схеме не оказывают влияния на целостность конструктивной огнезащиты стальных каркасных конструкций.

Существующие методики определения температурного прогрева стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой до критических температур, не учитывают возможность ускорения прогрева рассчитываемых конструкций из-за возможного разрушения ограждающих конструкций к которым примыкает конструктивная огнезащита. В результате чего, необходима разработка методики расчета предела огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой учитывающая ускорение прогрева сечения конструкции до критической температуры от возможного разрушения ограждающих конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-2.02-142-2011 Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. ТР 2009/013/ВУ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. СТБ 1961-2009 Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – Москва: Стройиздат, 1988. – 143 с.
5. ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010 – Введ. 24.09.2010. – Минск: Госстандарт, 2010. – 21 с.
7. Государственный союз ССР. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8239. – Введ. 01.07.1990. – М: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.
8. Голованов, В.И. Прогнозирование огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой: дис. д-ра тех. наук: 05.26.03 / В.И. Голованов. – М., 2008. – 337 л.
9. ТКП 45-2.02-110-2008 Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
10. ТКП 45-2.02-110-2008 Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
11. ТКП EN 1993-1-2-2009 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Огнестойкость строительных конструкций. Сборник трудов. Выпуск 8. под редакцией Яковлев А.И., Бушев В.П. – М.: Стройиздат, 1980. – 116 с.

12. Межгосударственный стандарт. Швелеры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8240. – Введ. 01.01.2002 – Минск: ИПК издательство стандартов, 1997. – 10 с.
13. Межгосударственный стандарт. Уголки стальные горячекатаные равнополочные: ГОСТ 8509. – Введ. 01.01.1997 – Минск: ИПК издательство стандартов, 1997. – 12 с.
14. Термостойкие обшивки строительных конструкций: ТУ ВУ 101208195.002. – Введ. 24.05.2013 – Минск: –2013.
15. Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Введ. 01.10.1998. – Минск: Минсктиппроект, 1998. – 12 с.
16. ГОСТ 8-207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. – Введ 01.01.77. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
17. Полевода И.И., Иваницкий А.Г., Жамойдик С.М. Моделирование огнестойкости стальных элементов с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, А.Г. Иваницкий, С.М. Жамойдик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2010. – № 2. – С. 39–46.