

На правах рукописи

**Дудунов Андрей Владимирович**

**ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТЬ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО  
ЗАПОЛНЕНИЯ ОКОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(технические науки, отрасль – строительство)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2010

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Академия ГПС МЧС России).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Казиев Махач Магомедович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Еремина Татьяна Юрьевна

кандидат химических наук, с.н.с  
Ковыршина Наталья Васильевна

Ведущая организация: Московский Государственный  
Строительный Университет

Защита состоится 7 декабря 2010 года в 14 ч. 00 мин на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 при Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, д. 4, зал совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России.

Автореферат разослан 3 ноября 2010 г., исх. № 60–6–7

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

Телефон для справок: 8 (495) 683–19–05

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н, доцент

С.А. Швырков

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Способность светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций (далее СЗОК) в течение определенного времени сопротивляться растрескиванию и обрушению при воздействии пожара, во многом определяет динамику развития пожара. При вскрытии СЗОК в помещении происходит резкий приток воздуха в зону горения и, как правило, происходит объемное воспламенение («объемная вспышка»), при которой пожар охватывает всё помещение и происходит быстрое выгорание пожарной нагрузки с выделением большого количества тепла, дыма и токсичных продуктов горения. Для прогнозирования динамики развития пожара в здании необходимо учитывать многие факторы, обращая особое внимание на время от начала пожара до растрескивания и обрушения СЗОК.

Для проектируемых в России высотных зданий проблема разрушения СЗОК из-за сильных ветровых нагрузок и сложности доступа пожарных подразделений обладает особой актуальностью. Согласно положений приказа Министерства регионального развития № 36 от 1 апреля 2008 г. и ч. 2 ст. 78 Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее Технический регламент), специальные технические условия (далее СТУ) необходимо разрабатывать на объекты, для которых отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности. Положения СТУ, разрабатываемых для высотных зданий (общественного назначения – более 50 м, жилые – более 75 м), должны содержать требования пожарной безопасности к оконным строительным конструкциям, в том числе к их СЗОК. Эти требования необходимо предъявлять на основании расчетных данных о времени эвакуации людей в безопасную зону, прогнозирования динамики развития пожара, времени прибытия пожарных подразделений и начала оперативно-тактических действий пожарными. Именно поэтому необходимо знать точное время от начала пожара до разрушения СЗОК, для того чтобы на основании полученных данных

можно было предъявлять требования с точки зрения обеспечения безопасности людей и предотвращения распространения пожара.

Вышеперечисленное обуславливает актуальность изучения поведения СЗОК при воздействии пожара и разработки метода определения его сопротивления воздействию пожара.

**Объект исследования** – светопрозрачное заполнение оконных строительных конструкций.

**Предмет исследования** – сопротивление светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций воздействию пожара.

**Цель работы:** исследовать поведение СЗОК при воздействии пожара и предложить метод определения его способности сопротивляться воздействию пожара.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить задачи:

1. Исследовать особенности прогрева СЗОК при воздействии пожара и определить время до наступления предельных состояний.
2. Определить влияние толщины и площади СЗОК на его способность сопротивляться воздействию пожара.
3. Провести анализ и обобщить полученные данные на основе понятий «критическая разность температур» прогрева и «пожароустойчивость».
4. Разработать метод определения фактической пожароустойчивости СЗОК на основе экспериментальных исследований.
5. Разработать пример определения фактической пожароустойчивости СЗОК.

**Научная новизна работы** заключается в том, что впервые установлены закономерности прогрева СЗОК при воздействии пожара; исследована и определена степень влияния геометрических размеров на критическую разность температур между открытой и закрытой рамой частью СЗОК (далее  $\Delta T_{кр}$ ); введено понятие «пожароустойчивость», определяющее время от начала пожара до потери ограждающих функций в результате разрушения СЗОК; разработан метод определения сопротивления СЗОК воздействию пожара, на основе данного понятия.

**Практическая ценность работы.** Разработанный метод определения фактической пожароустойчивости СЗОК позволяет установить уровень сопротивления светопрозрачного заполнения, прогнозировать время растрескивания и выпадения его фрагментов при воздействии пожара. Разработанный метод может быть использован при определении времени разрушения СЗОК для моделирования динамики развития пожара на начальной стадии при разработке объемно-планировочных решений зданий и сооружений. Также разработанный метод дает возможность определять необходимость применения СЗОК с повышенной пожароустойчивостью при разработке требований пожарной безопасности в СТУ на проектирование противопожарной защиты определенных объектов.

**Практическое внедрение результатов работы:**

1. Результаты по определению времени разрушения СЗОК использовались для моделирования динамики развития пожара при проектировании «Капитального ремонта здания ММА им. Сеченова» по адресу: г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 10.

2. Результаты по определению времени разрушения СЗОК использовались для моделирования динамики развития пожара при проектировании «Первой очереди строительства жилых домов группы «Б» микрорайона Силикат» г. Котельники Московской области.

3. Результаты по определению времени разрушения СЗОК использовались для моделирования динамики развития пожара при проектировании «Реконструкции здания ТД «Мебель-Град» с устройством надстройки, встроенной части и пристраиваемого выставочного центра» по адресу: г. Москва, ул. Генерала Белова, вл. 35.

4. Результаты по определению времени разрушения СЗОК использовались для моделирования динамики развития пожара при реконструкции существующих зданий и сооружений на территории ОАО «Молочный комбинат «Ступинский» под деловой центр в г. Ступино Московской области.

5. Результаты по определению времени разрушения СЗОК использовались для моделирования динамики развития пожара при проектировании объемно-планировочных решений индивидуального 17-19-22-25 этажного, жилого дома (корп. №31), расположенного по адресу: Московская область, г. Красногорск, мкр. «Южный».

6. Полученные экспериментальные данные по динамике прогресса СЗОК, использовались для определения фактического времени разрушения фасадных конструкций при пожаре. Полученные результаты были учтены при выборе фасадной системы, соответствующей требованиям норм пожарной безопасности, для строительства административно-торгового комплекса «Миракс-Плаза», расположенного по адресу: г. Москва, р-н Дорогомилово, Кутузовский пр-т (пересечение с ул. Кульнева).

7. Результаты экспериментальных исследований по определению фактического времени разрушения СЗОК использовались при выборе фасадной системы с требуемой степенью огнестойкости для строительства многофункционального комплекса, расположенного по адресу: г. Москва, Краснопресненская набережная, комплекс ММДЦ «Москва-Сити», участок № 14.

8. Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе Академии ГПС МЧС России при подготовке фондовой лекции по дисциплине «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» на тему: «Поведение каменных (минеральных) материалов в условиях пожара».

#### **Апробация работы:**

Результаты данной работы докладывались на: международном форуме стекла (М., 2007 г.); XVI международной научно-технической конференции научно-педагогического состава и обучающихся Академии «Предупреждение. Спасение. Помощь» (современность и инновации), Академия гражданской защиты МЧС России (Химки, 2008 г.); международной научно-технической конференции «Системы безопасности 2008» (М., 2008 г.); научно-технической конференции посвященной 75-летию Академии ГПС МЧС России (М., 2008 г.);

заседаниях кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России (2007 – 2010 гг.).

**Публикации.** Основные результаты исследования опубликованы в пяти научных статьях и двух сборниках научных конференций.

**Достоверность и обоснованность** изложенных в диссертации положений и выводов подтверждается: значительным объемом лабораторных и крупномасштабных экспериментов, использованием современных и апробированных методов численного расчета по разработанному методу, анализом действующих нормативных документов.

**На защиту выносятся:**

1. Выявленные закономерности прогрева СЗОК и влияние геометрических размеров на  $\Delta T_{кр}$ .
2. Критерии разрушения СЗОК при воздействии пожара.
3. Алгоритм и метод определения фактической пожароустойчивости СЗОК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и одного приложения. Содержание работы изложено на 120 страницах текста, иллюстрированного 43 рисунками, имеет 20 таблиц и 102 наименований литературы.

### **Содержание работы**

**Во введении** обосновывается выбор темы, ее актуальность, определяются цель и задачи, объект и предмет исследования, раскрывается научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, формируются основные положения, выносимые на защиту, содержится информация об апробации результатов исследования.

**В первой главе** «Обзор состояния вопроса, цель и задачи исследования» проведен анализ области применения стекла на российском строительном рынке. Листовое стекло широко применяется при строительстве зданий и сооружений. Применение для заполнения оконных конструкций превышает 50 % от общего объема потребления. В настоящее время в России оконное стекло производится

на 5 заводах, при этом в Москве и Московской области в более чем 80 % случаев применяется стекло предприятия нижегородской области ОАО «Борский стекольный завод» (далее Борское стекло).

Анализ нормативных документов по пожарной безопасности показал, что к СЗОК не предъявляются требования пожарной безопасности за исключением случаев, когда при размещении противопожарных стен в местах примыкания одной части здания к другой под углом расстояние по горизонтали между ближайшими гранями проемов менее 4 м. Отсутствие требований к СЗОК приводит к тому, что оконные конструкции разрушаются на ранней стадии пожара, что создает благоприятные условия развития пожара в помещении очага и его распространения по зданию. Установлено, что целью разработки требований к СЗОК должно являться предотвращение преждевременного его разрушения и наступления общей вспышки в помещении очага пожара, что позволит существенно снизить динамику развития пожара и повысить безопасность людей в здании. Из положений ГОСТ Р 53308 – 2009 «Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнения проемов. Метод испытаний на огнестойкость» следует, что предел огнестойкости по потере целостности может наступить до выпадения фрагментов СЗОК (например, при появлении щелей, неплотностей). При этом сама конструкция в целом еще будет препятствовать проникновению воздуха в зону горения, поэтому потеря целостности не в полной мере обуславливает опасность разрушения СЗОК при пожаре. Исходя из этого, необходимо ввести понятие «пожароустойчивость», которая может определяться временем от начала пожара до момента обрушения, т. е. выпадения фрагментов, при котором СЗОК перестает быть преградой поступления нужного воздуха в зону пожара.

Проведен анализ работ, связанных с исследованием разрушения СЗОК при воздействии пожара. В настоящее время существует два подхода к определению критерия разрушения листа СЗОК при воздействии пожара: первый был предложен исследователями Святкиным Г.К., Лицкевичем В.В. и Хасановым И.Р. – неравномерность прогрева по толщине стекла (разность температур на

обогреваемой и необогреваемой сторонах); второй был предложен исследователями Кузилло Б.Р., Пагни П.Дж., Джоши А.А., Скелли М.Дж, Кески О. и др. – неравномерность прогрева стекла по площади (разность температур между открытой и закрытой рамой частью).

В работе Святкина Г.К. изложен механизм растрескивания стекла и представлена расчетная модель разрушения остекления, основанная на теории Мора. В соответствии с теорией прочности Мора, в работе принято, что предельное состояние разрушения листа стекла вызывается критическим уровнем температурных напряжений, возникающих из-за неравномерности распределения температуры по сечению.

По мнению авторов Лицкевича В.В., Хасанова И.Р. в расчетах разрушения СЗОК необходимо рассматривать случай неравномерности прогрева стекла по толщине.

В работах Кески О., Джоши А.А., Пагни П.Дж. и др. показано, что причиной разрушения СЗОК при воздействии пожара является механическое напряжение, которое возникает вследствие неравномерности его прогрева по площади, т. е. разность температур между открытой и закрытой рамой частью СЗОК достигает критических значений. В качестве исходного положения было принято, что у стекла низкая теплопроводность и при воздействии пожара открытая часть СЗОК нагревается, а температура закрытой рамой части остается почти неизменной. Поэтому та площадь СЗОК, которая закрыта рамой, испытывает напряжение, за счет неравномерности прогрева по площади листа, что, в свою очередь, вызывает разрушение, так как стекло является хрупким материалом, и сила сопротивления разрушению имеет наименьшую величину в более холодной части у краев СЗОК.

При анализе научных трудов исследователей Святкина Г.К., Лицкевича В.В. и Хасанова И.Р. становится ясным то факт, что в данных работах не рассматривалось экранирование прогрева краев СЗОК заземленных рамой оконной конструкции, хотя этот фактор значительно влияет на напряжения, возникающие вследствие разницы температур между открытой и закрытой

рамой частью СЗОК.

При рассмотрении и анализе метода прогнозирования разрушения СЗОК, разработанных за рубежом исследователями А.А. Джоши и П.Дж. Пагни, Б.Р. Куззилло, О. Кески и др., выявлено: метод основан на определении  $\Delta T_{кр}$ , которая зависит от прочности стекла; технология изготовления стекла, для которого разработаны методы, отличается от технологии изготовления стекла в России, что значительно влияет на характеристики стекла, а соответственно, и на сопротивление СЗОК воздействию пожара. Следует отметить, что предложенный метод не учитывает геометрические размеры СЗОК (площадь и толщину).

Для оценки наработок по прогнозированию разрушения остекления при воздействии пожара были рассмотрены работы и в смежных со строительством областях. Это работы авторов: Исхакова Х.И., Озерова Н.А., Федотова М.Н., Сомова В.Н., Гнускина А.М., Томина С.В., Пилюгина Л.П., Литвина Н.А., Резника С.В. и др. Работы посвящены исследованию теплоустойчивости и пожарной опасности остекления автомобиля, разрушению иллюминаторов судов при воздействии пожара, разрушению остекления при воздействии температуры взрыва газовоздушных смесей на остекление и др.

Механические и теплофизические свойства СЗОК изменяются в зависимости от его температуры, геометрических размеров, и отсутствие этих данных не позволяет проводить достоверный расчет  $\Delta T_{кр}$ , используя известные теоретические данные.

Проведенный анализ литературы показал, что необходимо проведение комплекса экспериментальных исследований поведения СЗОК при воздействии пожара, на основе которых необходимо разработать метод определения способности СЗОК сопротивляться воздействию пожара в зависимости от его геометрических размеров (площади и толщины); исследовать влияние защемления рамой краев СЗОК на его способность сопротивляться воздействию пожара.

Анализ литературы позволил сформулировать цель и задачи исследования.

**Во второй главе** «Методы и средства исследования» приведено обоснование методики огневых испытаний СЗОК. Для проведения экспериментальных исследований было выбрано Борское стекло, как наиболее широко используемое в качестве СЗОК на территории Российской Федерации.

При огневых испытаниях в качестве критерия растрескивания СЗОК принималось достижение критической разности температур между открытой и закрытой рамой частями ( $\Delta T_{кр}$ ), как это установлено в работах исследователей Куззилло Б.Р., Пагни П.Дж., Джоши А.А., Кески О. и др. В соответствии с этим, в процессе испытаний фиксировалась температура на обогреваемой и не обогреваемой сторонах открытой и закрытой рамой частях каждого из слоев СЗОК путем расстановки термопар. Данная установка термопар позволяла фиксировать разницу температур между открытой и закрытой рамой частями в момент растрескивания.

Представлено описание экспериментальных установок и образцов для исследования. Экспериментальные исследования проводились на двух типах огневых установок:

1. Маломасштабная установка, позволяющая исследовать образцы размером 270×370 мм различных толщин (лаборатория кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России).

2. Крупномасштабная аккредитованная экспериментальная установка, позволяющая исследовать оконные строительные конструкции реальных размеров (испытательная лаборатория в р.п. Ардатов Нижегородской области).

Первый этап экспериментальных исследований включал в себя серии опытов на маломасштабной установке с целью:

1. Исследования особенностей прогрева СЗОК и фиксирование момента времени, при котором происходит растрескивание образца.

2. Исследования влияния толщины СЗОК на  $\Delta T_{кр}$  при воздействии пожара.

Второй этап экспериментальных исследований на крупномасштабной установке проводился с целью:

1. Исследования особенностей прогрева СЗОК и фиксирование момента времени, при котором происходит растрескивание образца и выпадение его фрагментов после растрескивания.

2. Исследования влияния площади СЗОК на  $\Delta T_{кр}$  при воздействии пожара.

Режим пожара на установках принимался по ГОСТ 30247.0 – 94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования». Для возможности сравнения результатов испытаний проведено обоснование необходимого количества экспериментов в каждой серии для получения зависимости  $\Delta T_{кр}$  от геометрических размеров СЗОК. В результате выявлено, что количество испытываемых образцов одной толщины или площади должно быть не менее 9 при доверительной вероятности ( $P$ ), равной 0,95.

Объектами исследования являлись: на маломасштабной установке – СЗОК толщиной 4, 5 и 6 мм размером 270×370 мм, установленные в деревянную раму, выбранные условия закрепления имитируют реальное закрепление СЗОК; на крупномасштабной установке – оконные строительные конструкции, состоящие из трех слоев СЗОК размерами (мм) 1010×1580, 580×1610, 620×1500, 600×1550, 1200×1750, 1300×1600, 1150×1400, 1350×1550, 1000×1600 и толщиной 4 мм.

Для определения достоверности принятого критерия растрескивания СЗОК были проведены дополнительные испытания на маломасштабной установке образцов без рамки, для того чтобы исключить ее влияние на растрескивание образца. Задачей исследования образцов без закрепления их в раме является определение времени их растрескивания, для последующего сравнения результатов с аналогичными образцами, но установленными в раме.

**Третья глава** «Экспериментальные исследования факторов влияющих на разрушение светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций» посвящена изучению особенностей прогрева СЗОК, полученных при прогреве по заданному режиму.

По результатам исследований образцов без рамы определено время растрескивания каждого из образцов. Время растрескивания каждого из образцов

и сравнение значения времени растрескивания образцов с рамкой и без нее приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения времени растрескивания образцов с рамой и без рамы**

Номер образца	Время растрескивания образца без рамы толщиной 4 мм, с	Время растрескивания образца без рамы толщиной 5 мм, с	Среднее время растрескивания образца установленного в раму толщиной 4 мм, с	Среднее время растрескивания образца установленного в раму толщиной 5 мм, с
1	162	340	60	102
2	153	328		
3	148	321		

При обработке экспериментальных данных установлено, что время растрескивания образцов без рамы больше, чем образцов установленных в раму: для 4 мм – более чем в 2 раза, для 5 мм – более чем в 3 раза.

На основании полученных результатов видно, что напряжения определяющие растрескивание возникают вследствие неравномерности прогрева СЗОК по площади, т. е. между открытой и закрытой рамой частями. Это означает, что принятый в работе критерий разрушения СЗОК соответствует разрушению СЗОК с защищенными рамой краями.

По результатам экспериментальных исследований на крупномасштабной установке были установлены значения температуры между открытой и закрытой рамой частью СЗОК и построены графики (рис. 1). В результате 9-ти крупномасштабных испытаний СЗОК были установлены значения  $\Delta T_{кр}$  для различных его размеров: для 1010×1580 мм от 51 до 56 °С, для 580×1610 мм от 63 до 67 °С, для 620×1500 мм от 65 до 70 °С, для 600×1550 мм от 71 до 77 °С, для 1200×1750 мм от 45 до 50 °С, для 1300×1600 мм от 47 до 53 °С, для 1150×1400 мм от 54 до 60 °С, для 1350×1550 от 50 до 56 °С, для 1000×1600 мм от 50 до 55 °С.

При проведении эксперимента измерялись температуры прогрева СЗОК, фиксировалось время растрескивания СЗОК ( $\tau_{раст}$ ) и выпадения фрагментов

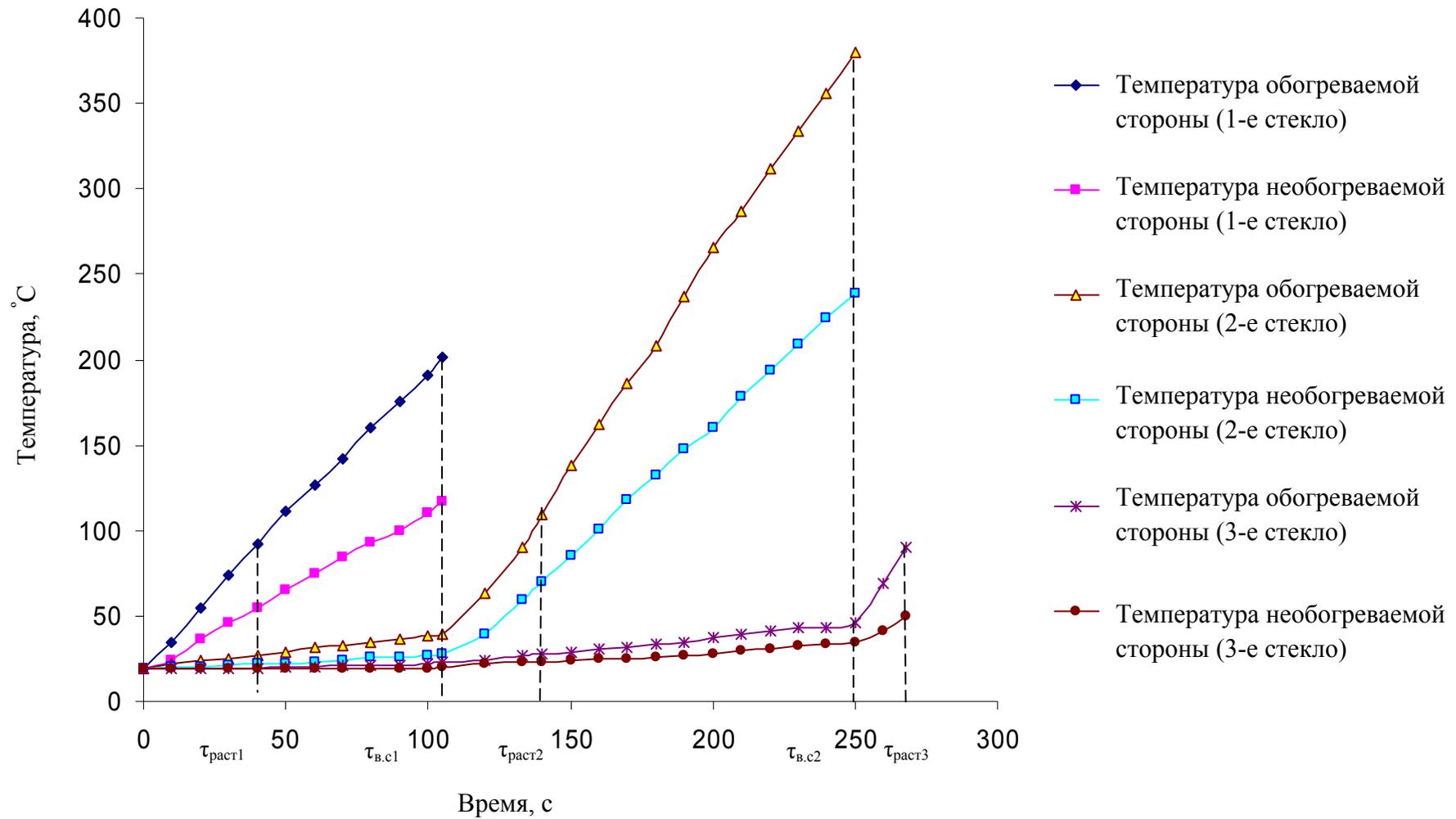


Рис. 1. Изменение средней температуры открытой и закрытой части СЗОК размером 1000×1600 мм при огневых испытаниях\*

\*Примечание:  $\tau_{расгi}$  – время растрескивания  $i$ -го слоя СЗОК от огневой камеры;  $\tau_{в.сi}$  – время выпадения  $i$ -го слоя от огневой камеры.

из плоскости после его растрескивания ( $\tau_{в.с}$ ). Время растрескивания и время выпадения фрагментов СЗОК приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения времени растрескивания и выпадения СЗОК после растрескивания**

Размеры СЗОК, мм	Время растрескивания / выпадения СЗОК от начала испытания, с		
	Номер слоя СЗОК от огневой камеры		
	1	2	3
600×1550	45/150	173/285	305/387
580×1610	50/120	152/250	273/394
620×1500	48/160	190/325	341/490
1010×1580	41/110	135/240	257/359
1000×1600	40/105	133/250	268/362
1150×1400	39/130	154/242	257/348
1200×1750	35/100	120/200	217/291
1350×1550	36/140	163/245	261/388
1300×1600	38/128	153/234	253/342

Исследования на маломасштабной установке позволили установить следующее:

1. Значение  $\Delta T_{кр}$  увеличивается при увеличении толщины.
2. Значения  $\Delta T_{кр}$  для СЗОК одинакового размера имеют разброс в пределах 10 °С. Следовательно, для расчетов  $\Delta T_{кр}$  при одинаковой толщине СЗОК, изготовленного на одном заводе, может приниматься усредненной.

В результате испытаний на крупномасштабной установке установлено:

1. Значение  $\Delta T_{кр}$  уменьшается при увеличении площади СЗОК.
2. Значения  $\Delta T_{кр}$  для СЗОК одинаковой площади имеют разброс в пределах 14 °С. Следовательно, для расчетов  $\Delta T_{кр}$  для СЗОК одинаковой площади, изготовленных на одном заводе, может приниматься усредненной.

3. Время выпадения СЗОК после его растрескивания имеет границы от 65 до 149 с. Минимальное значение  $\tau_{в.с}$  в проведенных экспериментальных исследованиях составляет около 60 с, значит для определения фактической пожароустойчивости СЗОК значение  $\tau_{в.с}$  можно принимать 60 с.

В результате полученных экспериментальных данных для определения  $\Delta T_{кр}$  в зависимости от толщины и площади установлено минимальное значение  $\Delta T_{кр}$ , равное  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для возможности прогнозирования момента разрушения СЗОК при воздействии пожара на основании полученных экспериментальным путем значений  $\Delta T_{кр}$  с различными геометрическими размерами (площадью и толщиной), необходимо определить дополнительные поправочные коэффициенты (1), которые будут учитывать геометрические размеры СЗОК:

$$\Delta T_{кр} = K_1 K_2 \cdot 60, \quad (1)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий изменение зависимости  $\Delta T_{кр}$  при воздействии пожара от толщины СЗОК;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий изменение зависимости  $\Delta T_{кр}$  при воздействии пожара от площади СЗОК.

В соответствии с полученными значениями, построены графики функций зависимости коэффициента  $K_1$  и  $K_2$  от толщины и площади СЗОК  $K_1 = f(\delta)$  и  $K_2 = f(S)$  (рис. 2 и 3).

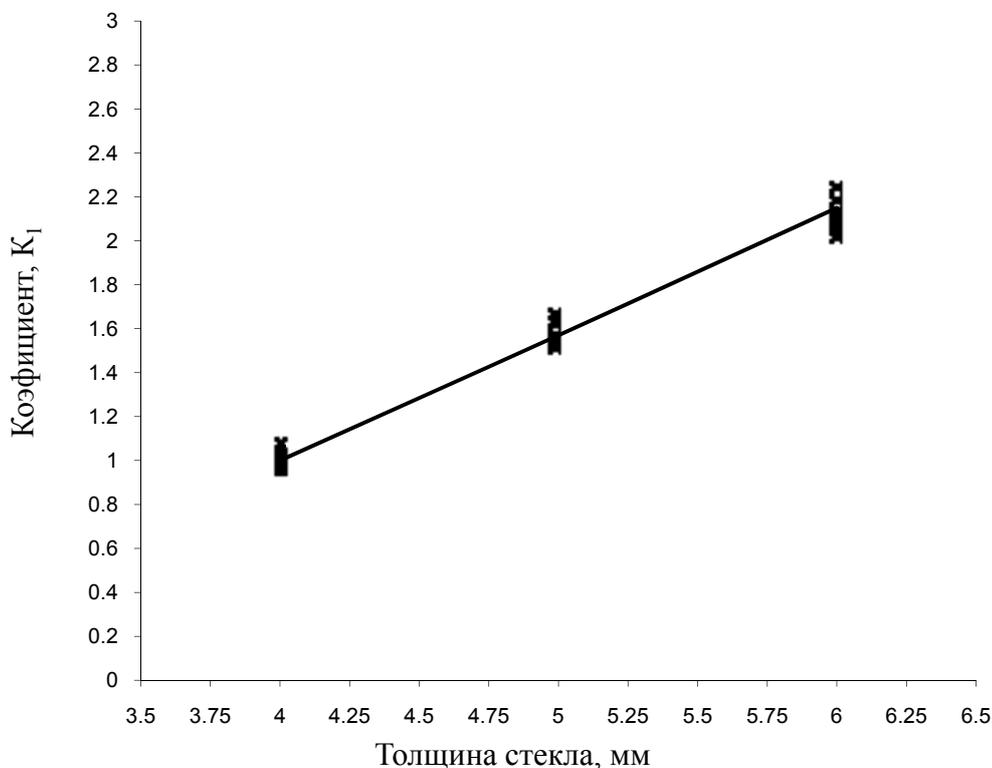


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $K_1$  от толщины СЗОК

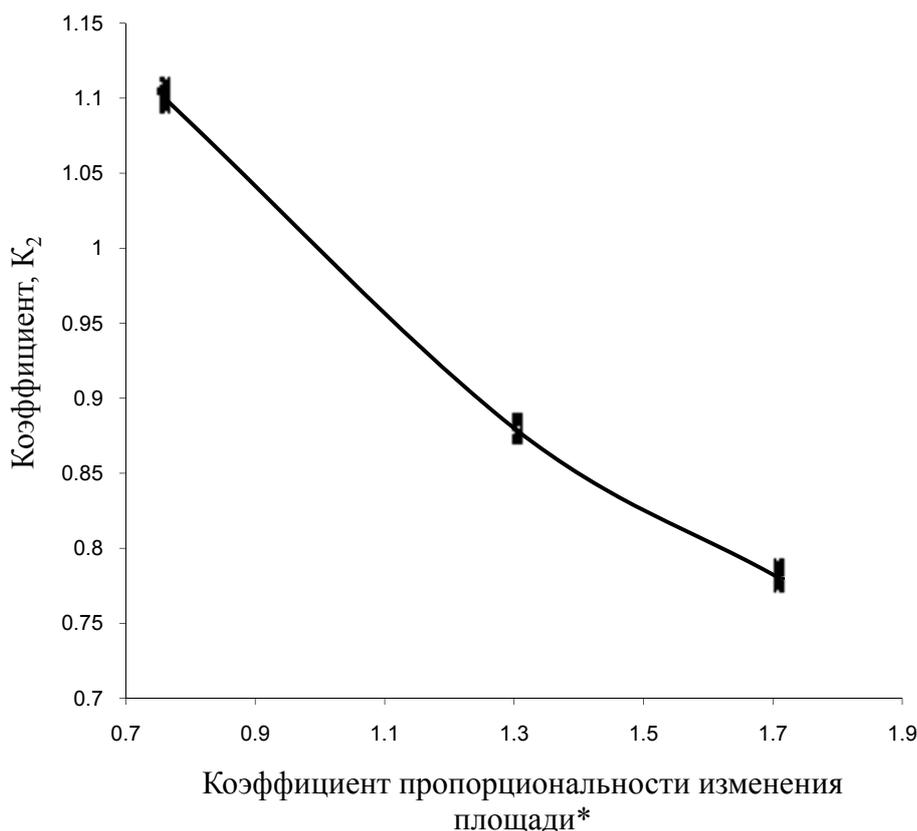


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $K_2$  от коэффициента пропорциональности изменения площади СЗОК\*

\*Примечание: изменение площади проводится относительно СЗОК с площадью  $1,23 \text{ м}^2$ . Данное значение площади соответствует  $\Delta T_{кр}$  равной  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для представления построенных графиков зависимости коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  от толщины и площади СЗОК при воздействии пожара в математическом выражении используется полиномиальная аппроксимация по методу наименьших квадратов. Полученные выражения имеют следующий вид:

$$K_1 = 0,215 \cdot x^2 - 1,365 \cdot x + 3,02, \quad (2)$$

где  $x$  – толщина СЗОК, мм.

$$K_2 = 0,1721 \cdot x^2 - 0,762 \cdot x + 1,5797, \quad (3)$$

где  $x$  – увеличение площади СЗОК относительно принятой в работе площади  $1,23 \text{ м}^2$ .

Математическое выражение (2) справедливо для диапазона толщины СЗОК от 4 до 6 мм. Математическое выражение (3) справедливо для диапазона площади СЗОК от  $0,93$  до  $2,1 \text{ м}^2$ .

Проверено влияние удлинения листа СЗОК при воздействии пожара, на время его растрескивания: если лист будет упираться в раму, то возникают дополнительные напряжения, которые могут привести к его растрескиванию. На основании расчета установлено, что удлинение листа СЗОК менее зазора, который предусматривается в строительной практике между рамой и СЗОК и, соответственно, дополнительных напряжений, связанных с удлинением листа, не возникает.

Полученные данные позволяют определять  $\Delta T_{кр}$ , а также прогнозировать время выпадения фрагментов СЗОК.

По результатам экспериментальных исследований на маломасштабной и крупномасштабной установках определен коэффициент корреляции значений  $\Delta T_{кр}$ . При испытании на маломасштабной установке среднее значение  $\Delta T_{кр}$  составило  $60^\circ\text{C}$ , на крупномасштабной установке максимальное значение  $\Delta T_{кр}$  составило  $77^\circ\text{C}$ , следовательно, максимальная разница температуры составляет  $17^\circ\text{C}$ . Отсюда, принимая за «истинное» значение результаты испытаний на крупномасштабной установке, получаем коэффициент корреляции 0,78 для полученных  $\Delta T_{кр}$  на маломасштабной установке.

**Четвертая глава** «Метод определения фактической пожароустойчивости светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций» посвящена определению исходных положений понятия о «фактической пожароустойчивости» СЗОК (далее  $P_{y(\phi)}$ ), разработке алгоритма и метода определения  $P_{y(\phi)}$ , а также приведен пример расчета  $P_{y(\phi)}$  реальной оконной строительной конструкции при воздействии пожара.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что пожароустойчивость СЗОК должна учитывать время от начала огневого воздействия до начала растрескивания и затем время выпадения его фрагментов.

На основании вышеизложенного  $P_{y(\phi)}$  складывается из следующих элементов:

$$P_{y(\phi)} = \sum_{i=1}^n (\tau_{растр i} + \tau_{в.с i}), \quad (4)$$

где  $P_{y(\phi)}$  – фактическая пожароустойчивость СЗОК, определяется временем от начала пожара до момента выпадения фрагментов СЗОК;

$\tau_{\text{раст}}$  – время от начала огневого воздействия до растрескивания СЗОК;

$\tau_{\text{в.с}}$  – время от начала растрескивания СЗОК до выпадения его фрагментов;

$i$  – номер слоя СЗОК;

$n$  – количество слоев СЗОК.

В выражении (4)  $\tau_{\text{в.с}}$  зависит от многих факторов, различных по своей природе: площади СЗОК, толщины, качества самого СЗОК, условий его закрепления и др. Значительную роль играют также внешние факторы: ветровая нагрузка, разница температур внутри и снаружи помещения, попадания влаги на нагретую поверхность, динамические воздействия и др. Становится ясно, что точно спрогнозировать момент выпадения СЗОК достаточно сложно, поэтому значение  $\tau_{\text{в.с}}$  определено по результатам экспериментальных исследований, как итог была принята усредненная величина времени от начала растрескивания до начала обрушения, т. е. начала выпадения фрагментов СЗОК, которая составляет 60 с.

Разработан метод определения фактической пожароустойчивости СЗОК, который базируется на законах теплопроводности и строительной механики.

Разработаны этапы определения  $P_{y(\phi)}$ :

1. Первый этап – необходимо определить динамику теплового потока, падающего на поверхность СЗОК, заданных размеров, в помещении, в любой момент времени на различной высоте.

2. Второй этап – необходимо определить  $\tau_{\text{раст}}$ . Выбор исходных данных для определения  $\tau_{\text{раст}}$  необходимо осуществлять для двух частей расчета:

– первая (теплотехническая): для этого задаются справочные теплофизические характеристики, необходимые для определения температуры СЗОК в любой момент времени огневого воздействия. Поскольку рама оконной строительной конструкции экранирует прохождение теплового потока

к защищенной части СЗОК, как допущение, для расчетов принимается средняя температура части СЗОК, закрытого рамой, равная начальной температуре;

– вторая (статическая) – определяется  $\Delta T_{кр}$ , где коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  определяются по зависимостям (2) и (3), установленным экспериментальным путем.

3. Третий этап – необходимо рассчитать прогрев СЗОК и определить время до наступления  $\Delta T_{кр}$ , которая соответствует  $\tau_{раст}$ .

4. Четвертый этап – к полученному значению  $\tau_{раст}$  прибавляется значение  $\tau_{в.с}$ , установленное экспериментальным путем и равное 60 с.

По данному методу был разработан пример определения  $P_{у(ф)}$  СЗОК, для которого было использовано СЗОК площадью  $1,5 \text{ м}^2$ , толщиной 4 мм, расположенное в помещении жилого здания площадью  $19 \text{ м}^2$ , высотой помещения – 2,5 м и объемом –  $47,5 \text{ м}^3$ .

Для расчета прогрева СЗОК при воздействии пожара использован численный метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в программах SolidWorks+Cosmos, позволяющие определять прогрев по толщине слоя СЗОК при заданном тепловом потоке. В результате расчетов фактическая пожароустойчивость СЗОК составила 5,3 мин.

## ВЫВОДЫ

1. Для СЗОК, выполненных из Борского стекла, установлены значения критической разности температур между его открытой и закрытой рамой частью светопрозрачного заполнения.

2. Установлено влияние площади и толщины СЗОК на величину критической разности температур, которая представлена в виде эмпирической зависимости, полученной экспериментальным путем:  $T_{кр} = K_1 K_2 \cdot 60$ ,

где  $K_1 = 0,215 \cdot x^2 - 1,365 \cdot x + 3,02$  – коэффициент учитывающий толщину СЗОК;

$K_2 = 0,1721 \cdot x^2 - 0,762 \cdot x + 1,5797$  – коэффициент учитывающий площадь СЗОК.

3. Установлено, что фактическая пожароустойчивость СЗОК складывается из времени растрескивания и выпадения каждого из слоев

оконной конструкции:  $P_{у(ф)} = \sum_{i=1}^n (\tau_{раст i} + \tau_{в.с i})$ ,

где  $\tau_{раст\ i}$  – время растрескивания каждого из слоев СЗОК, мин;

$\tau_{в. ci}$  – время выпадения каждого из слоев СЗОК, мин.

$i$  – номер слоя СЗОК;

$n$  – количество слоев СЗОК.

4. По результатам испытаний установлено время выпадения СЗОК из плоскости после растрескивания. Для определения фактической пожароустойчивости СЗОК время выпадения следует принимать 60 с.

5. Разработан базовый пример определения фактической пожароустойчивости СЗОК и даны практические рекомендации. Расчетное значение фактической пожароустойчивости СЗОК, состоящей из 3-х слоев Борского стекла площадью  $1,5 \text{ м}^2$  и толщиной 4 мм, расположенной в помещении жилого здания, при пожаре составило 5,3 мин.

6. Доминирующим фактором растрескивания СЗОК является критическая разница температур между открытой и закрытой рамой частью светопрозрачного заполнения.

7. Коэффициент корреляции для значений  $\Delta T_{кр}$ , полученных на маломасштабной установке, составляет 0,78.

8. Сформулированы основные положения понятия «пожароустойчивость» СЗОК.

9. Полученные в работе экспериментальные и теоретические данные могут быть использованы для исследования поведения СЗОК в различных климатических условиях и обоснования требований пожарной безопасности для высотных и уникальных зданий.

**Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

Статьи, опубликованные в журналах,

рекомендованных ВАК Минобразования науки России

1. Дудунов А.В. Пожароустойчивость светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций [Текст] / А.В. Дудунов // Жилищное строительство. – 2010. – №3. – С. 28–30.

2. Казиев М.М. Поведение остекления окон при пожаре [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Дудунов // Жилищное строительство. – 2009. – №3. – С. 37–39.

3. Казиев М.М. Разрушение остекление окон при тепловом воздействии [Электронный ресурс] / М.М. Казиев, А.В. Дудунов // Технологии техносферной безопасности. – М., 2008. – №2. – Режим доступа: [www URL: http://ipb.mos.ru/ttb/2008-2/2008-2.html](http://ipb.mos.ru/ttb/2008-2/2008-2.html) – 18.10.2010 г.

4. Казиев М.М. Огнестойкие светопрозрачные конструкции [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Дудунов // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 2. – С. 53–55.

#### Другие публикации

5. Казиев М.М. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Подгрушный, А.В. Дудунов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – №2. – С. 5–10.

6. Казиев М.М. Разрушение остекления окон при пожаре [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Дудунов. // Материалы XVII научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2008» Международного форума информатизации / Академия ГПС МЧС России. – М., 2008 г. – С. 241–244.

7. Казиев М.М. Огнестойкие оконные светопрозрачные конструкции и их противопожарное нормирование в строительстве [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Дудунов. // Материалы XVI международной научно-технической конференции научно-педагогического состава и обучающихся Академии «Предупреждение. Спасение. Помощь» (современность и инновации) / Академия гражданской защиты МЧС России. – Химки, 2008 г. – С. 149–154.

---

Подписано в печать 02.10.2010 г. Формат 60×90 1/16.  
Бумага офсетная Печ. л. 1,38. Уч.-изд. л. 1. Тираж 80 экз. Заказ № 458

---

Академия ГПС МЧС России.  
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, д. 4