

УДК 699.81

## Современные аспекты обеспечения огнестойкости строительных конструкций

*А.В. Калач<sup>1</sup>, д.х.н., профессор; Е.В. Калач<sup>1</sup>, к.т.н., доцент; Н.М. Лоран<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

### **Аннотация:**

В статье представлен анализ современного состояния обеспечения огнестойкости строительных конструкций. Отдельное внимание уделено направлениям совершенствования способов обеспечения огнестойкости строительных конструкций, зданий и сооружений. Показана особая значимость фактической огнестойкости ограждающих конструкций здания в обеспечении противопожарной защиты объекта.

**Ключевые слова:** безопасность, пожар, огнестойкость, строительные конструкции.

## Modern aspects of fire resistance of building structures

*A.V. Kalach<sup>1</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Chemical Sciences, Full Professor;  
E.V. Kalach<sup>1</sup>, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent; N.M. Loran<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Voronezh State Technical University*

*<sup>2</sup>Saint-Petersburg University of Firefighting Service of EMERCOM of Russia*

**Abstract:** The article presents an analysis of the modern state of fire resistance of building structures. Special attention is paid to the directions of improvement of methods of fire resistance of building structures, buildings and structures. The special value of the actual fire resistance of the building enclosing structures in providing fire protection of the object is shown.

**Keywords:** safety, fire, fire resistance, building constructions

Анализ и обобщение статистических данных по пожарам и их причинно-следственной связи с эффективностью используемых огнезащитных составов, свидетельствуют о необходимости применения различных составов с заданными свойствами в зданиях различного назначения. Ежегодно в среднем происходит более 50 тыс. пожаров в жилых домах с гибелью до 7000 чел.

При этом, прямой ущерб составляет до 3,5 млрд. руб. Пожары в производственных зданиях составляют порядка 3 тыс. случаев в год с гибелью людей до 100 чел. Прямой ущерб от таких пожаров составляет до 2 млрд. руб. Пожары в складских зданиях фиксируются до 1,5 тыс., при этом погибают до 50 чел., а прямой ущерб составляет до 3 млрд. руб. Пожары в зданиях предприятий торговли фиксируются до 3 тыс. случаев, с гибелью людей до 50 чел. Прямой ущерб при этом составляет 2-3 млрд. руб.. Пожары в административных зданиях наблюдаются до 1 тыс. случаев, с гибелью людей до 50 чел. и прямым ущербом до 0,5 млрд. руб. [1, 2].

На рис. 1 приведена динамика разрушения строений по результатам пожаров.



Рис. 1. Динамика разрушения строений в результате пожаров [1]

Следует понимать, что полные потери в результате пожаров могут многократно превышать показатели прямого ущерба.

Каждый год высотные здания (от 6 до 25 этажей) становятся жертвами пожаров, при которых погибает до 0,5 тыс. человек. В настоящее время порядка 70% застройки составляют здания I и II степени огнестойкости, в которых в среднем за год происходит до 20 тыс. пожаров, жертвами которых становятся более 1 тыс. человек [1, 5]. Следует отметить, что в других странах мира в среднем ежегодно фиксируются порядка 4 млн. пожаров [2].

Динамика распределения основных показателей обстановки с пожарами по видам объектов пожаров за период 2014-2018 гг. приведена на рис. 2.

Данная статистика может свидетельствовать о низкой эффективности действующих требований в сфере обеспечения пожарной безопасности и отсутствии учета специфики современных огнестойких малоэтажных жилых зданий. В рамках повышения эффективности деятельности МЧС России изменена система учета пожаров [6].

Таким образом, специфика веществ и материалов, используемых на объектах строительства, диктует особые требования к средствам обеспечения необходимого уровня их огнезащиты [3, 4]. Потери от разрушения зданий во время пожара составляют около 13–18% от общих потерь. [1, 5, 7-10]. В связи с этим, актуальным представляется изучение и оценка огнестойкости строительных конструкций, возможность их эксплуатации после пожара и решения проблем, направленных на снижение материальных потерь при возникновении пожара.

На рис. 3 представлены сведения о динамике гибели людей в зависимости от этажности здания.

Повышение уровня обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений представляет собой актуальное направление защиты населения и территорий, в целом, от угроз возникновения пожаров и чрезвычайных ситуаций.

Например, для общественных, промышленных и жилых зданий необходимы высокие показатели надежности: огнезащитная обработка с длительным сроком службы и неагрессивным воздействием на окружающие объекты или сооружения.

Аналогично, антипирены для строительных конструкций должны иметь высокую степень адгезии с учетом срока службы (из-за естественного износа) здания и высокой эффективности антипиренов.

На рис. 4 представлена классификация применяемых огнезащитных составов.

Объект пожара	Количество пожаров, ед. / % от общего количества пожаров Прямой материальный ущерб, тыс. руб. / % от общего ущерба Погибло, чел. / % от общего количества погибших									
	2014		2015		2016		2017		2018	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Здания производственного назначения	3099 1244516 113	2,05 6,82 1,11	2930 2868191 95	2,01 12,77 1,01	2693 1605689 122	1,93 11,97 1,39	2786 974317 59	2,10 7,08 0,75	2813 1343463 71	2,13 8,66 0,90
Складские здания, сооружения	1395 3833640 14	0,93 21,01 0,14	1306 5155743 15	0,89 22,95 0,16	1336 1385472 29	0,96 10,33 0,33	1427 2749853 25	1,07 19,97 0,32	1402 817317 20	1,06 5,27 0,25
Здания, сооружения и помещения предприятий торговли	3212 2371965 16	2,13 13,00 0,16	3037 2718646 32	2,08 12,10 0,34	2805 627424 5	2,01 4,68 0,06	2688 1784318 17	2,02 12,96 0,22	2632 3917681 11	2,00 25,25 0,14
Здания учебно-воспитательного назначения	228 56337 1	0,15 0,31 0,01	290 125222 2	0,20 0,56 0,02	217 35104 2	0,16 0,26 0,02	215 25513 0	0,16 0,19 0,00	276 64391 0	0,21 0,41 0,00
Здание здравоохранения и социального обслуживания населения	192 34741 9	0,13 0,19 0,09	171 29401 26	0,12 0,13 0,28	153 51037 2	0,11 0,38 0,02	164 51375 1	0,12 0,37 0,01	211 8923 1	0,16 0,06 0,01
Здания, помещения сервисного обслуживания населения	1090 275613 7	0,72 1,51 0,07	1037 252962 11	0,71 1,13 0,12	1160 288507 5	0,83 2,15 0,06	968 226177 7	0,73 1,64 0,09	988 250898 5	0,75 1,62 0,06
Административные здания	880 408119 20	0,58 2,24 0,20	910 352566 13	0,62 1,57 0,14	887 129338 18	0,64 0,96 0,21	740 130095 12	0,56 0,94 0,15	799 175100 15	0,61 1,13 0,19
Здания, сооруж. и помещ. для культурно-досуговой деят. населения и религ. обрядов	266 83035 1	0,18 0,46 0,01	262 95714 1	0,18 0,43 0,01	247 174416 1	0,18 1,30 0,01	233 76792 3	0,18 0,56 0,04	272 69175 61	0,21 0,45 0,77
Здания для временного пребывания (проживания) людей	211 53630 15	0,14 0,29 0,15	248 296616 17	0,17 1,32 0,18	236 164956 23	0,17 1,23 0,26	229 230977 20	0,17 1,68 0,26	277 209180 15	0,21 1,35 0,19
Здания жилого назначения и надворные постройки	103579 5214726 9339	68,68 28,58 92,12	100498 4939457 8515	68,66 21,99 90,54	96813 4892231 7982	69,41 36,46 91,23	93001 4864713 7211	70,01 35,34 92,26	93383 5237103 7278	70,83 33,75 92,03
в т.ч. жилой дом	57724 3323648 7869	38,28 18,22 77,62	55132 3135179 7065	37,78 13,96 75,12	53559 3281152 6753	38,40 24,45 77,19	51790 3181028 6112	38,99 23,11 78,20	52028 3733833 6183	39,46 24,06 78,19
Здания и сооружения сельскохозяйственного назначения	617 593424 14	0,41 3,25 0,14	552 2129714 8	0,38 9,48 0,09	574 1447483 13	0,41 10,79 0,15	580 167088 11	0,44 1,21 0,14	522 768296 7	0,40 4,95 0,09
Место открытого хран. веществ, материалов, с/х угодья и прочие открытые территории	3511 260347 10	2,33 1,43 0,10	4098 186734 16	2,81 0,83 0,17	3835 135437 7	2,75 1,01 0,08	3564 97284 10	2,68 0,71 0,13	3385 433663 21	2,57 2,79 0,27
Сооружения, установки промышленного назначения	927 1202446 57	0,61 6,59 0,56	896 314255 38	0,61 1,40 0,40	953 139054 46	0,68 1,04 0,53	781 94101 30	0,59 0,68 0,38	777 170896 25	0,59 1,10 0,32
Строящиеся (реконструируемые) здания (сооружения)	976 158916 29	0,65 0,87 0,29	977 153099 40	0,67 0,68 0,43	812 75410 39	0,58 0,56 0,45	716 117821 16	0,54 0,86 0,20	765 89192 13	0,58 0,57 0,16
Прочие здания, сооружения и помещения общественного назначения	151 55405 5	0,10 0,30 0,05	141 49086 2	0,10 0,22 0,02	144 25549 2	0,10 0,19 0,02	115 18925 6	0,09 0,14 0,08	97 10343 0	0,07 0,07 0,00
Отдельно стоящая хозяйственная постройка (бытовка, вагончик, сарай, хозблок, будка и др.)	1766 29093 134	1,17 0,16 1,32	1859 25090 138	1,27 0,11 1,47	1733 27086 104	1,24 0,20 1,19	1704 32769 83	1,28 0,24 1,06	1772 33393 104	1,34 0,22 1,32
Неэксплуатируемое здание (сооружение)	2788 83526 145	1,85 0,46 1,43	3373 79125 160	2,31 0,35 1,70	3198 113656 116	2,29 0,85 1,33	3271 140636 83	2,46 1,02 1,06	3122 89384 87	2,37 0,58 1,10

Рис. 2. Динамика распределения основных показателей обстановки с пожарами по видам объектов пожаров [1]

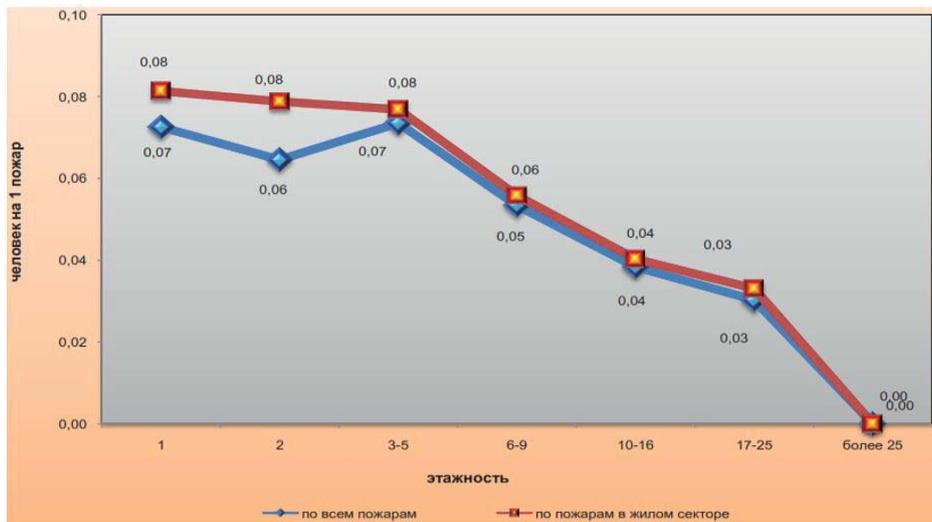


Рис. 3. Динамика гибели людей в зависимости от этажности здания [1]



Рис. 4. Классификация применяемых огнезащитных составов

В настоящее время пожарная безопасность зданий и сооружений различного назначения основана на детализации системы стандартов пожарной безопасности при проектировании зданий [11-15].

Огнезащита железобетонных строительных конструкций играет важную роль в системе пожарной безопасности зданий и сооружений. Проблема эффективной противопожарной защиты имеет особое значение в случае подземных сооружений, таких как туннели, современные высотные здания и специальные сооружения, такие как торговые центры и спортивные сооружения.

Строительство этих сооружений в настоящее время ведется в больших масштабах и более быстрыми темпами в каждом крупном городе. Пожар может иметь катастрофические последствия для бетонных и железобетонных конструкций, которые не следует упускать из виду при проектировании. [8].

На рис. 5 приведена схема способов обеспечения огнезащиты металлических конструкций.



Рис. 5. Схема обеспечения огнезащиты металлических конструкций

Нагрузки и воздействия, которым подвергается здание в нормальных условиях эксплуатации, учитывают на стадии проектирования строительных конструкций. Однако во многих случаях они приводят к разрушению отдельных сооружений и зданий в целом.

Например, неблагоприятные факторы, воздействующие на конструкции при пожаре, включают в себя высокую температуру, давление газов и продуктов горения, динамические нагрузки от падающих обломков обрушившихся элементов здания и пролитой воды, резкие колебания температур [16, 17].

В качестве примера на рис. 6 приведены основные показатели обстановки с пожарами в зданиях различной степени огнестойкости.

При этом, наблюдается значительный градиент температуры, в то время как, зачастую, изменение давления газовой среды в помещениях незначительны.

Однако в специфических условиях (например, на сценах театров) горение материалов может происходить значительно интенсивнее, в результате чего образующиеся продукты горения существенно увеличивают давление на ограждающие конструкции.

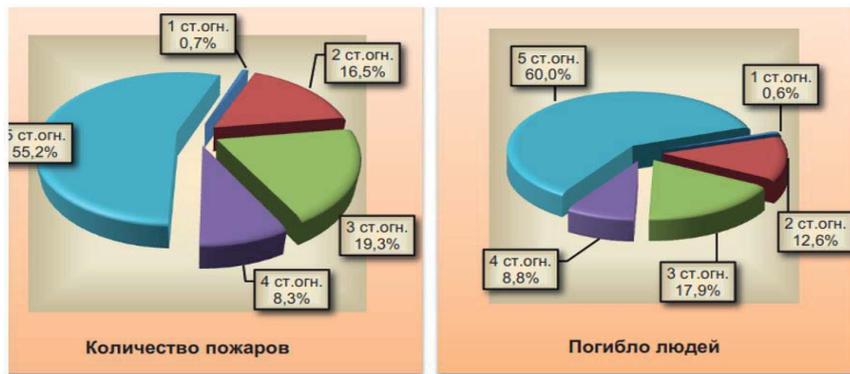


Рис. 6. Основные показатели обстановки с пожарами в зданиях различной степени огнестойкости (по данным за 2018 год) [1]

В результате взрывов газо-, паро- и пылевоздушных смесей в производственных зданиях, давление в помещениях может существенно превысить допустимое для строительных конструкций. Кроме того, строительные конструкции испытывают дополнительные динамические нагрузки от частей (обломков) разрушающегося здания и в результате использования огнетушащих составов (как правило, вода), что может привести к их частичному или полному разрушению [18].

Для решения рассмотренных проблем применяют следующие способы повышения огнестойкости строительных конструкций.

В случае деревянных конструкций эффективно наносить штукатурку, различные краски (вспучивающиеся, не вспучивающиеся), а также пропитывать антипиренами. Так, например, 2 см толстый слой штукатурки повышает огнестойкость деревянной колонны к R60. При применении таких защитных покрытий, внимание должно быть уделено обеспечению достаточной огнестойкости деревянных конструкций, имеющей точку крепления, опоры, затяжки, армирование из металлических элементов [19-21].

Для повышения огнестойкости железобетонных конструкций рекомендуется увеличить толщину защитного слоя бетона; осуществить подкладка из негорючих материалов; снизить пожарную нагрузку в помещении; снизить механическую нагрузку на конструкцию; использовать рабочую арматуру с более высокой критической температурой нагрева в случае пожара.

Также следует отметить, что пределы огнестойкости для стальных конструкций находятся в диапазоне R10, R6 - R8 - для алюминиевых конструкций и R15 - для стальных конструкций. Исключением являются колонны массивного непрерывного сечения, в которых огнестойкость без огнезащиты может достигать R 45. Однако использование таких конструкций в строительной практике крайне редко. В ситуациях, когда минимальная огнестойкость, требуемая в конструкции (кроме огнестойких конструкций в составе противопожарных преград), указана в R15 (RE15, REI15), допускается использование незащищенных стальных конструкций независимо от их фактической огнестойкости, за исключением случаев, когда огнестойкость несущего элемента конструкции по результатам тестирований меньше чем R8 [22, 23].

Широко используемые методы повышения огнестойкости металлических конструкций включают футеровку огнеупорными материалами, обладающими высокими теплозащитными свойствами [24].

Для достижения достаточного уровня огнестойкости стержневых металлоконструкций с покрытиями, целесообразно использовать подвесные потолки, установленные на негорючих каркасных конструкциях с высокими теплоизоляционными свойствами, поскольку отдельная огнезащита каждого металлического элемента сооружения является слишком затратной и трудоемкой.

Многочисленные экспериментальные огневые испытания таких конструкций свидетельствуют о том, что в ходе эксплуатации зданий и сооружений предел огнестойкости не соответствует требуемым проектным значениям (до 5060% случаев) [5]. В то же время нормативные значения пределов огнестойкости, которые достигают REI 180 и REI 240, значительно увеличиваются с высотой зданий, для несущих конструкций (для зданий с высотой более 150 м). Данные значения существенно превышает аналогичные в зарубежных нормах, что логично приводит к увеличению затрат на изготовление и поддержание эксплуатационных качеств таких строительных конструкций [5].

Вместе с тем, известно, что пределы огнестойкости конструкций более указанного значения (1 ч), даже для высотных зданий, имеют целью обеспечение сохранности здания и снижение ущерба имуществу, а не обеспечение безопасности людей [4, 13]

В связи с этим обеспечение фактической огнестойкости ограждающих конструкций здания имеет особое значение. Повышенные требования к пределам огнестойкости конструкций, по мнению авторов [6], были введены из-за несовершенства и, во многих отношениях, избыточности существующих нормативных требований, которые не учитывают возможные альтернативные или реальные условия пожара.

При их применении пределы огнестойкости строительных конструкций в соответствии с альтернативными температурными условиями определяются конкретно указанными случаями, установленными нормативными документами по пожарной безопасности.

Причем, отсутствие в нормативных документах способов подтверждения фактического соответствия строительных конструкций установленным нормативным требованиям на огнестойкость (незначительные масштабы применения нормативно утвержденных расчетно-аналитических методов и соответствующего программного обеспечения для оценки фактических пределов огнестойкости строительных конструкций по сравнению с объемом дорогостоящих натуральных испытаний на огнестойкость, в том числе для стадии затухания огня и внезапного охлаждения структур использование пожарных технологий пожаротушения; тот факт, что существующая сеть сертификационных центров и лабораторий не готова выдавать соответствующие выводы; отсутствие соответствующих экспресс-методов и методик оценки параметров огнестойкости строительных конструкций на этапе эксплуатации, капитального ремонта, реконструкции зданий,

сооружений; отсутствие достаточной практики или незначительный объем применения разработанных огнезащитных технологий для обеспечения конструктивного соответствия (в основном железобетонных и металлических конструкций) требованиям огнестойкости и противопожарной защиты; наличие трагических последствий реальных пожаров (при которых даже использованные огнезащитные покрытия не обеспечивали необходимую огнестойкость согласно документации их производителей (на самом деле производители покрытий вводят потребителей в заблуждение относительно свойств и качеств предлагаемых огнеупорных материалов) покрытия (огнезащитные составы), поскольку высокая огнезащитная эффективность покрытия не означает, что оно будет эквивалентно огневой расчетной предельной нагрузке.

Таким образом, существует необходимость усовершенствования систем и способов обеспечения огнестойкости строительных конструкций, зданий и сооружений с учетом реальных условий температурных режимов горения (пожаров).

### Литература

1. Федеральный банк данных «Пожары». Интернет-ресурс [www.vniipo.ru](http://www.vniipo.ru)
2. Брушлинский Н. Н., М. Ahrens, Соколов С.В., Р. Wagner. Мировая пожарная статистика. Отчет СТИФ. 2018. № 23.
3. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184ФЗ «О техническом регулировании».
4. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
5. Мешалкин Е.А., Антонов С.П. Об эффективности требований пожарной безопасности // В сборнике Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». 2019. С. 115-118.
6. Приказ МЧС России от 8 октября 2018 г. № 431 О внесении изменений в Порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714
7. Бабажанов, А. Ф. Актуальность вопроса огнестойкости конструкций // Молодой ученый. — 2020. — № 6 (296). — С. 55-57. — URL: <https://moluch.ru/archive/296/67120/> (дата обращения: 16.04.2020).
8. Демехин В.Н., Лукинский В.М., Серков Б.Б. Пожарная опасность и поведение строительных материалов в условиях пожара / под общ. ред. В.М. Лукинского. СПб.: ООО «Ковэкс», 2002. 142 с.
9. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М., ВНИИПО, 2005 г. – 456 с.
10. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. 496 с.
11. Недвига Е. С., Соловьева К. И., Киселев С. С. Способы защиты строительных конструкций от огневого воздействия // Молодой ученый. — 2015. — №24. — С. 160-163. — URL <https://moluch.ru/archive/104/24562/> (дата обращения: 29.01.2020).
12. СП 306.1325800.2017. Многофункциональные торговые комплексы. Правила эксплуатации.
13. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
14. ГОСТ 532952009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.
15. Технический регламент ЕАЭС № 043/2017. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения.
16. Ройтман В.М. О физическом смысле и основных подходах к оценке показателя «эквивалентная продолжительность пожара» // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 2. С.8184.
17. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М., Ассоциация «Пожнаука», 2001.
18. Орлов Г.Г., Корольченко А.Д. Нагрузки, разрушающие строительные конструкции в результате аварийных взрывов // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 3. С. 45-56.

19. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicone base //Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. Т. 91. № 1. С. 96-100.
20. Павлов В.В., Пехотиков А. В, Кривошапкина О.В. Экспериментальные исследования огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных составов для стальных конструкций, позиционируемых как эффективные средства обеспечения огнестойкости несущих конструкций зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости, применяемых в современной строительной практике // Лакокрасочные материалы и их применение. 2015. № 7.
21. Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Полищук Е.Ю., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Огнестойкость деревянных конструкций с огнезащитными пропиточными составами // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 1 (77). С. 12-21.
22. Загоруйко Т.В. Бетон повышенной термостойкости для огнестойких железобетонных изделий : на соискание ученой степени канд. техн. наук / Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т. Воронеж, 2015. 163 с.
23. Попов Н. Н., Расторгуев Б. С. Расчет железобетонных конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок. – М. : Стройиздат, 1964. 152 с.
24. Халилова Р.А. Повышение огнестойкости металлических конструкций объектов нефтегазовой отрасли применением вспучивающихся красок : диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2008. 108 с.