

УДК 674.049.3

Современные средства огнезащиты древесины

А. Я. Корольченко, Е. А. Петрова

АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ КОРОЛЬЧЕНКО — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Пожарной безопасности Московского государственного строительного университета (МГСУ). Область научных интересов: проблемы пожаровзрывобезопасности зданий и сооружений.

ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА ПЕТРОВА — инженер, старший научный сотрудник Института инженерной безопасности в строительстве МГСУ. Область научных интересов: огнезащита строительных материалов и конструкций.

141006 Мытищи, Московская обл., Олимпийский просп., д. 50, Институт инженерной безопасности в строительстве, тел. (095)582-72-69

На протяжении многих лет человечество использует древесину в качестве строительного материала, поскольку это экологически чистый материал с рядом ценных качеств: высокой прочностью и упругостью в сочетании с малой плотностью и низкой теплопроводностью [1]. Однако наряду с перечисленными положительными качествами древесина легко возгорается и гниет, что обусловлено ее органической природой [2].

Горение древесины

Горение древесины — непрерывный многостадийный процесс [3, 4], включающий аккумуляцию тепловой энергии от источника зажигания, термическое разложение материала (пиролиз) с выделением летучих продуктов и образованием твердого углеродистого остатка, воспламенение горючих летучих продуктов пиролиза, их горение, беспламенное горение угля.

Воспламенению древесины предшествует стадия термического разложения. В процессе нагревания из древесины выделяются газообразные продукты: низшие углеводороды, водород, оксид и диоксид углерода. Твердый остаток представляет собой в основном древесный уголь. Зажигание летучих горючих продуктов приводит к их воспламенению. Скорость реакций в газовой фазе на несколько порядков выше скорости в конденсированной. Поэтому определяющую роль при горении древесины играет процесс газификации, который в свою очередь зависит от условий создания прогреваемого слоя.

Термическое разложение целлюлозы древесины весьма чувствительно к внешним условиям: скорости нагрева, составу окружающей среды и др. Принято считать [2], что процесс разложения выше 550 К протекает в четыре стадии: первая представляет собой внутримолекулярную реакцию дегидратации целлюлозы; вторая включает разрыв связей С—О с развитием деполимеризации с образованием левоглюкозана; третья — разложение продуктов дегидратации с образованием угля и летучих органических продуктов; четвертая — образование оксида и диоксида углерода, воды и водорода.

Особенность процесса горения заключается в том, что часть выделяющегося при горении тепла поступает на нагрев новых участков древесного материала. Если этой энергии достаточно для пиролиза и воспламенения, то при достаточности кислорода процесс получает цепное развитие.

Горение древесных материалов является гомогенным и гетерогенным одновременно. При чисто гетерогенном горении процесс протекает на границе раздела фаз, когда к поверхности подводится достаточно окислителя, а продукты самостоятельно вступают в реакцию с кислородом воздуха, что приводит к гомогенному гетерофазному горению. В этом случае поверхность раздела между реагентами отсутствует. На процесс горения существенно влияет плотность древесины. При снижении плотности увеличивается пористость древесины и содержание в ней кислорода воздуха, в результате чего создаются предпосылки для тления (горения без пламени).

Частицы дыма способствуют горению древесины. При интенсивном сажеобразовании излучательная способность пламени увеличивается в несколько раз, в результате возрастает обратный тепловой поток, приводящий к усилению теплопередачи на поверхность древесного материала.

Способы защиты и классификация антипиренов

В условиях пожара незащищенные деревянные конструкции достаточно легко возгораются, что является главной причиной их обрушения и немалого ущерба. Поэтому актуальной проблемой является обеспечение защиты древесины от огня. Основными путями защиты древесины являются: 1) снижение скорости термического разложения для уменьшения выхода горючих продуктов в газовую фазу и 2) изменение состава продуктов термического разложения в сторону увеличения образования негорючих продуктов.

Для достижения этих целей древесину модифицируют различными средствами огнезащиты [5—8]. К ним относятся: огнезащитные покрытия, лаки, эмали, обмазки, а также разнообразные пропитки. Многооб-

разие средств огнезащиты объясняется тем, что существует два основных способа огнезащиты древесины. Один из них заключается в нанесении на поверхность древесины термоизолирующего слоя, на определенное время предохраняющего древесину от термического разложения. По этому способу действуют все виды *покрытий*. Принципиально отличный способ защиты заключается в том, чтобы несмотря на прогрессирующее разложение древесины, не допустить пламенного горения продуктов разложения, т.е. горение не будет распространяться за пределы действия источника горения. Это достигается либо разбавлением горючих газообразных соединений негорючими газами для снижения концентрации горючих веществ в зоне возможного горения, либо уменьшением поверхности газификации путем покрытия древесины тонкой газонепроницаемой пленкой (расплавом солей). К последнему способу защиты древесины от огня относят все виды *пропиток*.

Огнезащитная эффективность составов оценивается, в соответствии с [9], на установке КТ (керамическая труба) на основании потери массы образцами. Согласно [9], при потере массы не более 9% составы имеют I группу огнезащитной эффективности (группа трудногораемых материалов). При потере массы более 9%, но не выше 25% — устанавливают II группу огнезащитной эффективности (группу трудновоспламеняемых материалов). При потере массы более 25% считается, что данный состав не является огнезащитным.

Огнезащитные покрытия

Различают вспучивающиеся, огнезадерживающие и металлизированные покрытия. Нанесение покрытий на поверхность древесины предотвращает или замедляет возгорание и тормозит скорость распространения пламени по поверхности. Огнезащитными факторами здесь служат:

- 1) теплоизолирующий слой, замедляющий прогревание древесины;
- 2) экранирующий слой, отражающий тепловое излучение пламени;
- 3) изолирующий слой, затрудняющий выход горючих летучих продуктов и доступ кислорода к поверхности горения;
- 4) негорючие газы, выделяющиеся при термодеструкции покрытия, разбавляющие горючие летучие продукты и ингибирующие цепные радикальные процессы горения, которые наблюдаются при термическом разложении специальных добавок покрытий;
- 5) катализаторы, образующиеся из компонентов покрытия и изменяющие направление пиролиза древесного вещества по механизму действия эффективных антипиренов.

Для вспучивающихся покрытий компоненты (и их соотношение) подбирают так, чтобы создать условия для образования мелкопористой пены с хорошими теплоизолирующими свойствами, сохраняющимися при высоких температурах. Органические амиды или амины при высокотемпературном воздействии разлагаются с образованием аммиака, диоксида углерода, азота. Эти газы вспенивают покрытие, которое уже размягчается к этому моменту. Карбамид, дициандиадид, меламин, уротропин и др. при нагревании не только образуют газы, но и оказывают пластифици-

рующее действие и, кроме того, способствуют реакции взаимодействия гидроксильных групп полиолов и фосфорных кислот. В качестве полиолов используют крахмал, декстрин, сорбит, резорцин, фенолоформальдегиды. Из кислотообразователей — полифосфат аммония. Хорошими теплоизолирующими свойствами обладают составы на основе полифосфатов эпоксидных и фенолоформальдегидных смол [10, 11]. Для стабилизации вспученного покрытия в высокотемпературных условиях вводят аэросил, перлит, оксиды некоторых металлов. Иногда в огнезащитные покрытия добавляют пигменты, загустители, растворители. Компоненты «работают» в условиях высокотемпературного нагрева в последовательности, обеспечивающей высвобождение фосфорных кислот, дегидратацию и этерификацию полиолов, размягчение композиции, выделение газов для вспенивания, формирование углеродно-фосфорного остатка и вспенивания карбонизирующейся массы негорючими газами и водяными парами, гелеобразование и отверждение вспененного слоя. Такая последовательность обеспечивается соответствующими температурными параметрами компонентов и скоростью процессов.

Менее эффективны огнезадерживающие и металлизированные покрытия. Огнезадерживающие покрытия для теплоизолирующего эффекта наносят более толстым слоем, чем вспучивающиеся. Металлизированные покрытия за счет теплопроводности на локальном участке материала временно исключают достижение критических условий горения. Оба вида покрытий затрудняют диффузию кислорода воздуха к поверхности горения материала и поступление топлива (в виде продуктов термораспада) в зону пламени. К покрытиям (рабочим составам, образующим в результате огнезащитной обработки слой на поверхности объекта огнезащиты) относятся огнезащитные лаки, краски, обмазки и др. [3, 6, 7, 12].

Основу лакокрасочных материалов составляют синтетические пленкообразующие вещества — олигомеры и полимеры. Их горение отличается от горения древесины почти вдвое большим тепловым эффектом процесса, большим расходом воздуха на сгорание и склонностью к интенсивному дымо- и сажеобразованию. В рецептуру лаков часто включают поливинилхлорид, полистирол, карбамидные смолы. Огнезащитные лакокрасочные материалы способствуют локализации развития горения, замедлению скорости распространения пламени, что дает время для подключения активных средств пожаротушения. Но при длительном воздействии высоких температур они утрачивают адгезию к подложке, оголяя горючий материал. Поэтому самостоятельно они используются либо для наружной окраски деревянных зданий, где в случае пожара значительный теплоотвод происходит за счет холодных масс окружающего воздуха, либо для внутренней отделки в качестве влагозащиты пропитанной антипиренами древесины. Наиболее распространенные лакокрасочные материалы представлены в табл. 1.

Огнезащитные покрытия различаются по типу связующего. Как правило, главным составляющим огнезащитных силикатных покрытий (ПО-СК) служит натриевое (калиевое) «жидкое стекло Фукса» — связующее для механической смеси антипиренов и волоконистых армирующих материалов. Рецептуры любых силикатных составов построены на подобной

Таблица 1

Сертифицированные огнезащитные материалы, применяющиеся в России

Наименование материала	Технология нанесения	Расход, кг/м ²	Группа огнезащитной эффективности	Изготовитель продукции
Лаки				
СФ-1 (ТУ 2311-004-03985717-96)	Кистью, валиком, распылением	0,3	I	ЗАО «Жилсоцстрой» Санкт-Петербург
Щит-1 (ТУ 2311-001-2381751-94)	То же	0,5	I	АОЗТ «Утро» Санкт-Петербург
Фосфовяз-1 (ТУ 2313-001-23081751-94)	—«—	0,25	I	ООО Фосфовяз Москва
Покрытия				
Pyrotech LS/CS	—«—	0,15—0,3	I	Фирма «E.WOOD Limited», Англия
ПО-СК (ТУ 2311-0011-44325022-98)	—«—	0,5	I	ООО «Ромфил» Барнаул
Краски				
Барриер 87	Кистью, валиком, распылением	0,3	I	IMPA S.p.A. «Refrontolo (TV)», Италия
Hensotherm 2KS	То же	0,4	I	Фирма «Hensolhenn AB», Швеция
Sigmatext-H BUNT	—«—	0,34	I	Фирма «SIGNUM Brandschutz», Германия
Обмазки, эмали				
Суперфосфатная обмазка СФО	Кистью	1,6	II	АООТ ЯрНИИ ЛКП, Ярославль
Известково-гипсовая обмазка ИГСО	То же	1,4	II	То же
Эмаль огнезащитная НО-1273	—«—	0,42	II	—«—

схеме, различным может быть только состав пигментов для колеровки готовых покрытий. Если в состав силикатной основы добавляют выгораемые добавки, стабилизирующие материалы, вспучивающиеся минералы (например, вермикулит), то получается высоковязкая композиция — огнезащитная мастика.

К полимерным огнезащитным покрытиям относят препараты (например, Pyrotech), где в качестве связующего смеси антипиренов и волокнистых составляющих используют меламинаформальдегидные смолы, смеси фенольной и акриловой смол и т.п. Краски на карбамидной основе (Барриер 87) в сочетании с ортофосфатами наиболее эффективны, однако их применение, как и силикатных красок, ограничено из-за высокой растворимости в воде с образованием кислой либо щелочной среды. Наиболее распространенные эмали, обмазки представлены в табл. 1.

Огнезащитные пропитки

Еще в начале XX столетия установлено, что огнезащитная обработка древесины различными видами покрытий, т.е. создание защитного слоя на поверхности древесины, не является вполне надежным средством ее защиты на продолжительное время эксплуатации, во-первых, из-за невысокой прочности всех видов силикатов, а во вторых, из-за невысоких адгези-

онных свойств силикатных композиций по отношению к древесине. Более действенным способом защиты древесины является пропитка ее антипиренами, при этом огнезащитные вещества проникают в глубь древесины, заполняя поры и окружающая волокна.

Для пропитки древесины используют растворимые в воде соли способные плавиться при нагревании, покрывая волокна древесины защитной пленкой расплава или выделяя кристаллизационную воду, или разлагаться с выделением большого количества негорючих газов, которые экранируют поверхность древесины от кислорода воздуха и разбавляют горючие продукты разложения древесины. Комплекс этих свойств приводит к тому, что при приближении источника огня к древесине воспламенение продуктов разложения древесины не происходит. Огнезащитная пропитка разделяется на поверхностную, при которой огнезащитные вещества проникают в поверхностный слой древесины на глубину до 2—7 мм, и глубокую — свыше 10—12 мм.

Поверхностная (капиллярная) пропитка наносится на поверхность древесины кистью или путем опрыскивания краскопультom. Она не вызывает [35] снижения прочности и не создает внутренних напряжений. Благодаря этим качествам, а также простоте нанесения, поверхностные пропитки наиболее распро-

странены на российском рынке средств огнезащиты. При этом способе антипирены проникают в результате действия капиллярных сил на глубину 3 мм для легко пропитываемых зон и 1 мм — для труднопропитываемых. Из-за малой глубины пропитки эффективно использовать составы-реагенты, способные при малых расходах обеспечить высокий уровень огнезащиты.

Глубокая пропитка — обработка древесины пропиточными растворами с целью введения огнезащитных средств в объем древесины. Глубокая пропитка древесины более эффективна по сравнению с поверхностной (проникает на глубину свыше 10 мм). Основное ее преимущество заключается в сохранении текстуры древесины. Однако пропитка эффективна лишь при большой концентрации антипиренов. Это приводит к утяжелению древесины, ухудшению ее свойств как природного полимерного композита. Сильно ухудшается эластичность, увеличивается гигроскопичность и хрупкость древесины, что отражается на экономических показателях защиты, особенно с учетом технологических трудностей введения больших количеств солей в древесину. Применяют следующие виды глубокой пропитки: пропитка под давлением, методом горяче-холодных ванн [13], автоклавно-диффузионная пропитка [14].

А. *Пропитка под давлением* осуществляется солевыми антипиренами (МС, ПП, Сенеж-ОБ, ОЗП-Д) в специальных камерах, что обеспечивает получение тонких и плотных огнезащитных оболочек на поверхности конструктивных элементов. Предложены разные режимы глубокой пропитки под давлением [15] вследствие того, что разные породы древесины пропитываются

неодинаково. К легко пропитываемым породам относятся ольха, бук, береза, осина, сосна; к труднопропитываемым — ясень и дуб.

Б. *Пропитка методом горяче-холодных ванн* [13] заключается в поочередной обработке древесины горячими и холодными растворами солевых антипиренов. При нахождении в горячем растворе происходит удаление из пор древесины воздуха и водяных паров. При последующем охлаждении в порах древесины образуется разрежение, что позволяет проникать в них огнезащитному раствору.

В. *При автоклавно-диффузионной пропитке* [14] древесина подвергается обработке антипиренами в условиях последовательного изменения давления в автоклаве. Разработано несколько режимов диффузионной выдержки древесины. Наиболее распространенные пропиточные составы приведены в табл. 2.

Анализ [4, 16] показал, что в России наиболее распространены *солевые антипирены*. В основном это комбинации диаммонийфосфата, хлорида или сульфата аммония, фторида натрия, фосфорных кислот, мочевины, ПАВ (в основном сульфанола бессульфатного) и др. компонентов. Из них можно создавать многочисленные комбинации, солевые ингредиенты дешевы и легко готовятся. Из пропиточных составов, приведенных в табл. 2, к солевым антипиренам относятся: МС, ПП, САИ, Файрекс, Сенеж-ОБ, ОЗП-Д. Растворы солевых композиций проникают вглубь, промачивая поверхностный слой древесины. После испарения воды — носителя антипирена — солевые составляющие остаются среди волокон клетчатки, благодаря чему создается защитный слой. Огнеза-

Таблица 2

Отечественные сертифицированные пропитки для огнезащиты древесины

Наименование материала	Технология нанесения	Расход, кг/м ²	Группа огнезащитной эффективности	Изготовитель продукции
МС (ТУ 2494-001-29452421-96)	Кистью, валиком, распылением	0,6	II	АОЗТ МСМУ № 80 «Союзантисептик» Москва
МС (ТУ 400-1-185-79)	Автоклавная	0,18	I	То же
ПП (ТУ 2494-001-45134956-97)	То же	0,5	I	ЗАО СМУ-77 «Строй-комплекс» Москва
Пирилакс (ТУ 2499-001-24505934-98)	Кистью, валиком, распылением	0,3	I	ИЧП «Норд», Ижевск
САИ (ТУ 238440-001-24505934-98)	То же	0,6	I	ТОО «Арис», Москва
Файрекс-22	—	1,5	I	НПФ «Крилак», Москва
ТЛИМС® ОГНЕСТОП20 (ТУ 2182-004-4294526-98)	—	0,4	II	ЗАО «НПК СОФЭКС», Москва
Фобос-7 (ТУ 2494-002-46427293-98)	—	0,8	II	ООО «Ангис+», Москва
СЕНЕЖ-ОБ (ТУ 5362-021-02495282-98)	Погружением	0,25	II	ООО «Сколт», Москва
ОЗП-Д (ТУ 2313-001-46437591-98)	То же	0,4	II	ООО «ТИМ-Сфера», Казань
ЭСМА (ТУ ОЯД-503091-94)	—	0,62	I	ТОО «Герметстрой», Москва

щитные средства на основе фосфорной кислоты и мочевины (Пирилакс, Сенеж-ОБ) [17—23] для создания трудногорючести древесины должны проникать на достаточную глубину [24].

Кроме солевых антипиренов применяют *антипирены-реагенты*, преобразующие клетчатку поверхностного слоя древесины в трудновоспламеняемое соединение. В основном это комбинации таких компонентов, как диалкилфосфиты (Пирилакс), амины, дикарбоновые кислоты, амиды карбоновых кислот, полифосфаты натрия и аммония, соединения фенола и др. Преимущество таких составов (по сравнению с солевыми) заключается в долговечности огнезащитной обработки и в том, что обработанные этими антипиренами деревянные конструкции можно покрывать любыми видами лакокрасочных материалов за исключением цементных компаундов. Из пропиточных составов, приведенных в табл. 2, к указанным составам-реагентам относятся: ТЛИМС® ОГНЕСТОП20, Фобос-7, ЭСМА, Пирилакс.

Анализ пути совершенствования огнезащитных пропиточных составов, их применения в строительном деле для повышения противопожарной устойчивости конструкций и изделий из древесины показал, что приоритетными являются составы, способные при минимальных затратах обеспечить требуемые параметры огнезащитности, не снизив и не ухудшив при этом эксплуатационных свойств древесины. Такой широкий спектр требований к современной огнезащите обязывает исследователей постоянно расширять научные изыскания.

Наиболее эффективными *замедлителями горения* древесины являются фосфорсодержащие соединения. Фосфорилированию целлюлозы посвящен ряд работ [25—36]. Из неорганических соединений наибольшее распространение получили ортофосфорная кислота, из конденсированных фосфорных кислот — пиррофосфорная и триполифосфорная кислоты. Также широко применяют дигидрофосфат натрия, полифосфаты и триполифосфаты. Последние представляют собой натриевые соли, полученные сплавлением пиррофосфата и метафосфатов натрия. В отечественной патентной литературе есть два огнебиозащитных состава (с антисептиками) на основе триполифосфата натрия. В первый состав [35] дополнительно включены фторид натрия и мочевина; во второй [36] — дициандиамид. Наряду с полифосфатами натрия в качестве антипиренов используют также полифосфаты аммония. Известен огнебиозащитный состав на основе полифосфата аммония [38], включающий мочевину и фторид. Некоторые авторы обращают внимание на возможность применения полифосфата аммония в комбинации с такими компонентами как целлюлоза, поливинилацетат и полиуретан [39].

В последнее время в биопиренах нашли применение алкил- и диалкилфосфиты. Описан состав, содержащий алкилфосфит с растворителем [40] и состав [41], содержащий эквимольную смесь диалкилфосфита с дополнительным компонентом (амин $RNHR^1$, где R — H или $C_1—C_7$ =алкил; а $R^1—C_1—C_7$ =алкил; дикарбоновая кислота $HOOCR'COOH$, где R' — алкил $C_1—C_4$ или алкенил $C_2—C_4$). Однако описанные варианты пропиточных составов невозможно применять в условиях строительной площадки при отрицательных

температурах. Кроме того, при малых расходах антипиренов их огнезащитная эффективность невелика.

В МЧСУ разработаны рецептуры атмосфероустойчивых составов [4], способных при малых расходах антипирена перевести древесину в группу слабогорючих материалов, не снизив при этом ее эксплуатационные свойства, и пригодных к применению вплоть до -30°C . Это достигается тем, что предлагаемые варианты составов являются комплексными соединениями, включающими модифицированный коксообразователь, антипирен и антифриз. В качестве коксообразователя используют модифицированный углевод, отвечающий общей формуле $(C_xH_yO_z)_n$, где $n \geq 10000$. Модифицирование углевода — гидролиз в присутствии минеральной кислоты — проводится для обеспечения капиллярной пропитки. В качестве антифриза применяют предельный двухатомный спирт-гликоль $C_nH_{2n}(OH)_2$. В первом варианте рецептуры антипиреном служит эквимольная смесь диэтилфосфита с диэтиламином. Во втором варианте в качестве антипирена выступает эквимольная смесь диэтилфосфита с карбамидом $HCONH_2$ и малеиновой кислотой. В третьем варианте антипиреном является эквимольная смесь диэтилфосфита с диметилформамидом и малеиновой кислотой.

Известна успешная модификация целлюлозы линейными фосфазенами [42]. Для древесных и целлюлозных материалов лучшим огнезащитным составом является комбинация из органического и неорганического антипиренов, составленная по принципу дополненности [43].

* * *

Мы рассмотрели основные достижения в области огнезащиты древесины — одного из важнейших строительных материалов. Наряду с несомненными успехами в этой сфере проблем остаются нерешенными. К последним относятся: создание защитных составов комбинированного (огне- и биозащитного действия), создание надежных методов оценки продолжительности действия огнезащитных пропиток и покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиллард Дж. Древесина в сравнении с другими материалами. М.: Стройиздат, 1985, 40 с.
2. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988, 142 с.
3. Леонович А.А. Огнезащита древесины и древесных материалов. М.: Стройиздат, 1994, 62 с.
4. Петрова Е.А. Дисс. ... канд. техн. наук. М., 2003, 156 с.
5. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991, 630 с.
6. Орлова А.М., Петрова Е.А. Огнезащита древесины. Пожаровзрывобезопасность, 2000, т. 9, № 2, с. 8—16.
7. Орлова А.М., Матчин А.В., Петрова Е.А. Современные средства огнезащиты древесины. М.: Современные технологии в строительстве. Образование, наука, практика. Мат. городской научно-практ. конф. от 31.01—02.02.2001, М.: Изд. АСВ, 2001, с. 240—245.
8. Нагзузова Л.П., Романенков И.Г., Рыков Р.И. Несущая способность деревянных конструкций при пожаре. Абакан: Знание, 1996, 304 с.

9. НПБ 251-98. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний.
10. Nugent R.M., Ward T.A., Greiger P.P., Seiner J.A. Пат. США №5108832, 1990.
11. Грибов К.М., Пальцева Н.Г., Косилова О.И. Пат. РФ № 2026310, 1991.
12. Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство. М., ВНИИПО, 1994, 10 с.
13. ГОСТ 20022.6-86. Пропитка способом прогрев—холодная ванна. Взамен ГОСТ 20022.6-76. Введ. 01.07.87. М.: Изд-во стандартов, 1986, 72 с.
14. ГОСТ 20022.12-81. Защита древесины. Пропитка способом вымачивания. Взамен ГОСТ 19017-73. Введ. 01.02.82. М.: Изд-во стандартов, 1981, 70 с.
15. Лекторский Д.Н. Защитная обработка древесины. М.: Стройиздат, 1979, 520 с.
16. Орлова А.М., Петрова Е.А. Пожаровзрывобезопасность, 2001, т. 10, № 2, с. 42—46.
17. Тычино Н.А. Научно техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Тез. докл. конф. ВНИИПО МВД СССР от 12.10—15.10.1993, Москва, 1993, с. 371—375.
18. Тычино Н.А. Тез. докл. конф. РНПЦ ПБ МВД Беларуси 10—13.10.1994, Минск, 1994, с. 35—40.
19. Лукинский В.М., Кондрашов Н.П. Мат. 2-й Межд. научно-практ. конф. РНПЦ ПБ МВД Беларуси 6—9 октября 1997, Минск, 1997, с. 230—235.
20. Лунева Н.П., Петушок И.А., Воробьев В.К. Дмитриченко А.С. Там же, 1997, с. 116—117.
21. Петровская Л.И., Самускевич Л.Н., Лунева Н.К. Там же, 1997, с. 124—126.
22. Воробьев В.К., Лунева Н.К., Петушок И.А., Дмитриченко А.С. Мат. 14-й Всерос. научно-практ. конф. 12—15 ноября 1997, Москва. Сб. ч. 2. М.: ВНИИПО МВД РФ, 1997, с. 269—271.
23. Леонович А.А. Мат. 2-й Межд. научно-практ. конф. РНПЦ ПБ МВД Беларуси, Минск, 1997, с. 112—113.
24. Бельцова Т.Г. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук, М., 1990, 150 с.
25. Швалбе К.П., Озолина И.О., Карлсон И.М. и др. А. с. № 374169 (СССР). Открытия. Изобретения. Пром. Образцы. Товарные знаки, 1973, № 15.
26. Хрулев В.М., Рыков Р.И. Защита клееных конструкций от возгорания. Иркутск, Восточно-Сибирское издательство, 1972, 87 с.
27. Хрулев В.М., Шутов Р.М., Мельников Е.П. Склеивание модифицированной древесины и ее перспективы. Иркутск, Восточно-Сибирское издательство, 1981, 78 с.
28. Драиздейл Д. Введение в динамику пожаров. Под ред. К.Г. Бромштейна. М.: Стройиздат, 1990, 423 с.
29. Роцелс К.А., Берзон А.В., Гулбис Я.К. Химия древесины, Рига: Знание, 1983, с. 26—27.
30. Bariska M. Verbesserungen der Feuchtebestandigkeit des tiolzes durch chemische Modification. Schwarzen Bauwirtschaft, 1979, № 61, с. 14—16.
31. Роговин З.А., Тюганова М.А., Гефтер Е.А. Синтез новых производных целлюлозы и других полисахаридов. М.: Химия, 1974, с. 158.
32. Никифорова Т.П. Дис.... канд. техн. наук, Москва, 1981, 156с.
33. Сопикова И.И., Петров К.А. Ж. прикл. химии, 1967, с. 324—327.
34. Роговин З.А. Новый метод синтеза фосфорсодержащих эфиров целлюлозы, М.: Химия, 1978, 168с.
35. Максименко Н.А., Горшин С.Н. А. с. СССР № 844302, 1981.
36. Максименко Н.А., Горшин С.Н. А. с. СССР № 874342, 1982.
37. Покровская Е.Н., Мышелова Р.Н. Модификация древесины изоцианатами. Тез. Всес. конф. 8—11 августа 1983. Рига: Зинатне, 1983, с. 164—168.
38. Горшин С.Н., Максименко Н.А., Жданов Ю.Ф. А. с. СССР № 929435, 1982.
39. Сумимото Кагаку, Коге К.К. Пат. Японии № 52-14108, 1978.
40. Покровская Е.Н., Никифорова Т.П., Маковский Ю.Л., Сидоров В.И. Пат. РФ № 2011512, 1991.
41. Михайлов В.И., Землицкий В.Е., Киселев Е.А. Пат. РФ № 2061589, 1996.
42. Швалбе К.П. Совершенствование свойств древесины химическими методами. Тез. докл. Всес. конф. от 8—11 августа 1983. Рига: Зинатне, 1983, с. 92.
43. Леонович А.А. Пожаровзрывобезопасность, 1996, т. 5, № 3, с. 10—15.