



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЖИГАНИЯ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ МОДЕЛЬНЫХ ОЧАГОВ ГОРЕНИЯ

Касымов Д.П., Зима В.П.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Снежинск 2016

Актуальность темы



Содержание доклада

1. Лабораторные исследования воздействия модельного низового пожара на образцы древесины и торфа.



2. Исследование воздействия горящих частиц на древесину при ее обработке антипиренами.



1 часть

Лабораторное оборудование и методика проведения эксперимента

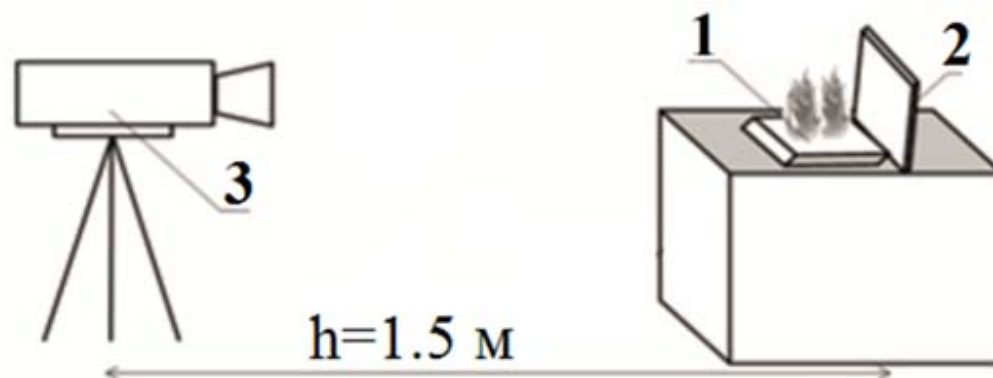
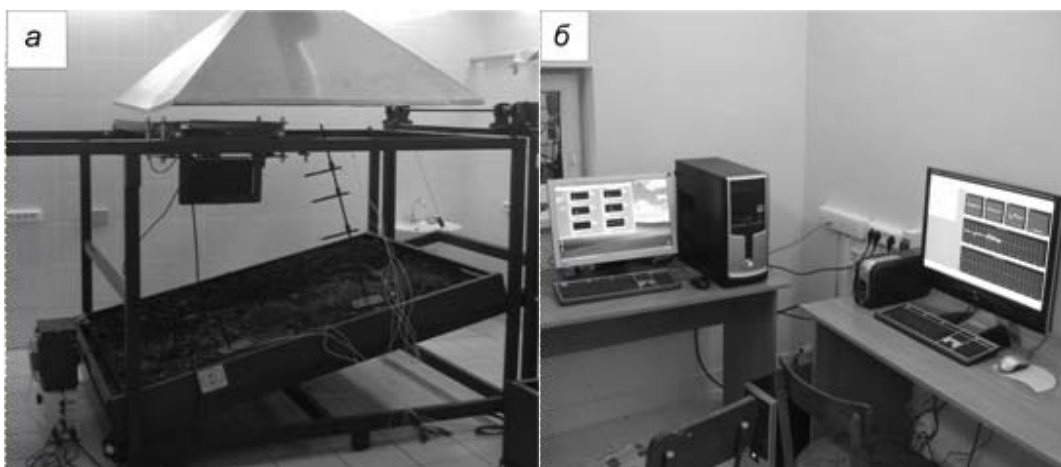


Схема экспериментальной установки. 1 – площадка ЛГМ, 2 – образец древесины, 3 – тепловизор JADE J530SB.



Установка для физического моделирования низовых лесных и степных пожаров (а); система сбора и регистрации данных (б)



В качестве образцов, имитирующих используемую в строительстве древесину, использовались материалы из сосны, осины и лиственницы. Размеры образцов в эксперименте составляли (Д×Ш×В): 0.23×0.02×0.1 м для сосны, 0.17×0.02×0.1 м для осины, 0.16×0.02×0.12 м для лиственницы.

Расход средства ФУКАМ для обеспечения огнезащитных свойств (по ТР БП и НПБ 251 (ГОСТ 16363)) составлял около 400 г/м², обеспечивающий II группу огнезащитной стойкости.



В качестве технологии пропитки древесины использовалась пропитка окунанием.

Во время экспериментов влагосодержание образцов составило: сосна – 5.55 %, осина – 5.83 %, лиственница – 3.76 %, хвоя сосны – 8.03 %.

Масса ЛГМ бралась постоянной и составляла в эксперименте 50 г, тем самым моделировался низовой лесной пожар слабой интенсивности.

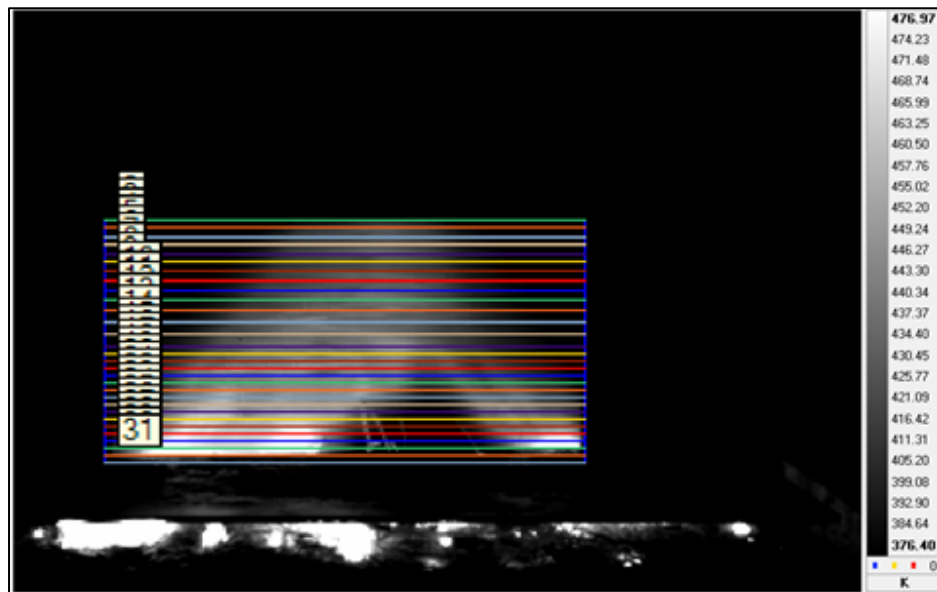
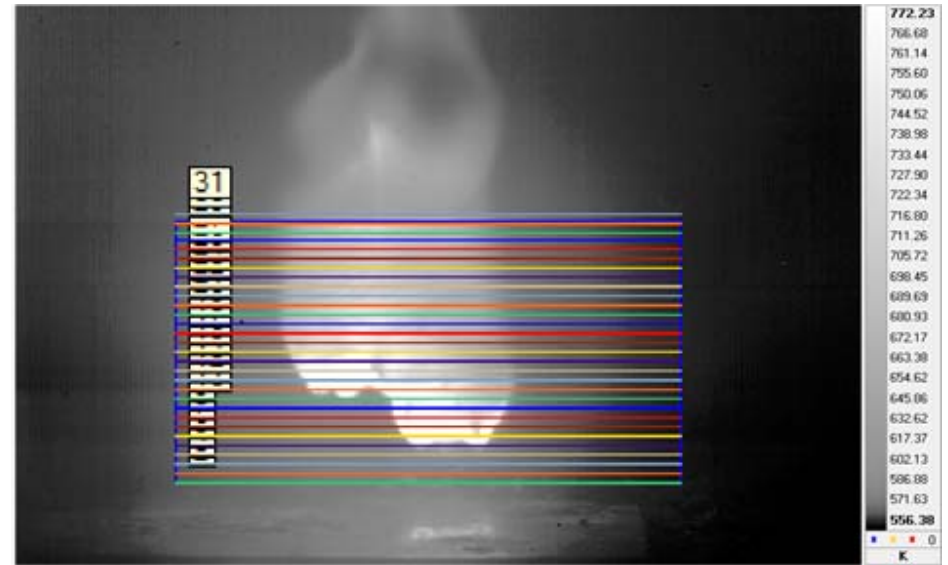
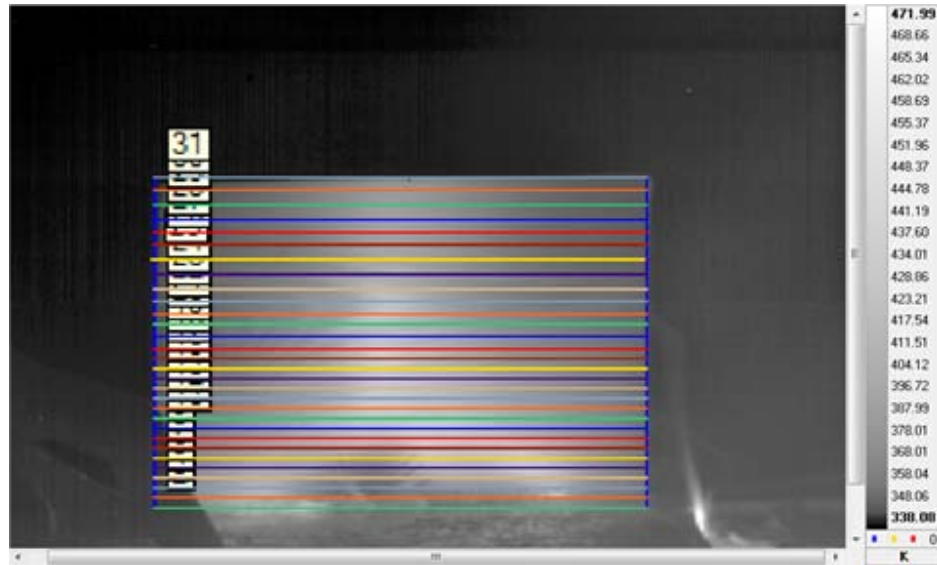


Тепловизор Jade J530SB

Спектральный интервал – 2.5–2.7 мкм;

(выбирался в соответствии с *E. L. Loboda, V. V. Reyno Choice for research spectral response of combustion processes using the method of IR diagnostics // Proc. SPIE 9292, 2014..*)

Обработка термограмм



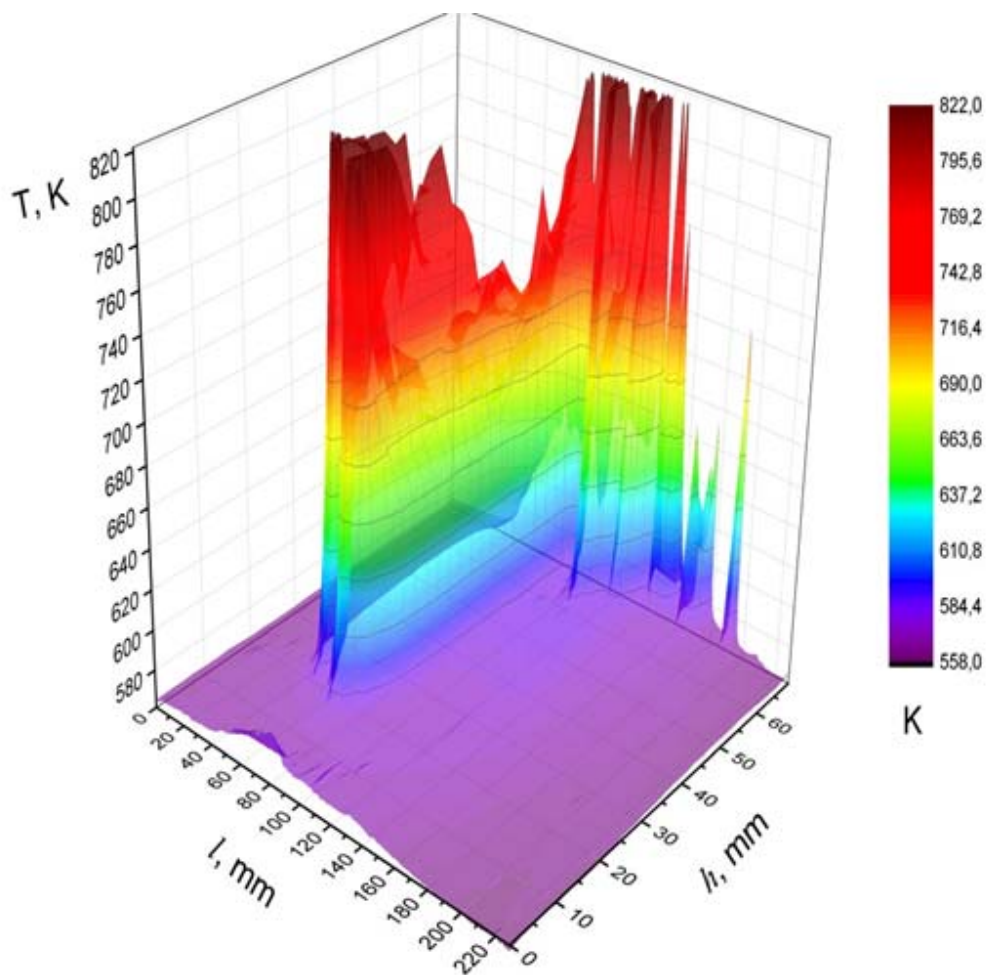
Для того чтобы определить теплонапряженные участки на поверхности образца древесины, с помощью программного обеспечения Altair, на термограмме поверхность образца покрывалась прямыми горизонтальными линиями. Расстояние между ними было фиксированное.

В результате, зная геометрическое положение прямых и значения температур, были получены графики распределения температуры на поверхности исследуемого образца.

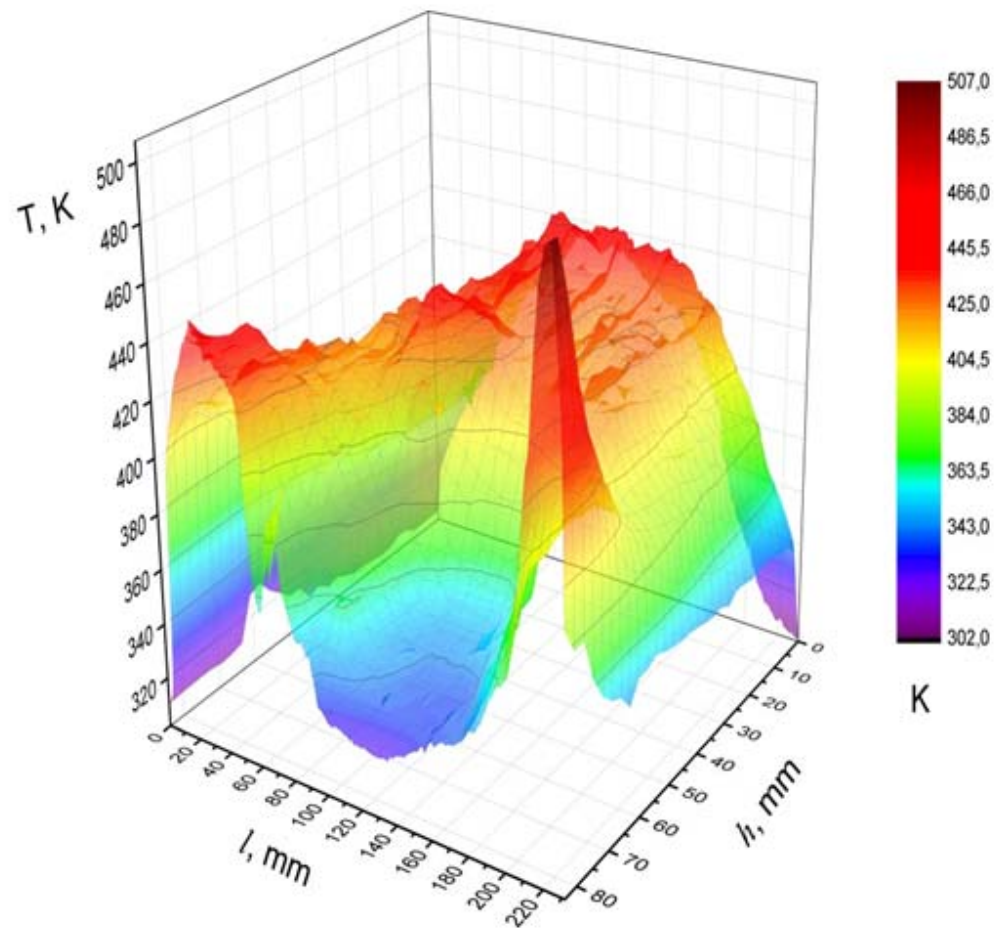


Результаты

Распределение температуры по поверхности образца сосны



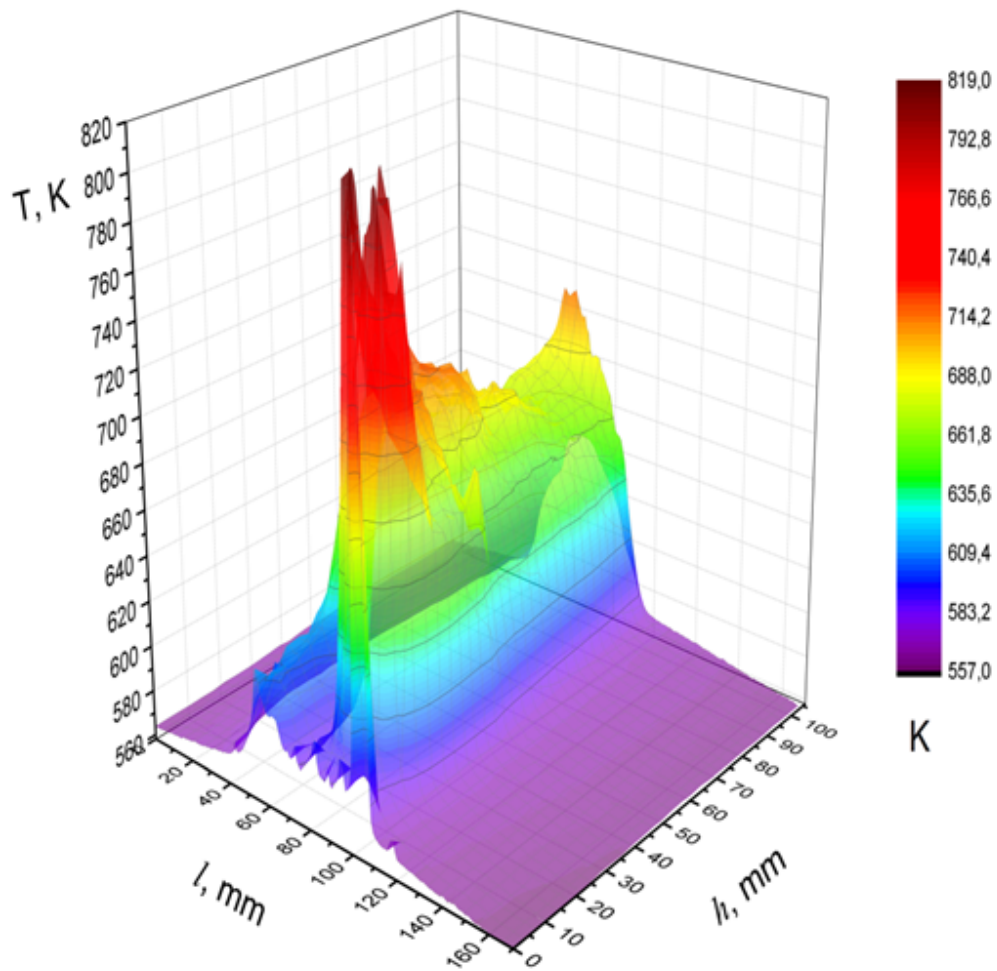
без обработки антипиреном



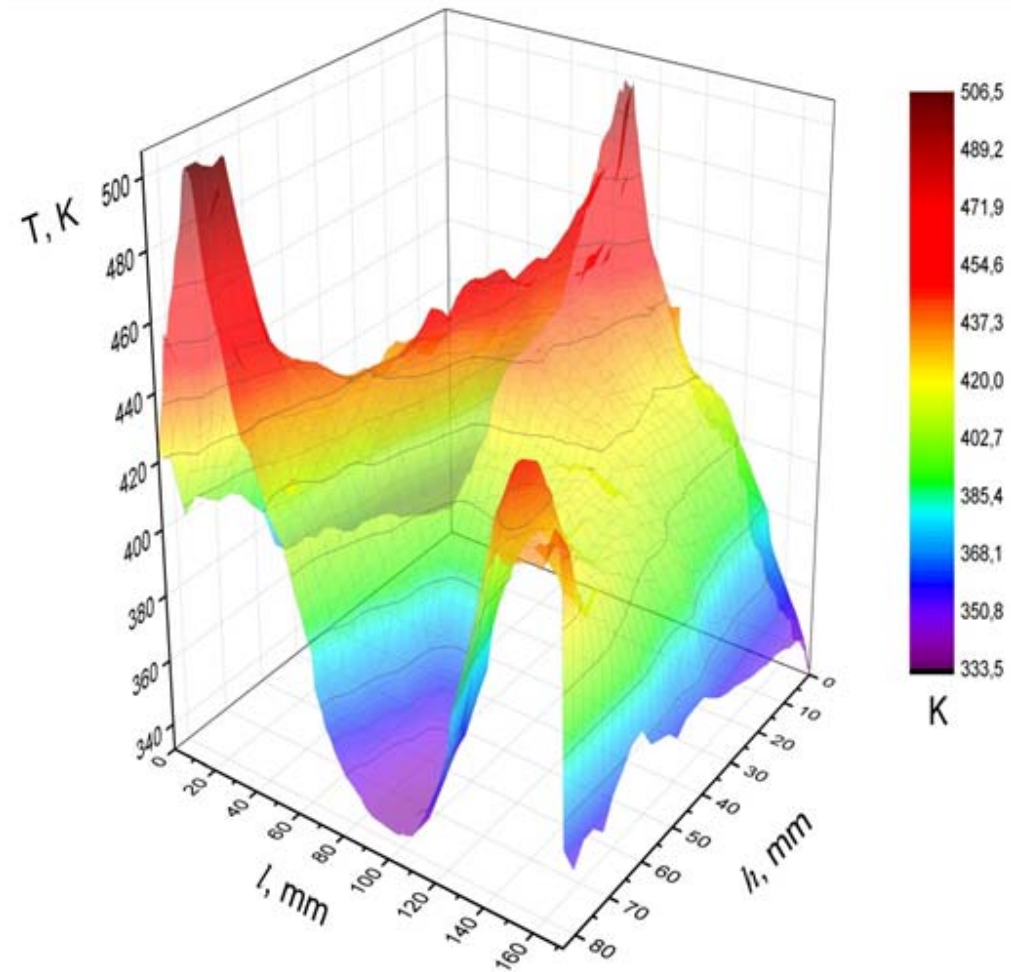
с обработкой антипиреном



Распределение температуры по поверхности образца осины



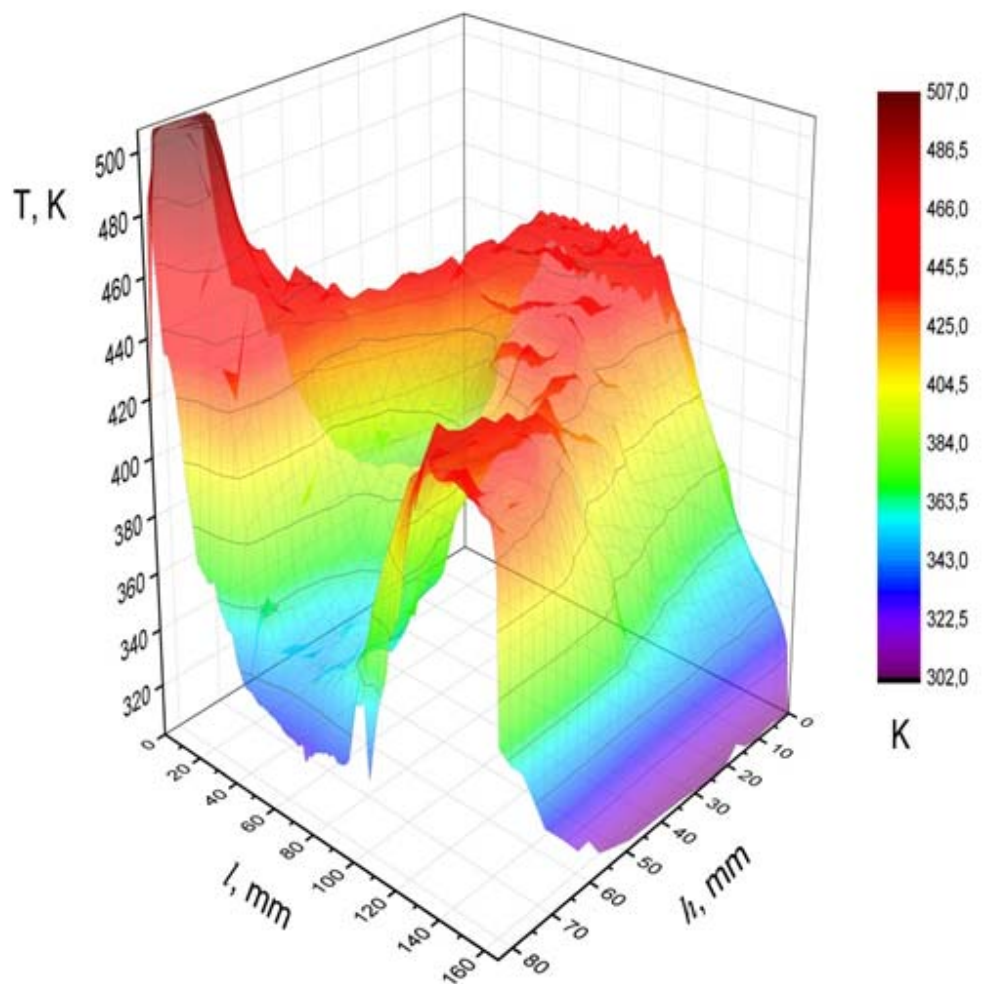
без обработки
антипиреном



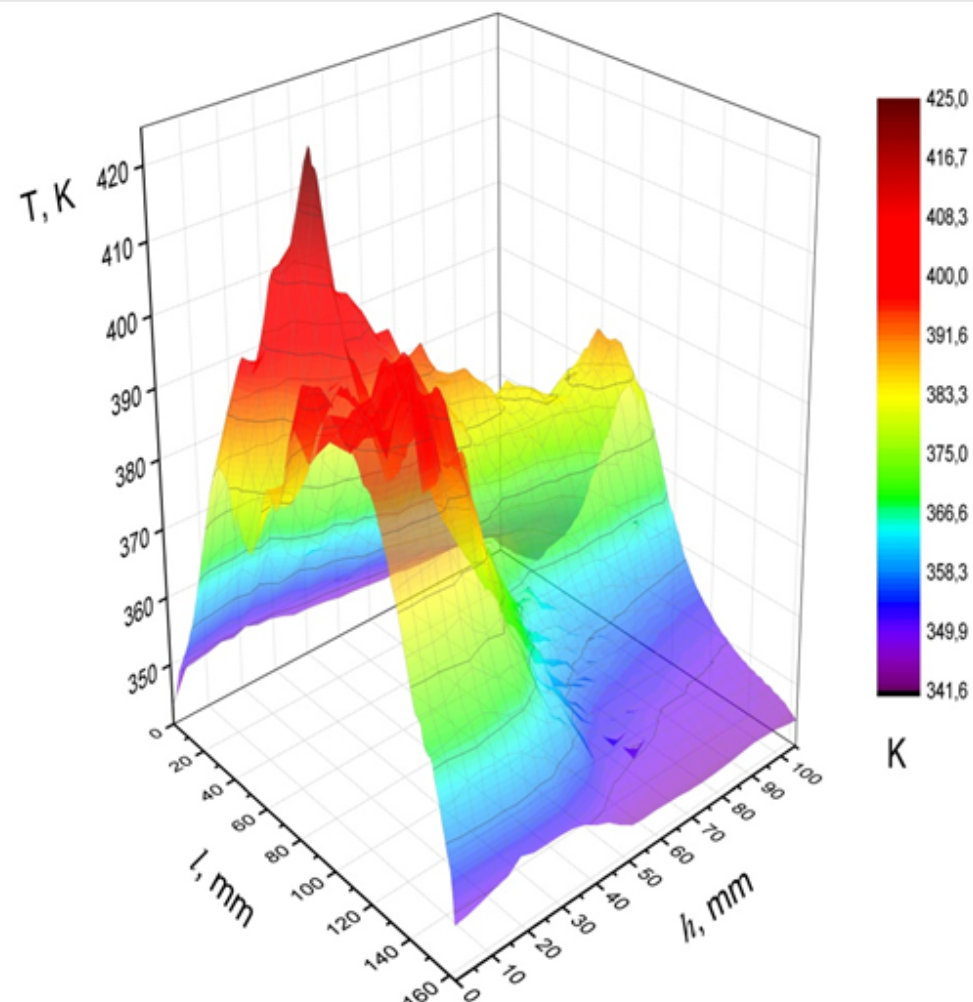
с обработкой
антипиреном



Распределение температуры по поверхности образца лиственницы



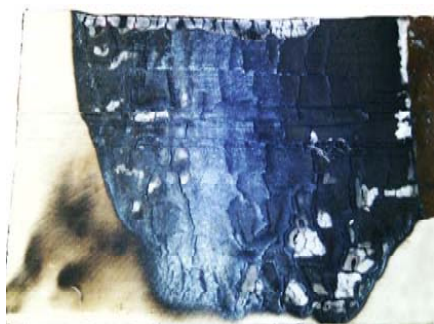
без обработки антипиреном



с обработкой антипиреном



(a)



(b)



(c)

Образцы древесины после эксперимента:
а – сосна; б – осина; с – лиственница

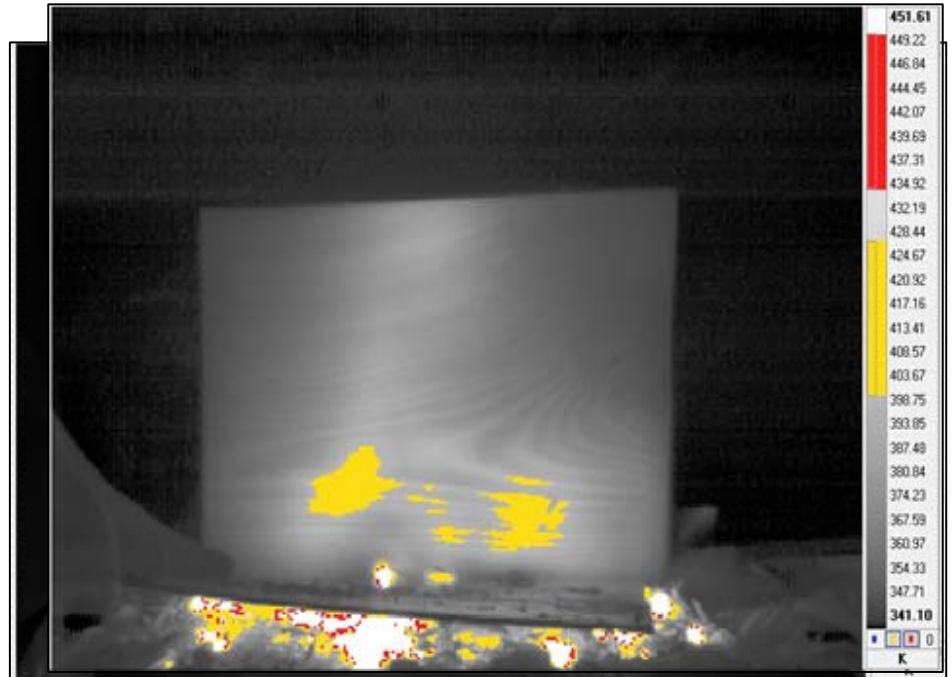
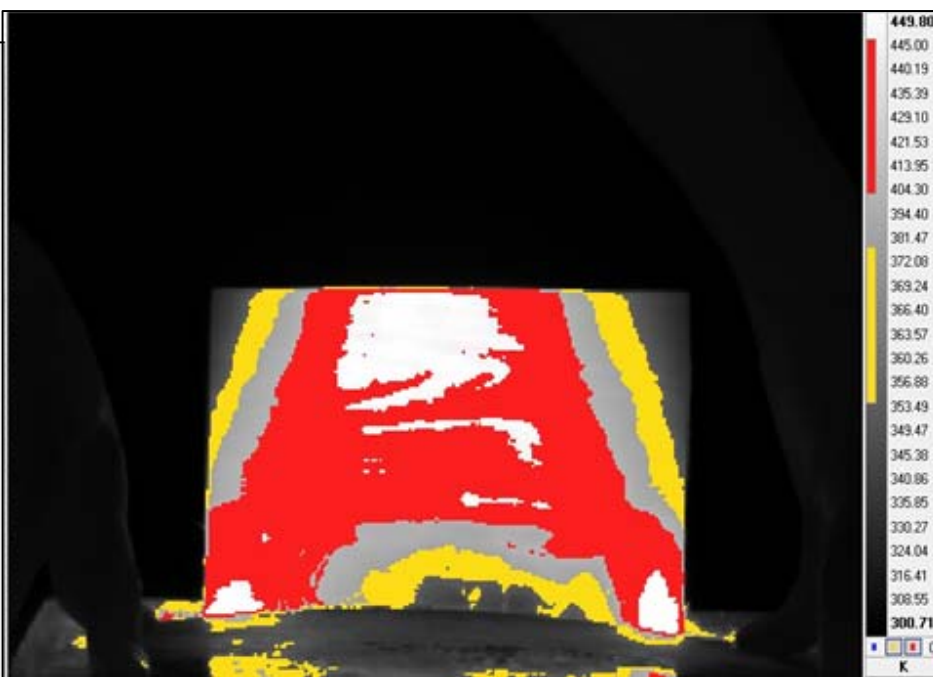
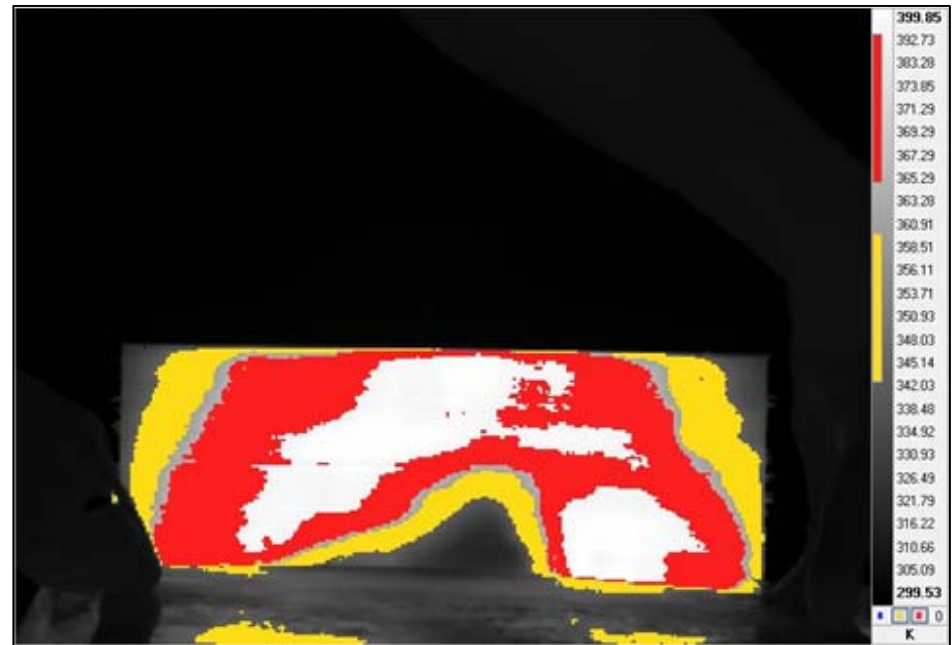
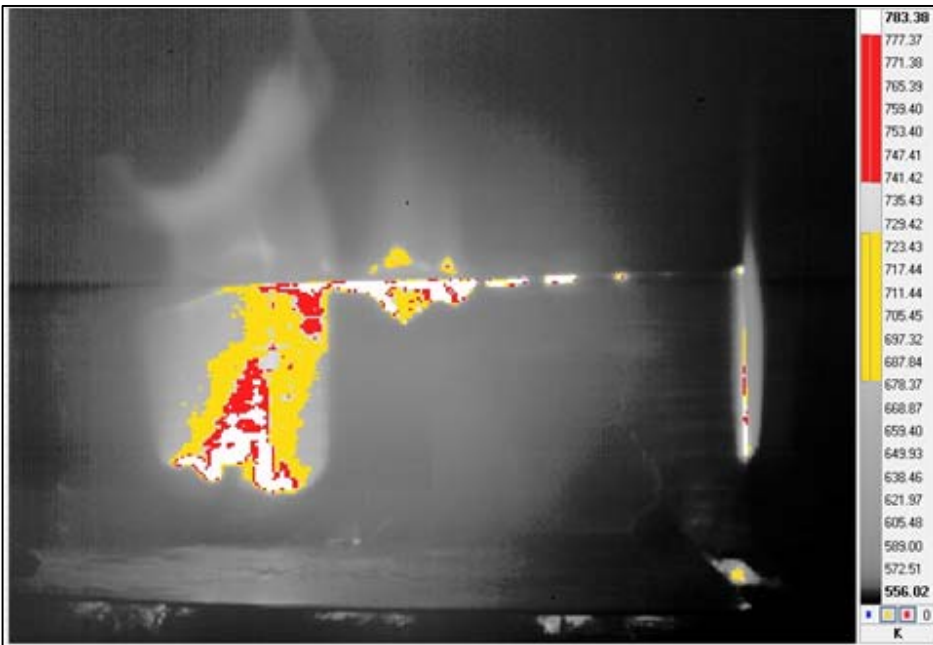
Максимальная температура, которая достигалась на поверхности исследуемых образцов

без покрытия, составляла: для лиственницы – 471 К, для осины – 800 К; для сосны – 820 К, а

с покрытием: для лиственницы – 410 К, для осины – 506 К;

для сосны – 456 К.

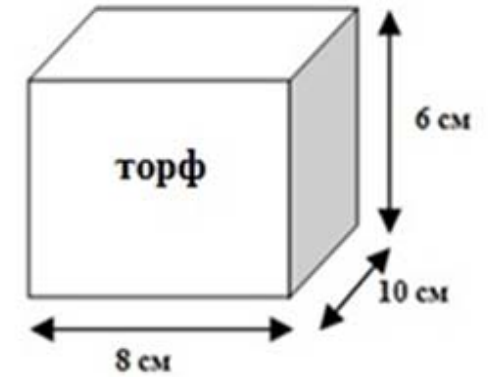
Анализ теплонапряженных участков на поверхности древесины: а – сосны; б – осины; с – лиственницы. Слева необработанная древесина, справа – с применением огнезащитной пропитки «ФУКАМ»



а

б

Экспериментальное исследование зажигания торфа от низового лесного пожара



Образцы торфа: слева – сосново-пушицевый; справа – травяно-сфагновый

$$M_{\text{торфа}} = 55,3 \text{ г}, M_{\text{ЛГМ}} = 20 \text{ г}, \text{Площадка ЛГМ} - (0,1 \times 0,08 \times 0,03) \text{ м}^3$$

$$W_{\text{торфа1}} = 4,5 \%, W_{\text{торфа2}} = 12,7 \%, W_{\text{ЛГМ}} = 5,5 - 5,7 \%, T_{\text{Н}} = 290 \text{ К}$$

В качестве образца ЛГМ – хвоя сосны.



Методика проведения эксперимента

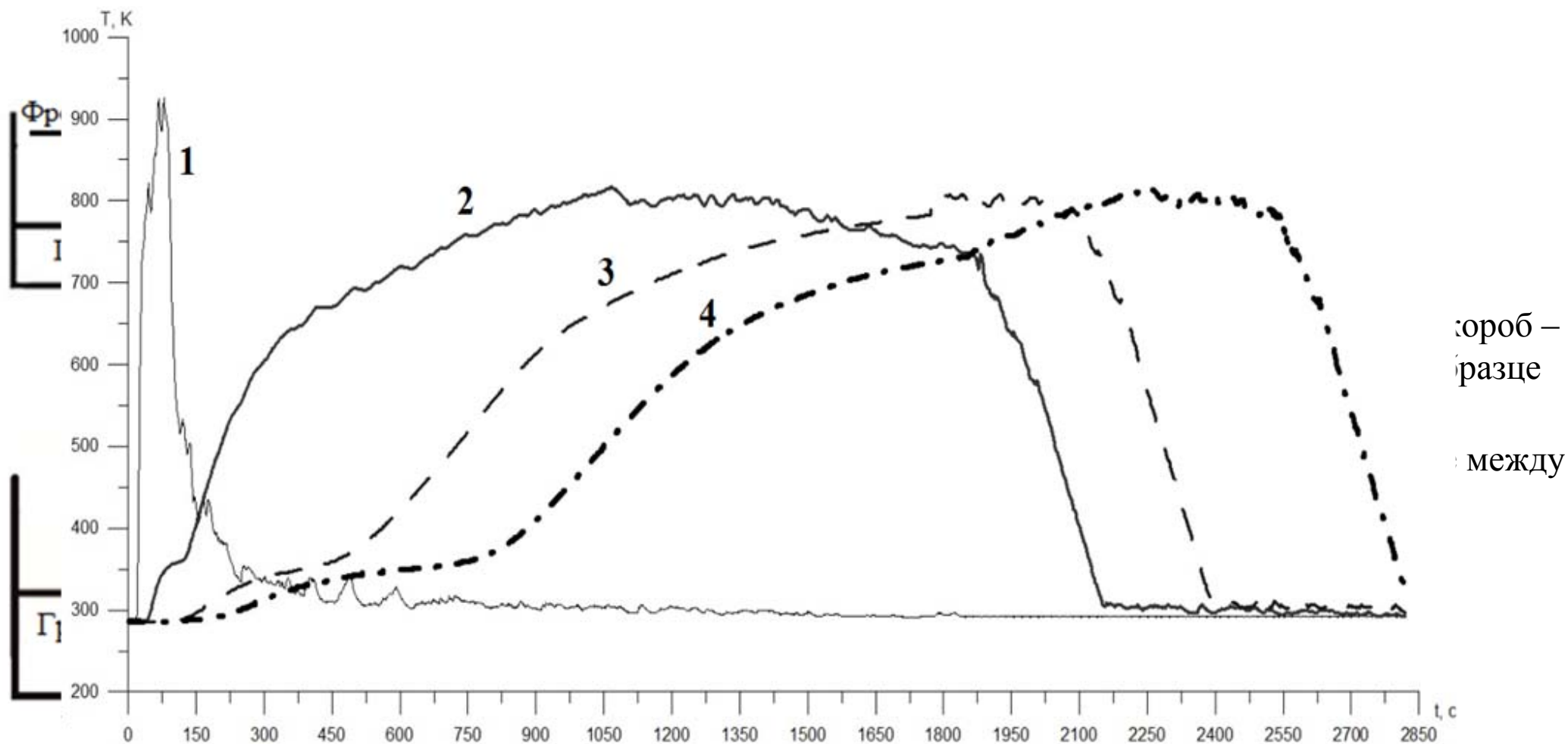
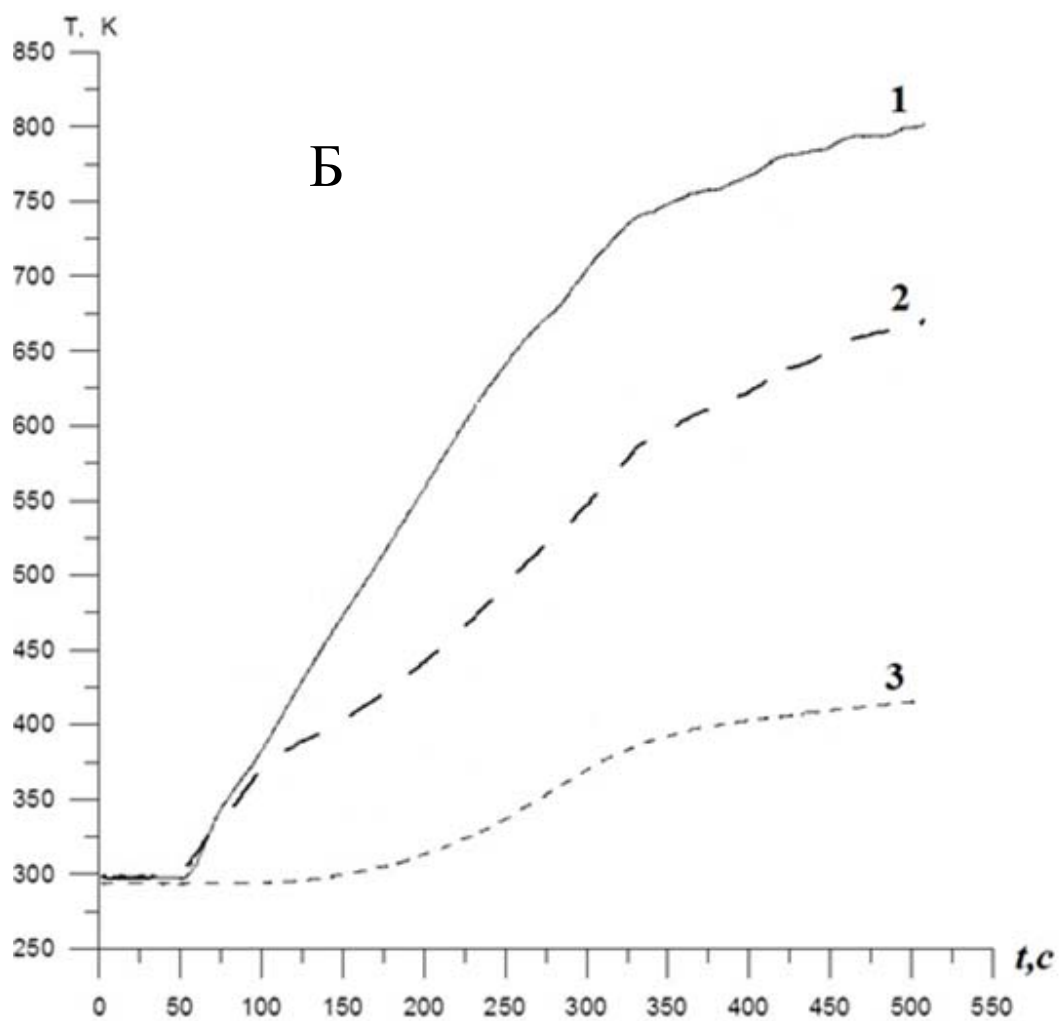
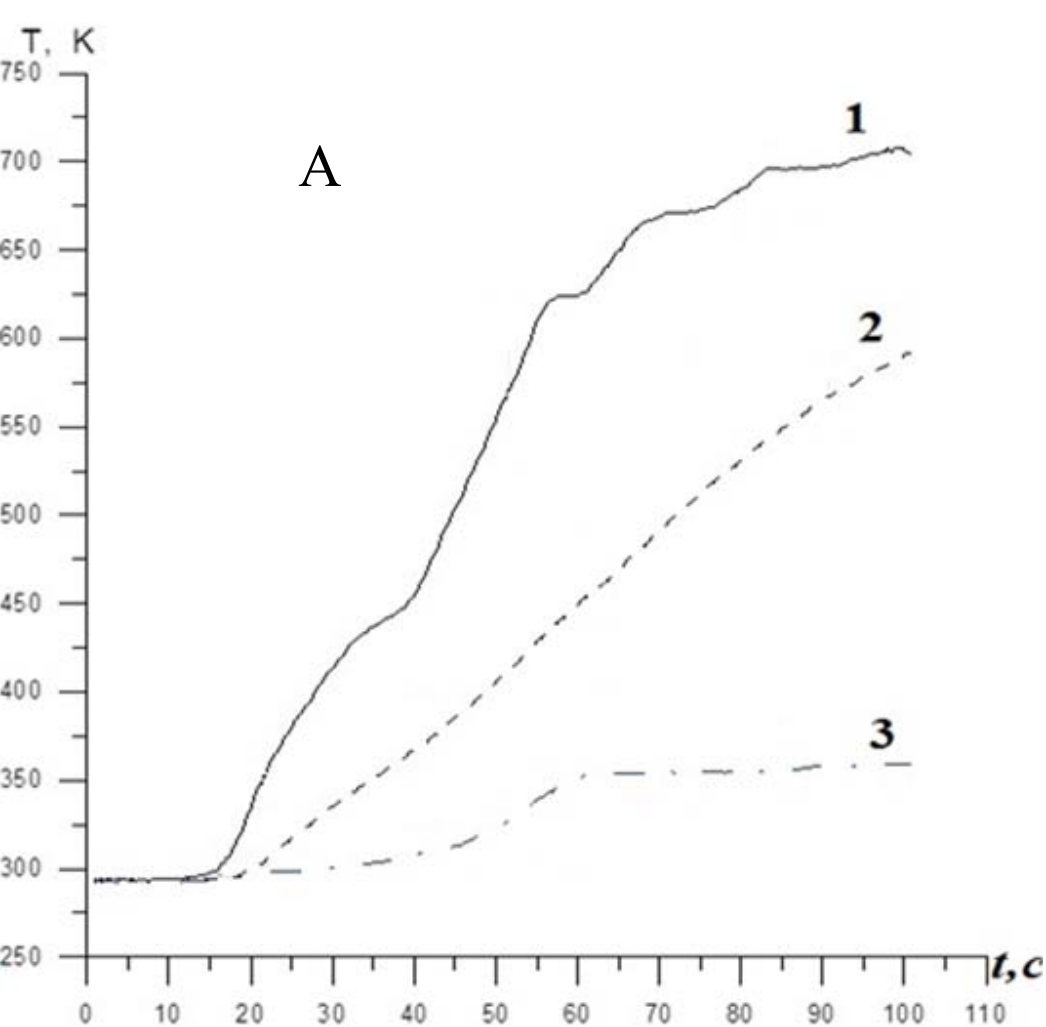
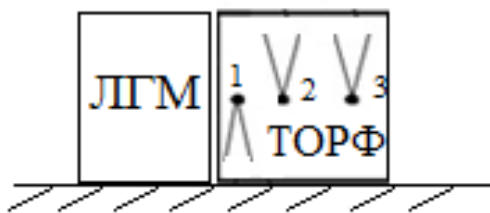


Рис. 3. Типичная картина распределения поля температур в слое ЛГМ и образце торфа



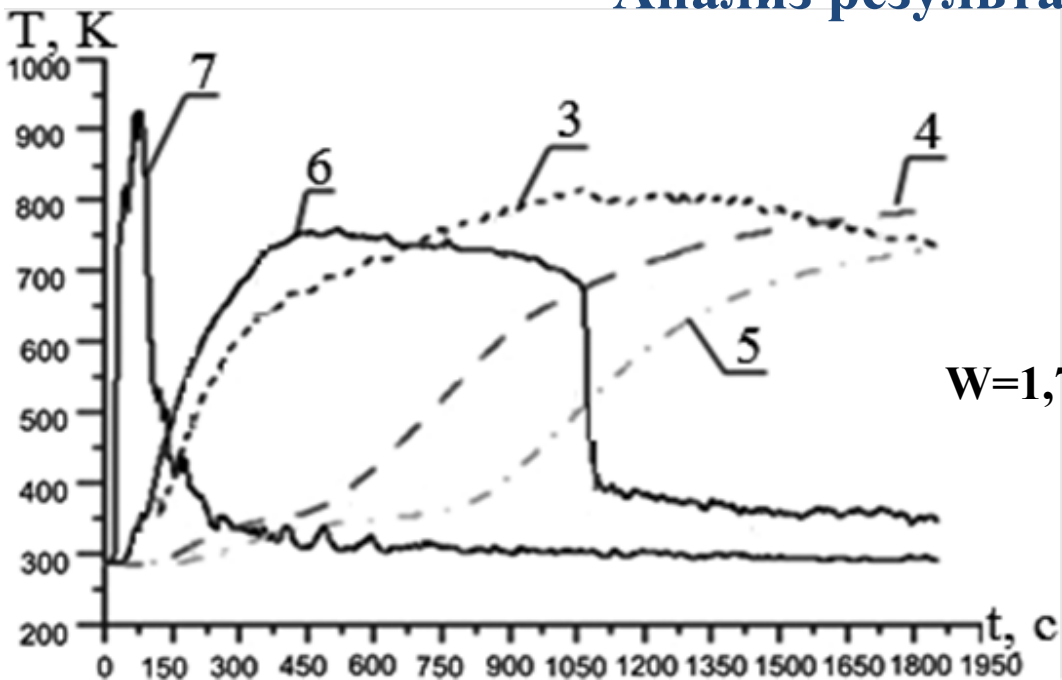
Зависимость изменения температуры в массе торфа от времени (*травяно-сфагновый вид торфа*).

№	W, %	Z, %	ρ , кг/м ³	v, мм/мин
Сосново-пушицевый	4,5	18	420	1,5
	12,7	18	409	1,7
Травяно-сфагновый	4,5	19	416	1,7
	12,7	19	397	1,8

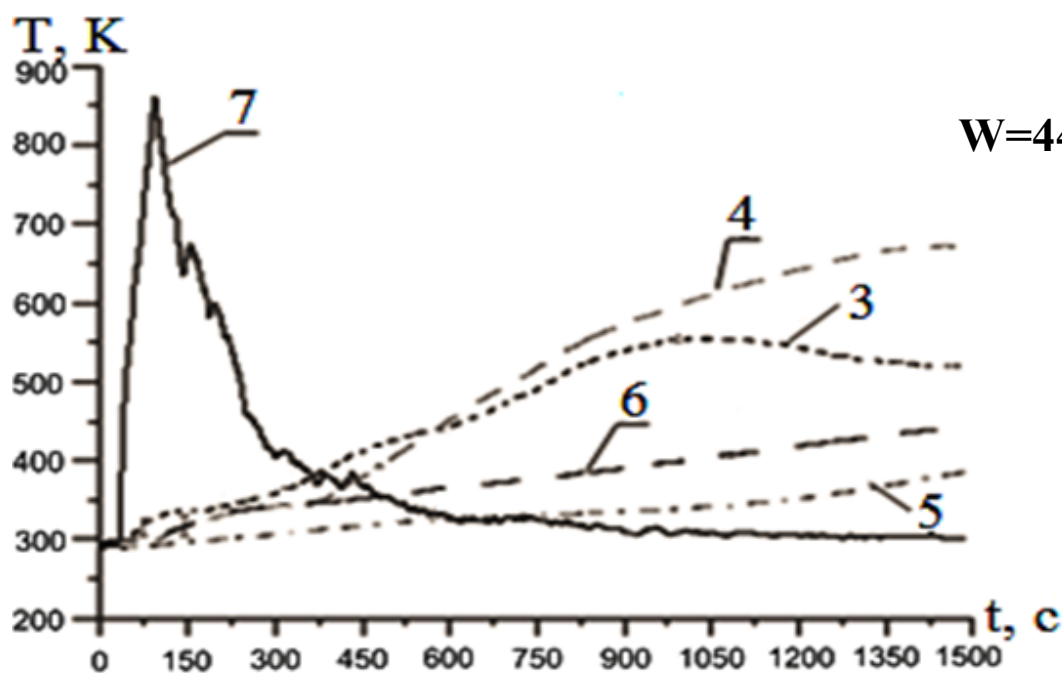
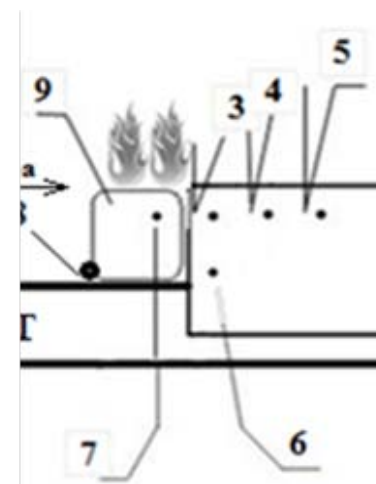


Скорость горения торфа в горизонтальной плоскости в зависимости от влагосодержания и ботанического состава **14**

Анализ результатов экспериментальных исследований

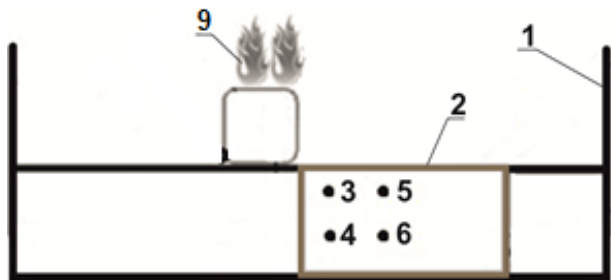
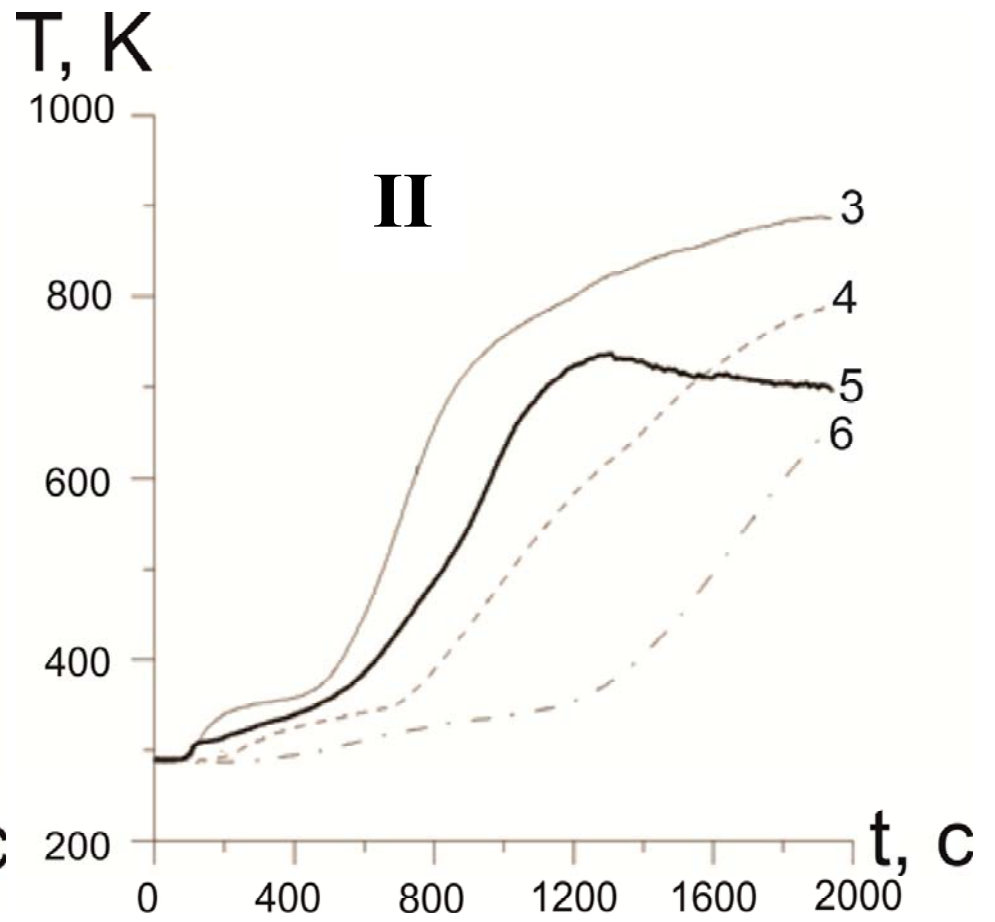
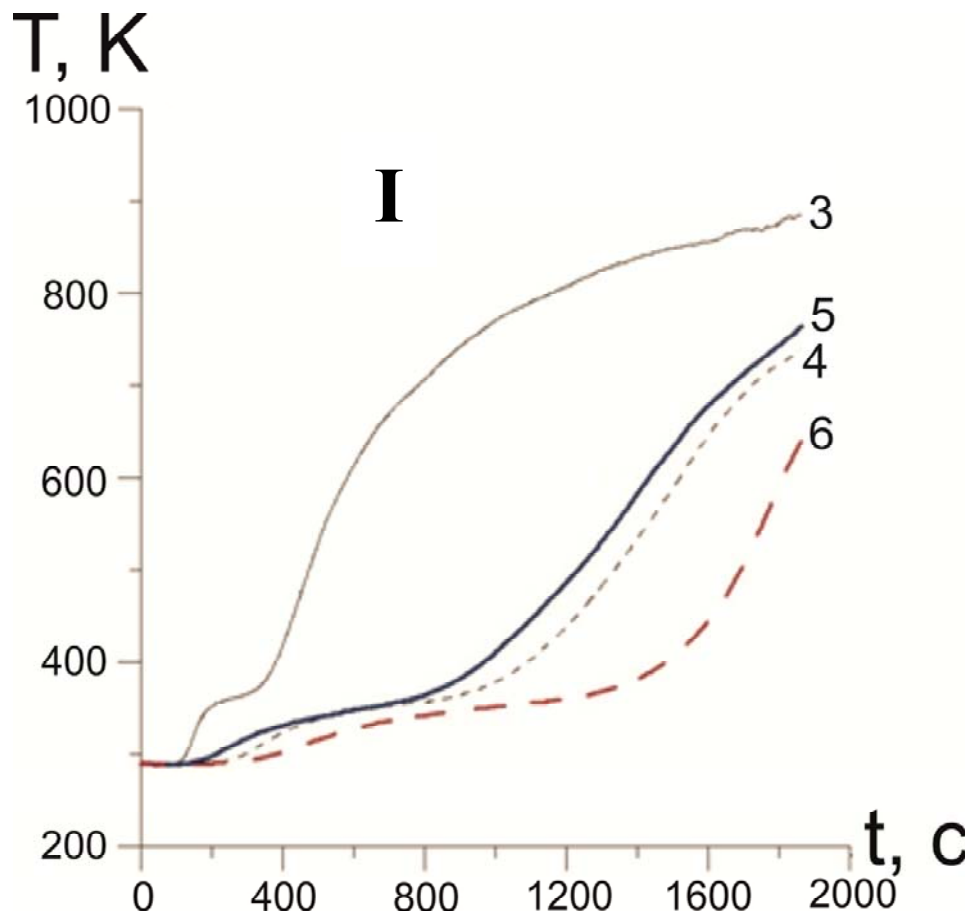


$W=1,7\%$

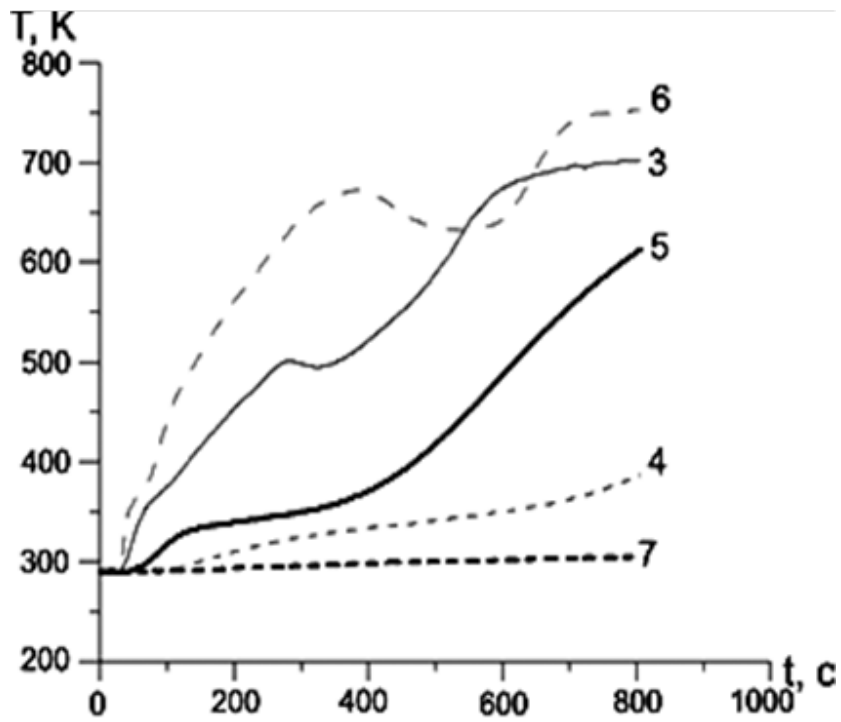


$W=44\%$

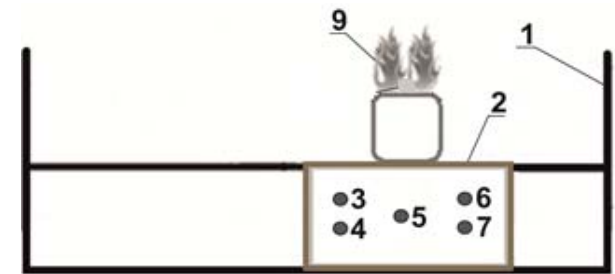
Зависимости изменения температуры от времени при переходе низового лесного пожара в торфяной: 3 – изменение температуры на границе ЛГМ–торф; 4, 5, 6 – изменение температуры в массе торфа; 7 – кривая зависимости температуры в образце ЛГМ



*I – сосново-пушицевый вид торфа, $W=1,7\%$;
 II – травяно-сфагновый вид торфа, $W=1,7\%$.*



Зависимость изменения температуры в слое торфа от времени.



Скорость горения торфа в зависимости от его влагосодержания и ботанического состава

Вид торфа	W, %	v, мм/мин		
		По горизонтали	По вертикали	По диагонали
Сосново-пушицевый	1,7	1,5	1,1	1,2
Травяно-сфагновый	1,7	1,7	1,4	1,55

Выводы

- В результате обработки полученных экспериментальных данных были установлены теплонапряженные участки на поверхности моделей деревянных конструкций в результате воздействия фронта низового лесного пожара, характерные размеры которых составляли: для лиственницы – 30×50 мм, для осины – 35×30 мм; для сосны – 20×50 мм.
- Максимальная температура, которая достигалась на поверхности исследуемых образцов без покрытия, составляла: для лиственницы – 471 К, для осины – 800 К; для сосны – 820 К, а с покрытием: для лиственницы – 410 К, для осины – 506 К; для сосны – 456 К.



Выводы

- Применение огнезащитных пропиток на примере огнезащитного состава «ФУКАМ» несомненно, повышает устойчивость древесины к воспламенению, что подтверждают данные по температуре на поверхности образцов после воздействия модельного очага горения.
- Экспериментально определено распространение фронта горения сосново-пушицевого и травяно-сфагнового типа торфа при различном расположении очага горения низового лесного пожара.
- Определено, что скорость горения по вертикали $v_{\text{верт}} = 1,4$ мм/мин и диагонали $v_{\text{диаг}} = 1,55$ мм/мин у травяно-сфагнового вида торфа, имеющего в своем составе преимущественно проводники горения (более 70%), выше, чем у сосново-пушицевого на 20% и 22% соответственно.



2 Исследование воздействия горящих частиц...

Целью является исследование в лабораторных условиях зажигания образцов деревянных конструкций в результате воздействия горящих частиц, а также влияния огнезащитных покрытий на пожароопасные свойства древесины. Поставленная цель достигалась в результате решения следующих **задач**:

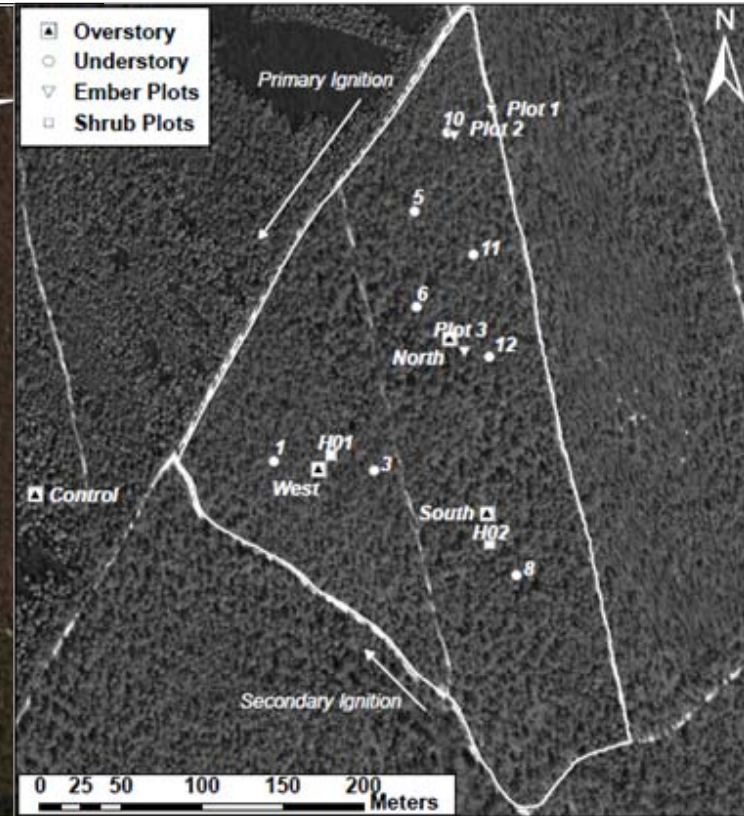
1. Подготовить лабораторную базу, которая позволит смоделировать воздействие горящих частиц коры сосны на образцы древесины.
2. Определить опытным путем вероятность воспламенения образцов древесины в зависимости от входных параметров эксперимента.
3. Определить задержки зажигания древесины в зависимости от размера и количества горящих частиц, наличия воздушного потока в зоне падения частиц, а также в зависимости от начальной температуры древесины.
4. Проанализировать влияние антипиренов на пожароопасные свойства древесины.



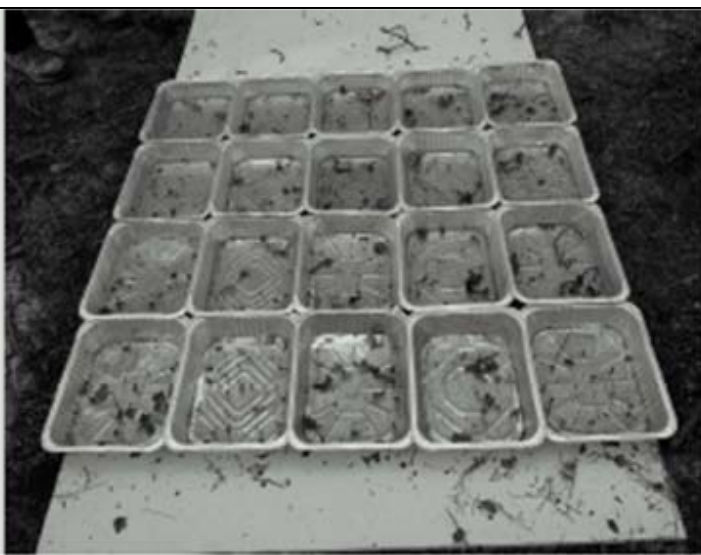
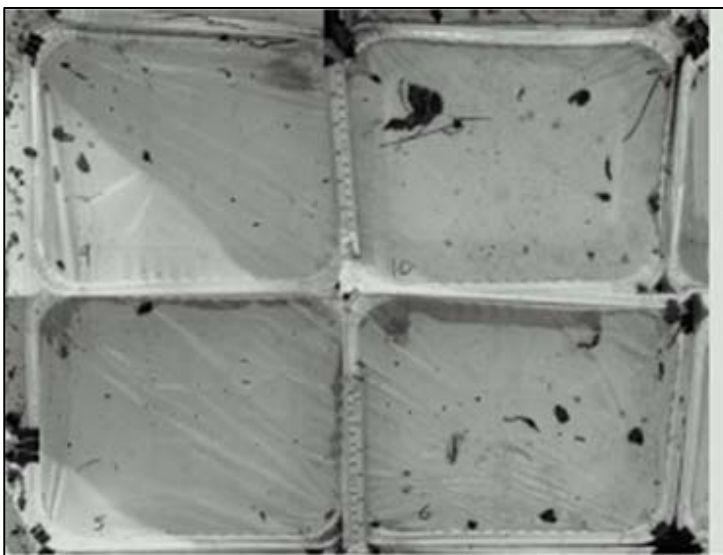
Натурный эксперимент (New Jersey Pinelands, USA, 2013 – 2015)

- ~15 acres
- Canopy
 - Pitch pine (*Pinus rigida* Mill.)
 - Scattered oaks (*Quercus* spp.)
- Understory
 - Shrub oak
 - Huckleberry (*Gaylussacia* spp.)
 - Blueberry (*Vaccinium* spp.)

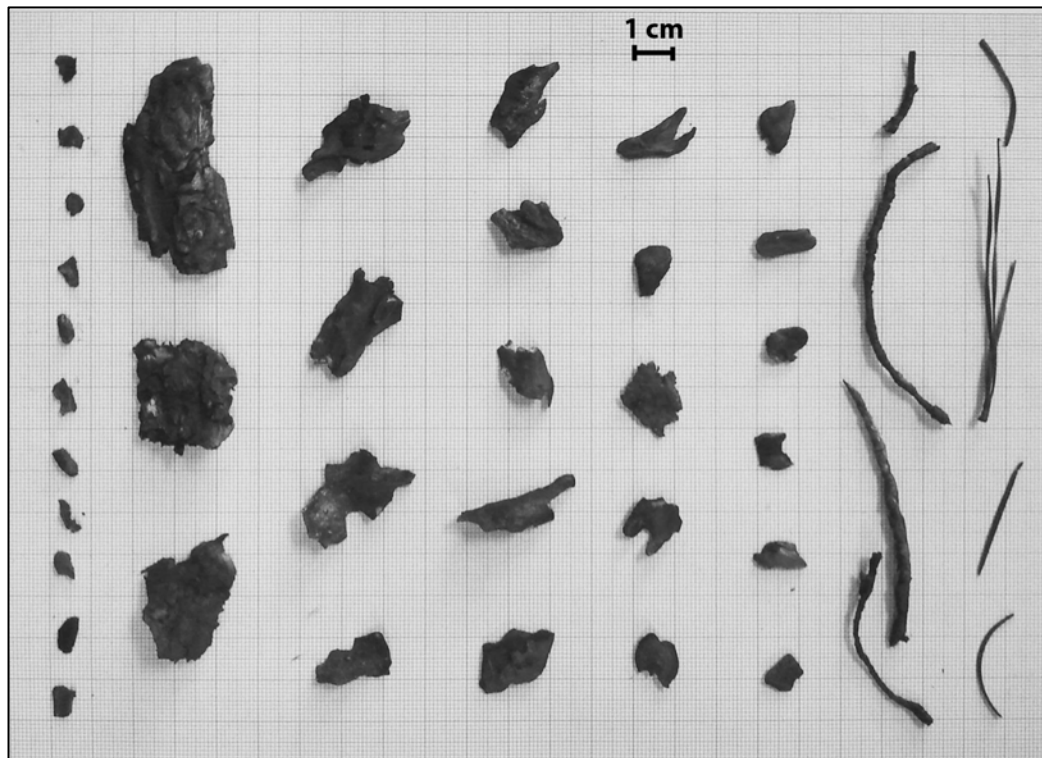
0 25 50 100 150 200
Meters



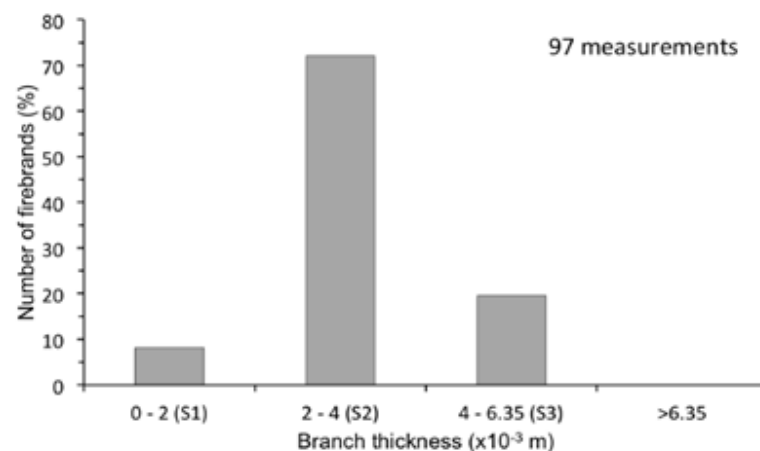
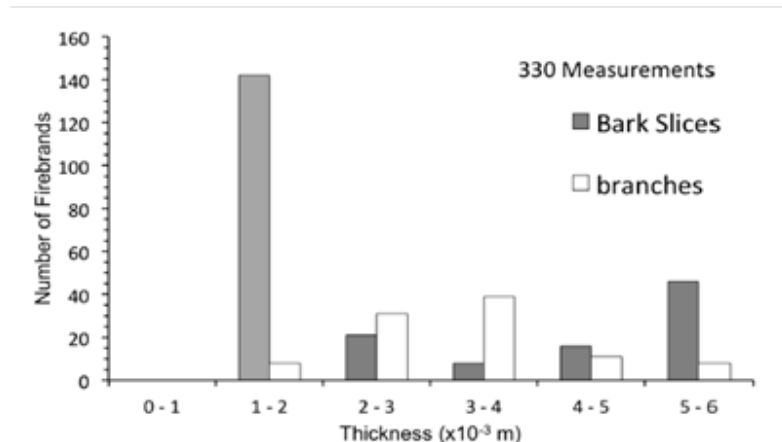
Методика сбора и анализа частиц



A. Filkov, S. Prohanov, E. Mueller, D. Kasymov, P. Martynov, M. El Houssami, Jan Thomas, N. Skowronski, B. Butler, M. Gallagher, K. Clark, W. Mell, R. Kremens, R. M. Hadden, A. Simeoni, Proceedings of the Combustion Institute (2016) [in Press, Corrected Proof], <http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2016.06.125>.

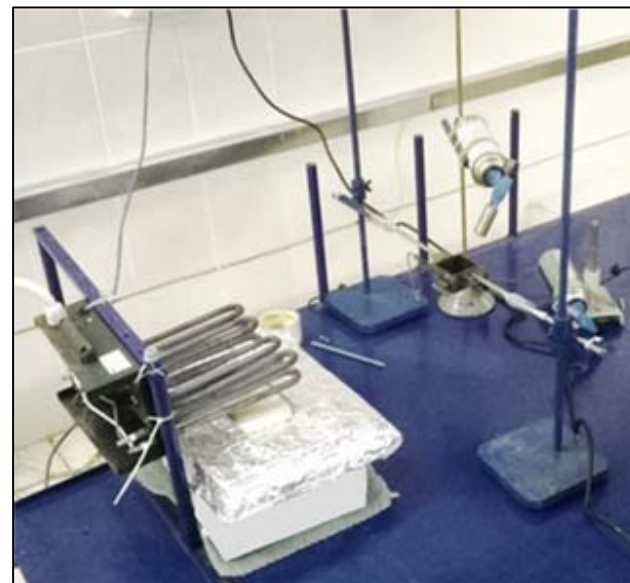
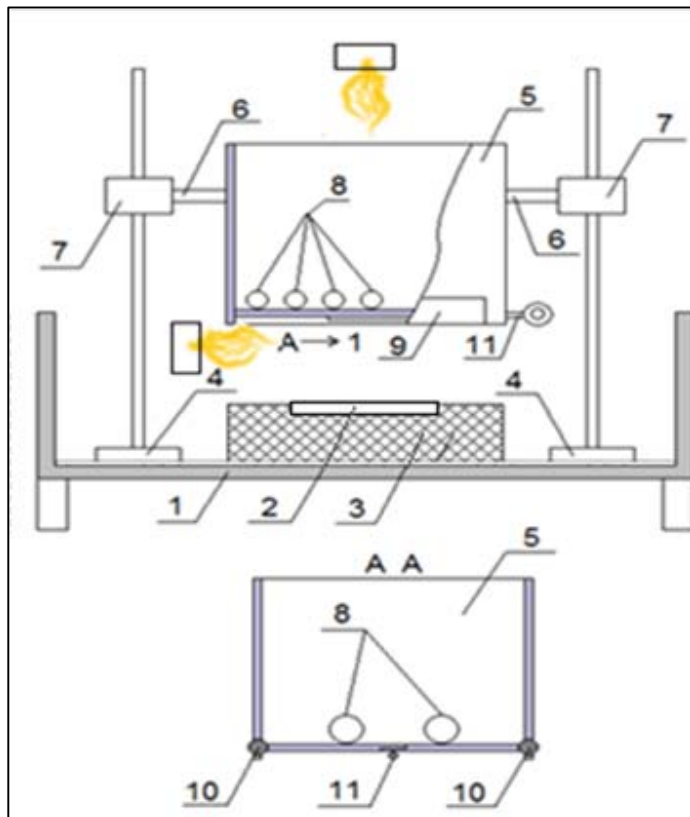


Типичные частицы растительных горючих материалов, собранные после натурального эксперимента



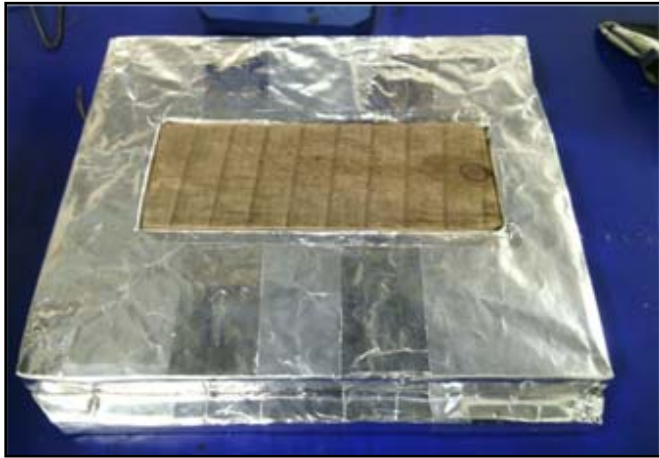
Представляет интерес исследование вероятности воспламенения и характеристик горения древесины в лабораторных условиях в результате воздействия горящих частиц, а также влияния огнезащитных материалов на ее пожароопасные свойства.

Лабораторное оборудование и методика проведения эксперимента



Конструктивная схема: 1 – поддон; 2 – древесина; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – штатив; 5 – кювета; 6 – скоба; 7 – фиксатор; 8 – образцы частиц; 9 – раздвигаемое дно; 10 – шарниры; 11 – стопор.

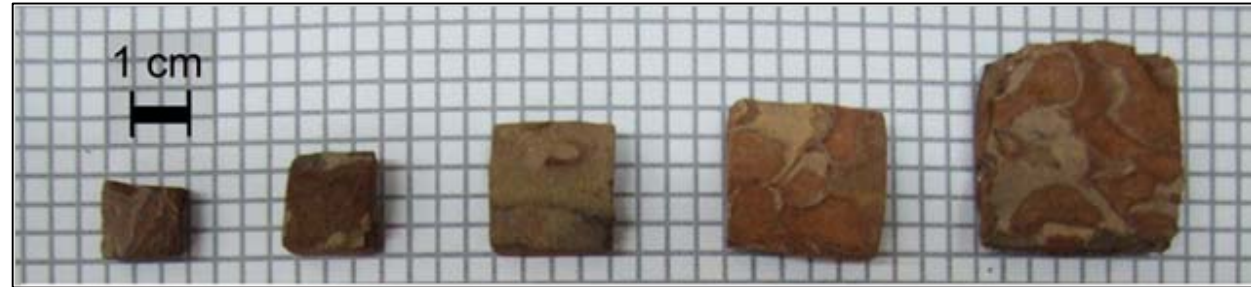
Стандартная используемая для строительства цельная сосновая доска с размерами $(0.23 \times 0.095 \times 0.022) \text{ м}^3$.



Фотография подготовленной к эксперименту древесины



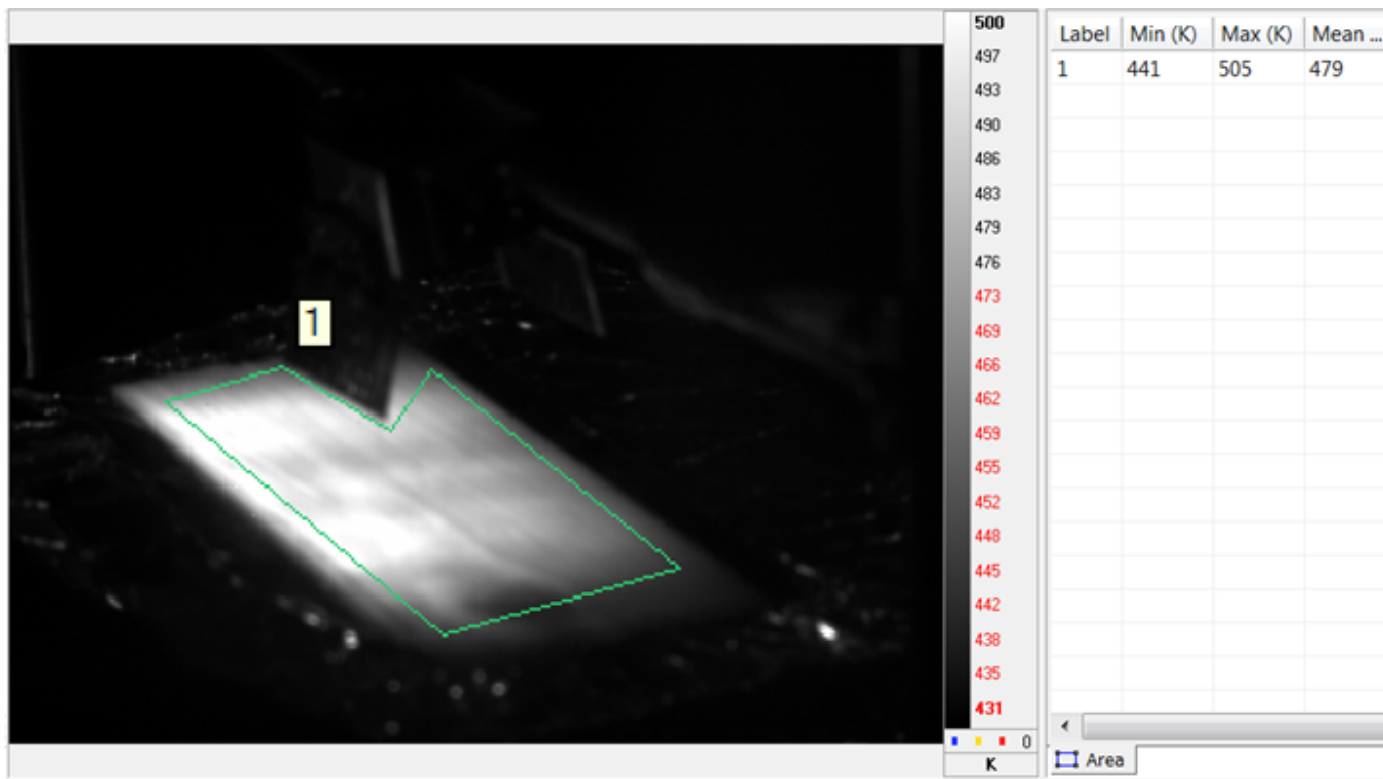
Нагревательный элемент



Экспериментальные образцы коры сосны

Масса образцов древесины составляла **290 г**, плотность древесины **520 кг/м³**. Исходное влагосодержание образцов древесины составляло **7,8%**, влажность коры сосны — **2,9%**. В экспериментах использовалась свежесобранная кора сосны с характерными линейными размерами $L = (10, 15; 20, 25, 30) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и толщиной $h = (4 \div 5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Размеры частей выбирались на основе данных

Кора сосны	Площадь, мм	Время воздействия, с
	10×10, 15×15, 20×20	12
	25×25 и 30×30	15



Нагрев осуществлялся в течение 4 мин, что позволяло достичь средней температуры на поверхности 475 ± 10 К.

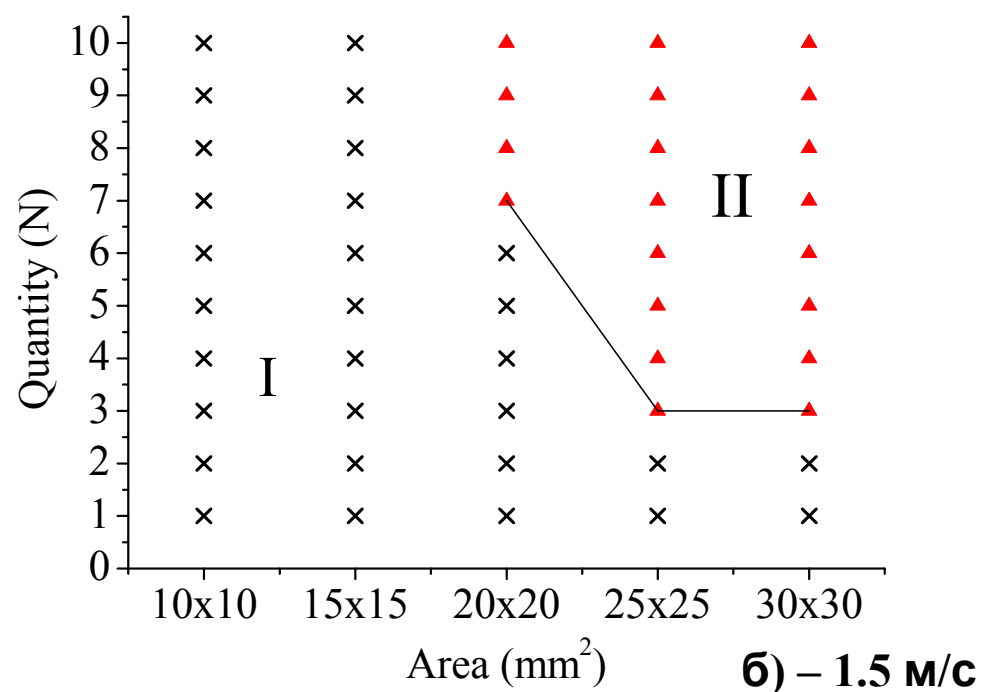
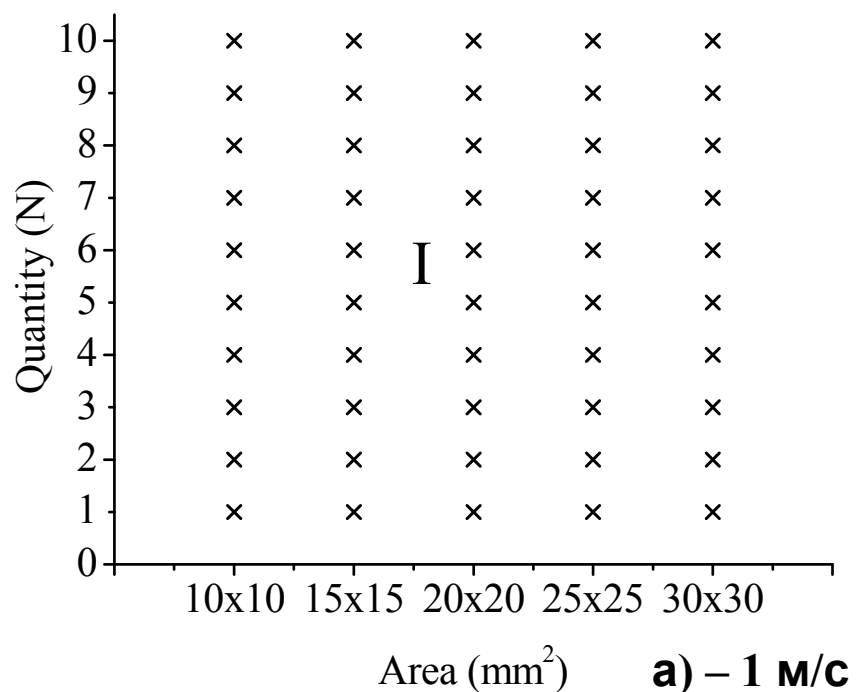


Расход средства ФУКАМ для обеспечения огнезащитных свойств (по ТР БП и НПБ 251 (ГОСТ 16363)) составлял около 400 г/м^2 , обеспечивающий II группу огнезащитной стойкости.

В качестве технологии пропитки древесины использовалась пропитка окунанием.

Влияние горящих частиц коры сосны на вероятность воспламенения предварительно нагретой поверхности образца древесины сосны

Результаты

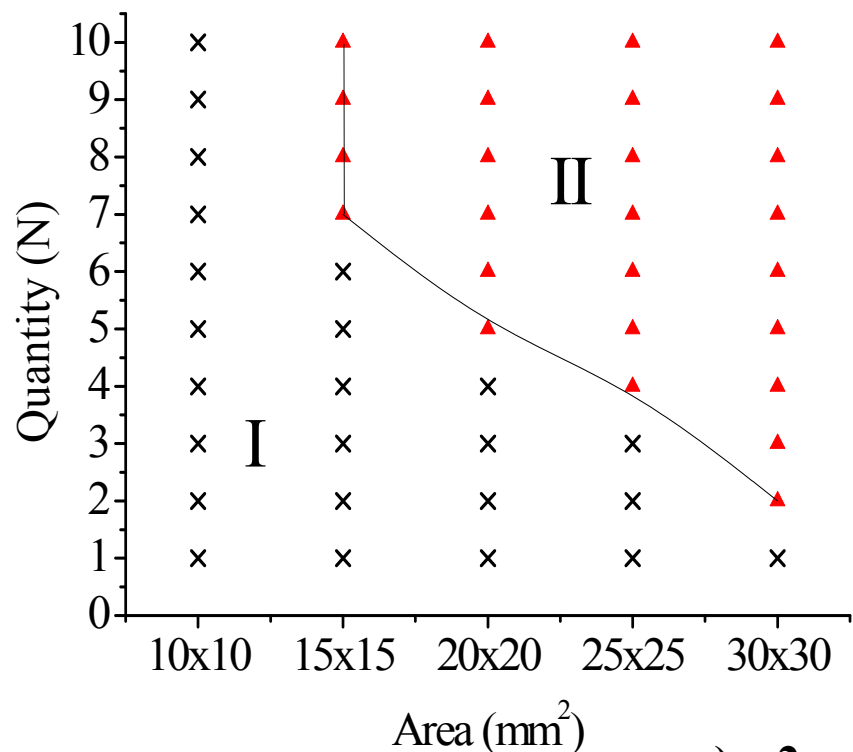


Из графиков видно, что существует две области: **I** – где воспламенения не происходит и **II** – где происходит воспламенение и последующее горение древесины;

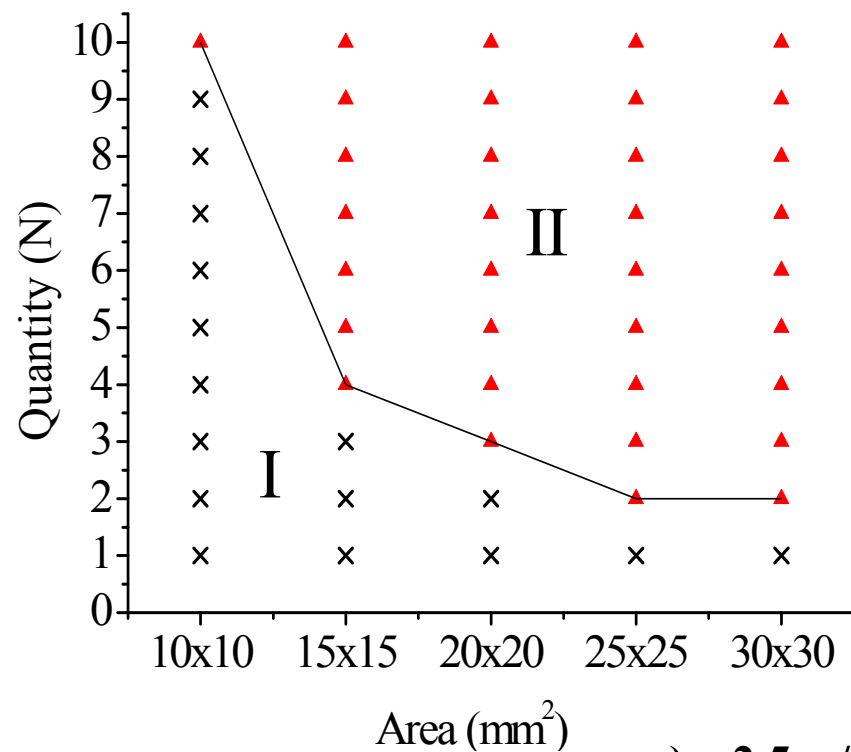
Момент зажигания фиксировался визуально с использованием видеокамеры Canon EOS R66.



Влияние горящих частиц коры сосны на вероятность воспламенения предварительно нагретой поверхности образца древесины сосны



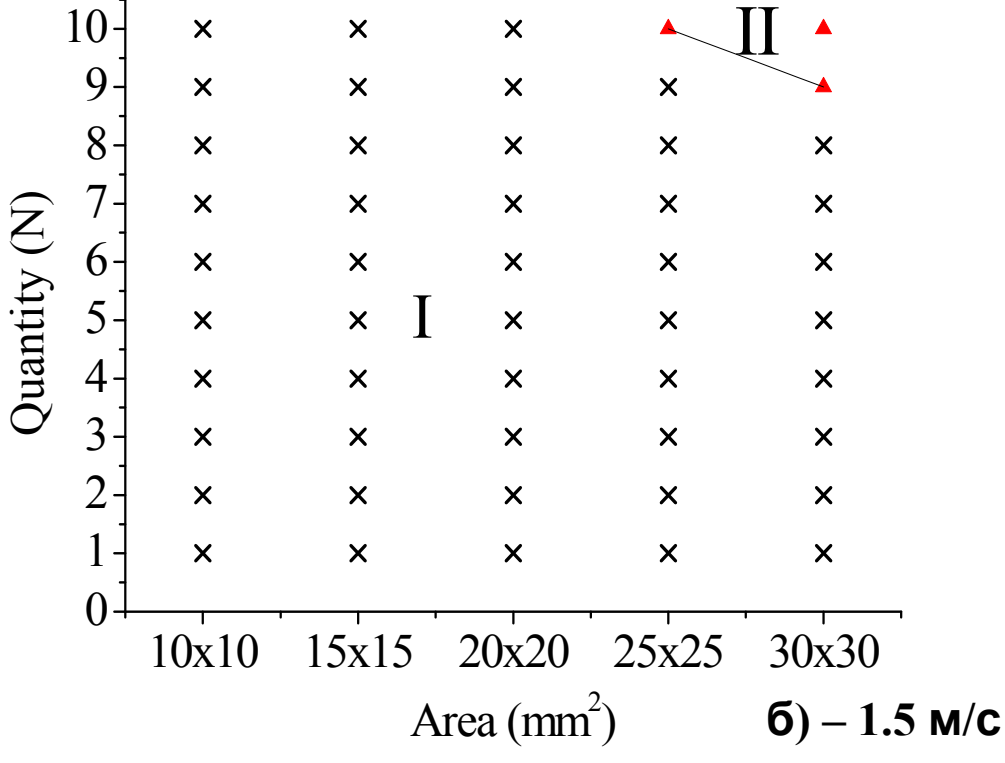
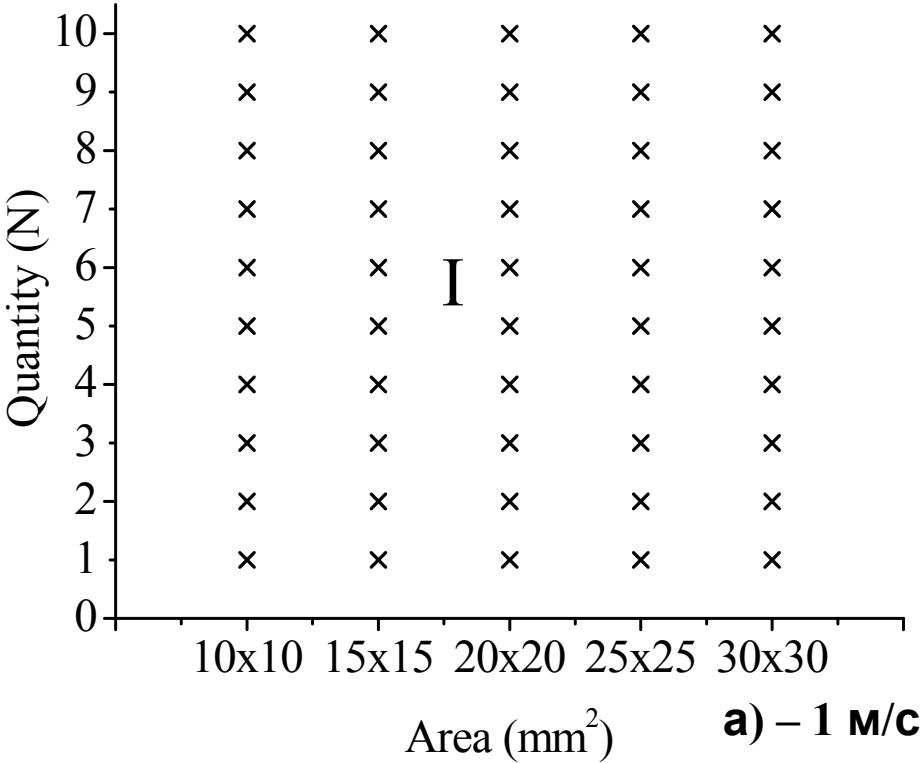
в) – 2 м/с



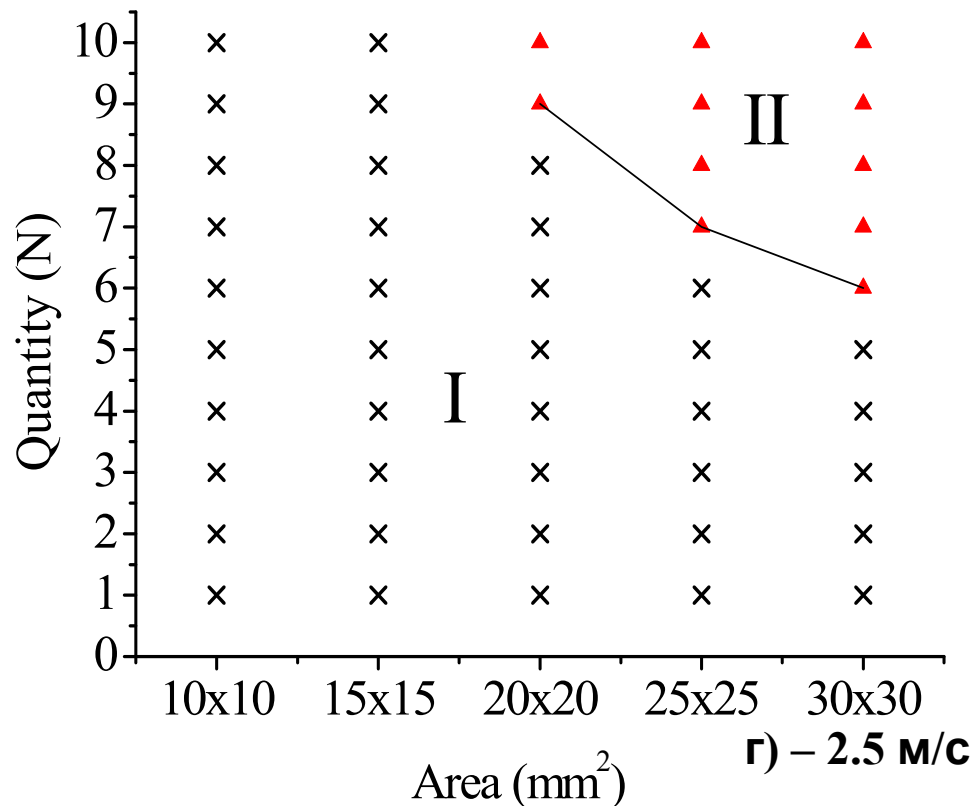
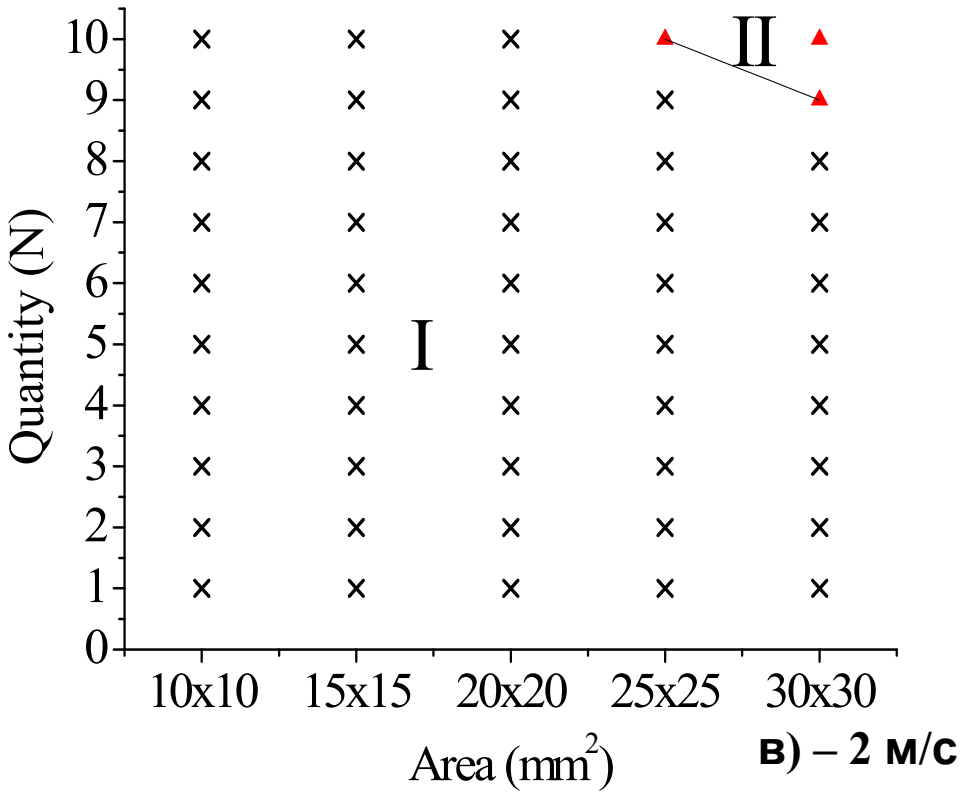
г) – 2.5 м/с

- Анализ графиков показывает, что с ростом скорости ветра вероятность воспламенения необработанной огнезащитным средством древесины частицами одного и того же размера растет.
- Также на процесс воспламенения древесины влияет количество частиц. Наблюдения показали, что воспламенение происходило в тех случаях, когда упавшие на неё частицы под воздействием воздушного потока начинали гореть в пламенном режиме, после чего горение переходило на древесину.

Влияние горящих частиц коры сосны на вероятность воспламенения предварительно нагретой поверхности образца древесины сосны, обработанной огнезащитным средством «ФУКАМ»



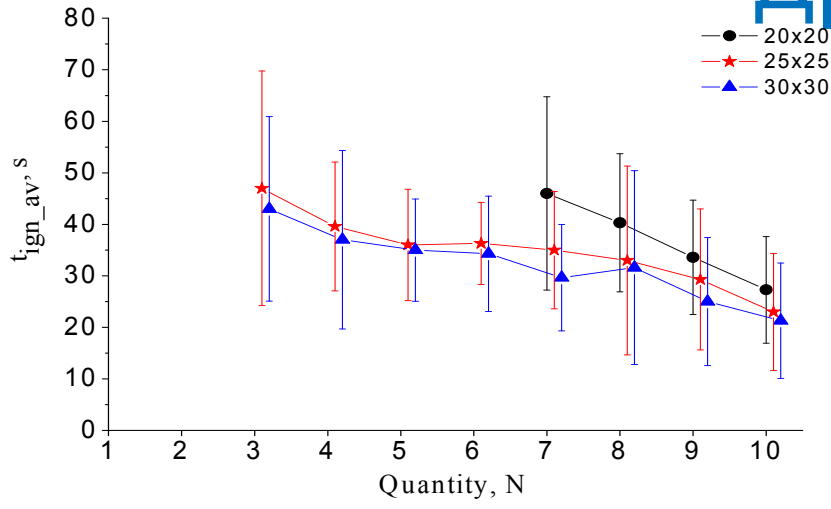
Влияние горящих частиц коры сосны на вероятность воспламенения предварительно нагретой поверхности образца древесины сосны, обработанной огнезащитным средством «ФУКАМ»



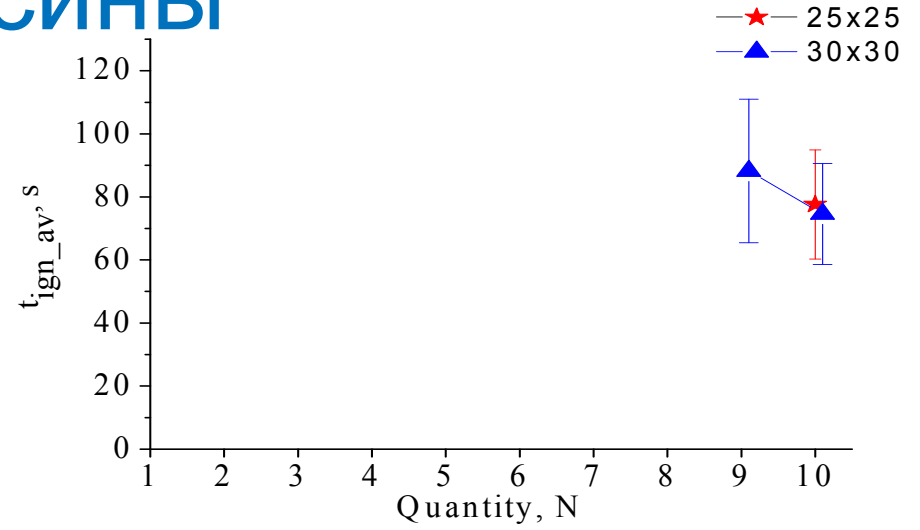
- Анализируя результаты по воздействию тлеющих частиц коры сосны на древесину, обработанную огнезащитным составом, отмечено, что лишь в нескольких случаях при скоростях 1.5÷2.5 м/с продолжительное воздействие пламени от раздуваемых воздушным потоком частиц приводило к воспламенению древесины.
- Установлено, что, воспламенение поверхности осуществляется частицами, геометрические размеры которых превышают $25 \cdot 10^{-3}$ м

Задержки воспламенения

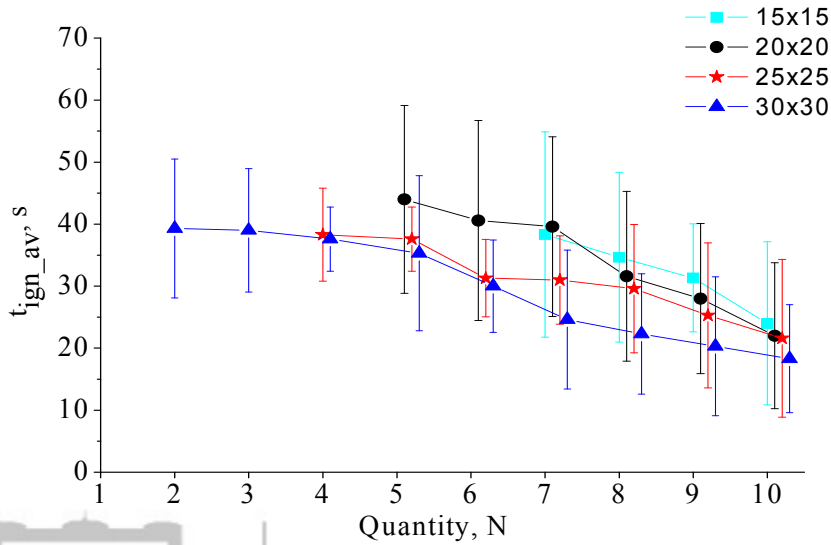
Древесины



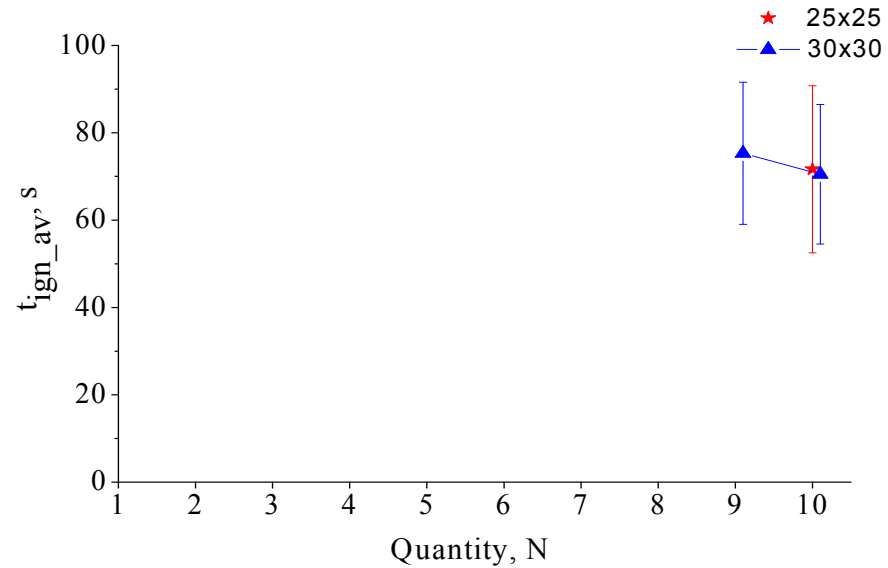
1.5 м/с



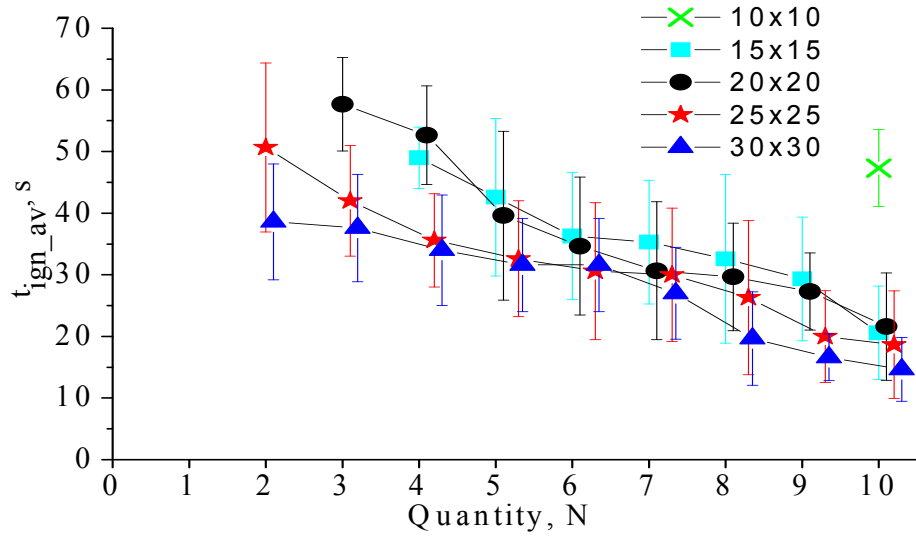
Необработанная древесина



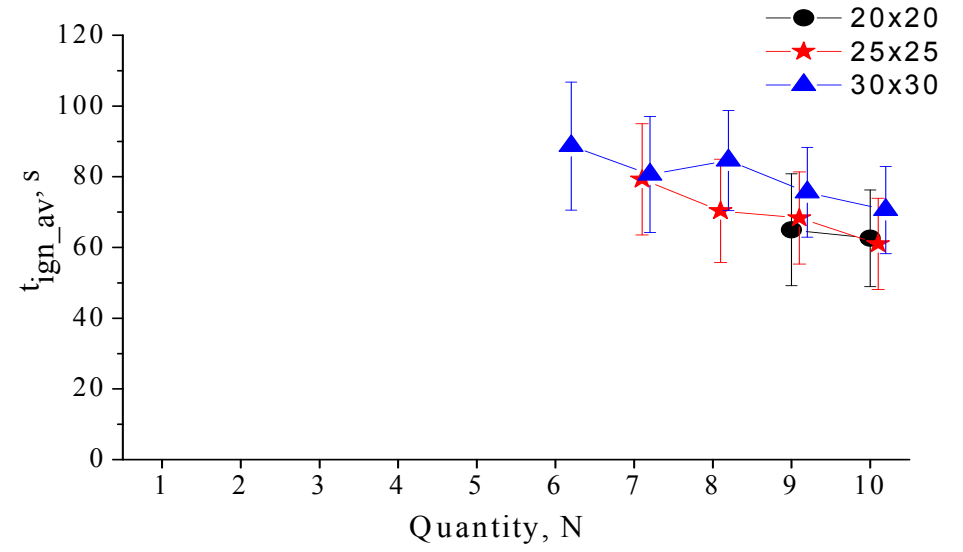
2 м/с



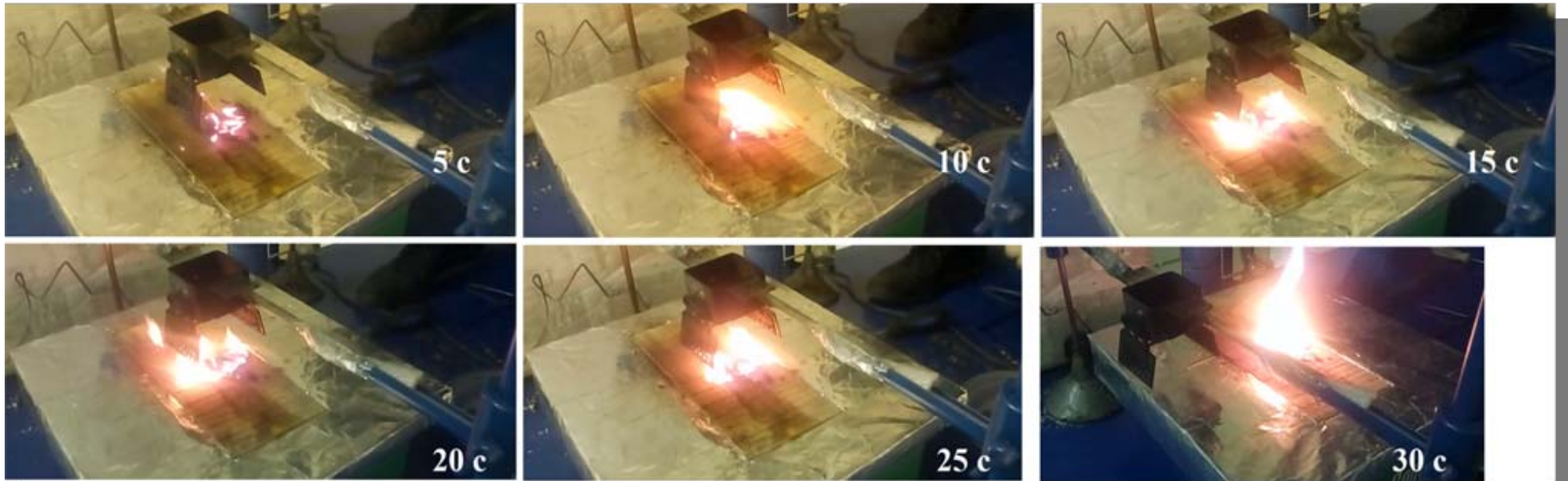
2,5 м/с

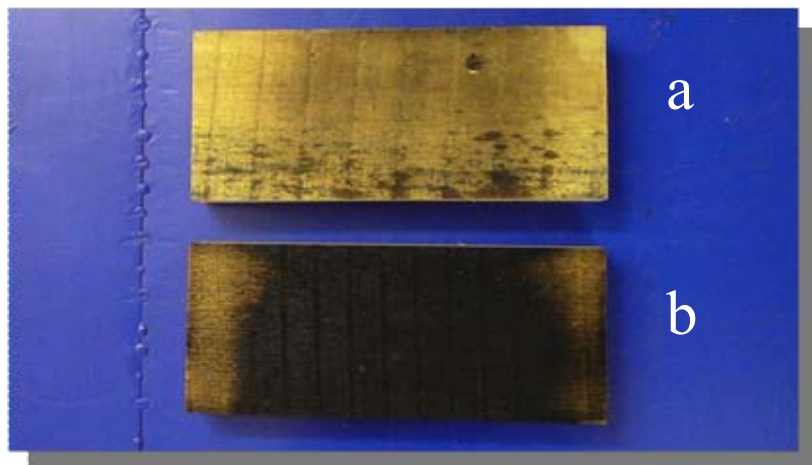


Необработанная древесина



Фукам





Отмечено, что воздействие теплового потока, генерируемого нагревателем, в случае с древесиной, обработанной огнезащитным составом (b), приводило к ее обугливанию в отличие от необработанной древесины (a)



Типичная группа снимков воздействия тлеющих частиц на образец древесины, обработанный огнезащитной пропиткой (на фотографиях 5 частиц размером $30 \cdot 10^{-3}$ м при скорости ветра 2.5 м/с)

Выводы

- Подготовлена и апробирована лабораторная установка, позволяющая проводить исследования влияния горящих частиц на образцы древесины.
- Анализ полученных данных показал, что с ростом скорости ветра вероятность воспламенения древесины частицами одного и того же размера растет. Также на процесс воспламенения древесины влияет количество частиц.
- При выбранных параметрах эксперимента образцы сосновой древесины, обработанные средством «ФУКАМ», оказались преимущественно невосприимчивыми к воздействию тлеющих частиц коры сосны (вплоть до 10 тлеющих частиц размером $25 \cdot 10^{-3}$ м) и скорости ветра (до 2 м/с).
- В рамках условий постановки эксперимента определена эмпирическая величина, равная общей площади тлеющих частиц коры сосны, нормированная на скорость ветра, при которой происходило воспламенение (1.5 м/с), которая составила 24 ± 5 см² для предварительно нагретой древесины сосны и 72 ± 9 см² для доски, обработанной огнезащитным средством «ФУКАМ». Кроме того, занятая тлеющими частицами поверхность при воспламенении составляла ~11 % для обычной древесины и ~33 % для обработанной «ФУКАМ».
- Результаты экспериментов показывают, что влияние огнезащитной пропитки «ФУКАМ» существенно повышает защитные свойства древесины при воздействии на нее тлеющих частиц коры сосны.

Спасибо за
внимание!

