

УДК 351.861:504.064:614.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАННЕМ ОБНАРУЖЕНИИ ВОЗГОРАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ОБЪЕКТОВОЙ ПОДСИСТЕМОЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УКРАИНЕ

А.А. ЛЕВТЕРОВ, В.В. ТЮТЮНИК, В.Д. КАЛУГИН, С.В. ОЛЬХОВИКОВ

На основе результатов аналитического исследования амплитудно-частотных спектров акустической эмиссии (АЭ) процесса горения целлюлозосодержащих материалов различного физико-химического состава предлагается использовать этот эффект при раннем обнаружении возгорания на объектах с большим содержанием в различных материалах и изделиях целлюлозы (ткани, ковровые изделия, мебель, пиломатериалы, медицинские перевязочные материалы, белье и т.п.). Установленные эффекты АЭ для целлюлозосодержащих материалов использованы при конструкторской разработке установки для записи, фильтрации и аналитической обработке спектров, которая органически входит в структуру объектовой подсистемы универсальной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) в Украине.

Ключевые слова: целлюлозосодержащие материалы, процесс горения, акустическая эмиссия процесса горения, характеристические спектры, фильтрация спектра от шумов, измерительная установка, раннее обнаружение возгорания, подсистема универсальной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-прикладные исследования по обеспечению эффективного мониторинга очагов пожарной опасности на различных уровнях жизнедеятельности природно-техногенно-социальной системы Украины являются актуальными [1 – 9].

С учетом сказанного, целью наших исследований является развитие научно-технических основ создания эффективной системы раннего обнаружения очага возгорания на основе эффекта акустической эмиссии процесса горения различных материалов и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах жизнедеятельности с большим количеством людей и материальных ресурсов.

Сложность рассмотрения сформулированной задачи заключается в том, что на указанных объектах существуют скрытые (латентные) взаимосвязи между различными факторами жизнедеятельности, указывающие на высокую степень возникновения пожарной опасности. Латентные связи определяются: а) наличием широкого спектра функционального назначения объектов с массовым пребыванием людей; б) наличием размещенных случайным образом по территории объекта различных по функциональному назначению и уровню опасности зон, сооружений, помещений и технологического оборудования; в) наличием территориально распределенной системы жизнеобеспечения, включающей разветвленные сети тепло-, водо-, энерго-, газо- и холодоснабжения, а также обеспечения микроклимата; г) наличием территориально распределенной системы связи, включающей разветвленные сети Интернет, Интранет и АТС, а

также структурированную кабельную систему, систему единого времени и учрежденческий сервис по вещанию и трансляции информации; д) наличием различной горючей среды и случайных источников возгораний; е) одновременным пребыванием на объекте большого количества людей; ж) возможностью возникновения паники, в соответствии с этим – сложностью эвакуации; и) сложностью организации конструктивных решений и планирования по предупреждению и тушению пожаров. [10 – 20].

Все это свидетельствует о необходимости тщательного обоснования выбора такого метода диагностики раннего обнаружения очага возгорания, который обладал бы предельно высокой избирательностью информационных сигналов очага возгорания и(или) других видов возможных опасностей на фоне суммарной частотной генерации развивающихся ЧС.

Основой системы раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах жизнедеятельности с большим количеством людей и материальных ресурсов является классический контур управления (рис. 1), обеспечивающий сбор, обработку и анализ информации, моделирование развития пожароопасной обстановки на объекте управления и выдачу решений на ликвидацию ЧС [21 – 29].

Краткое описание принципов функционирования схемы рис. 1:

1) полученная с помощью средств контроля первичная информация о факторах пожарной опасности в различных зонах на объекте с массовым пребыванием людей по кабелям или радиоканалу передается к уст-

ройствам второго уровня, предназначенных для обработки полученной информации и представления ее в виде, необходимом для третьего уровня. Обработка полученной информации может производиться как в одном месте, так и в нескольких, в зависимости от мощности конкретной системы мониторинга и размеров контролируемого объекта;

2) обработанная информация в соответствующем виде поступает на третий уровень, где выполняется ее анализ и систематизация данных; на основе этого делается вывод об уровне опасности объекта с массовым пребыванием людей. Особенно важно, для обеспечения быстрейшего действия системы мониторинга, ис-

пользование автоматизированных средств обработки информации, что значительно ускорит процессы на втором и третьем уровнях системы мониторинга и позволит создать электронные, доступные в реальном масштабе времени, базы данных и знаний;

3) с использованием соответствующих математических методов, на основе полученной информации за относительно непродолжительные периоды времени выполняется моделирование пожароопасной ситуации, прогноз ее развития и уровней опасности, определяется способность отображать прогнозируемую динамику катастрофических событий графически (в том числе, с использованием электронных карт);

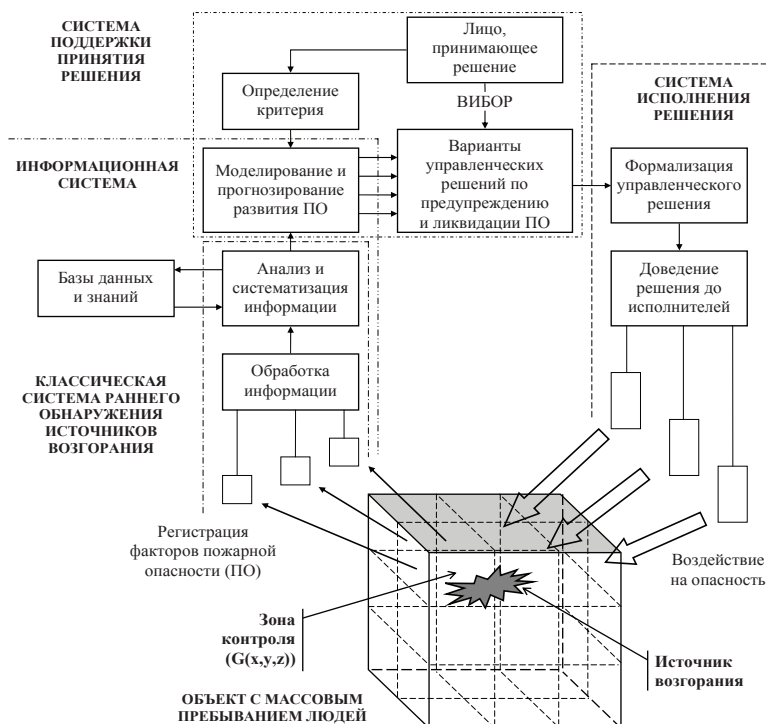


Рис. 1. Схема структуры раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах с большим количеством людей и материальных ресурсов, как средства управления.

4) второй информационной системой является система поддержки принятия решения. Лицо, принимающее решение, определяет один или несколько критериев, согласно которым осуществляется прогностическое моделирование развития пожароопасной ситуации и разрабатываются варианты управленческих решений, подтвержденные соответствующими расчетами. Из набора вариантов управленческих решений лицо выбирает один или задает еще дополнительные критерии, согласно которым выполняется моделирование и разработка управленческих решений, направленных на недопущение развития опасности до уровня пожара. Если же пожара уже не избежать, то разработка управленческих решений направлена на минимизацию последствий;

5) утвержденное решение поступает в систему исполнения решения, где выполняется его формализация и доведение до исполнителей. Изменения со-

стояния объекта с массовым пребыванием людей и изменения состояния опасности на нем будут вызывать изменения в величинах измеряемых параметров, фиксируемых устройствами контроля. Дальнейшее моделирование покажет эффективность выполнения управленческого решения – контур управления замкнулся.

Общим принципом работы всех устройств обнаружения возгорания является своевременная регистрация фактора опасности и оценка его физической величины [30 – 38].

По результатам проведенного по данным [39 – 79] сравнительного анализа различных типов детекторов пожарных извещателей необходимо констатировать следующее.

Во-первых, в соответствии с установленными областями функционирования технически реализованных, различных типов пожарных извещателей в зави-

симости от времени проявления на объекте контроля приоритетных факторов опасности (см. рис. 2), как комплексного параметра эффективности функционирования системы раннего обнаружения источников возгораний, возможно выделить два кластера.

В первый кластер входят пожарные извещатели, предназначенные для обнаружения источников возго-

раний на так называемом этапе возможного появления пожарной опасности. Функционирование этих пожарных извещателей основано на принципах обнаружения газоподобных продуктов горения ($F_{ГППГ}$) и дыма ($F_{Д}$).

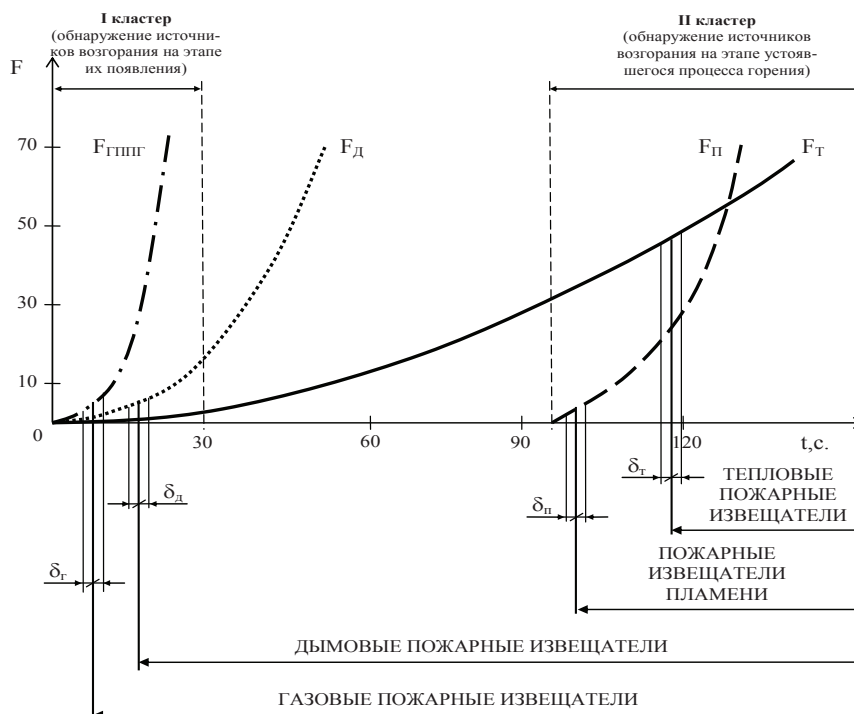


Рис. 2. Графическое представление областей функционирования технически реализованных, различных типов пожарных извещателей в зависимости от времен (t) появления на объекте контроля приоритетных факторов опасности (F) и размеров зон обнаружения (δ) приоритетных факторов опасности ($\delta_{г}$ – газовый анализ среды, $\delta_{д}$ – обнаружение дыма, $\delta_{п}$ – анализ пламени, $\delta_{т}$ – контроль температуры среды), в зависимости от тактико-технических характеристик чувствительных элементов средств обнаружения

Размеры и местоположение на временной оси графической зависимости рис. 2 зон обнаружения $\delta_{г}$ и $\delta_{д}$ факторов $F_{ГППГ}$ и $F_{Д}$ определяются тактико-техническими характеристиками существующих газовых и дымовых пожарных извещателей. Изменение параметров этих зон в сторону повышения эффективности раннего обнаружения источников возгораний ограничено метрологическими возможностями физико-химических методов анализа среды возгорания, заложенных в работу чувствительных элементов рассматриваемых пожарных извещателей.

Во второй кластер входят пожарные извещатели для обнаружения источников возгораний на так называемом этапе установившегося (стационарного) процесса горения. Функционирование этих пожарных извещателей основано на принципах анализа (контроля) возрастающей температуры ($F_{Т}$) и факела горения ($F_{П}$).

Размеры и местоположение на временной оси графической зависимости рис. 2 зон обнаружения $\delta_{т}$ и $\delta_{п}$ факторов $F_{Т}$ и $F_{П}$ определяются тактико-

техническими характеристиками существующих тепловых пожарных извещателей и пожарных извещателей пламени. Изменение параметров этих зон для повышения эффективности раннего обнаружения источников возгораний также ограничено характеристиками физико-химических принципов анализа среды возгорания, заложенных в работу чувствительных элементов рассматриваемых пожарных извещателей.

Во-вторых, современный этап развития проектирования и строительства объектов с массовым пребыванием людей и большим количеством материальных ресурсов направлен на увеличение объемов зданий и помещений этих объектов. В связи с этим, возникают дополнительные требования к тактико-техническим характеристикам пожарных извещателей при реализации режима раннего обнаружения источников возгорания, обусловленных ограничением скорости распространения в контролируемом объеме помещения к датчикам системы контроля газообразных продуктов пиролиза и частиц дыма в процессе зарождения пожароопасной обстановки.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости технической реализации новых физи-

ко-технических методов анализа свойств среды возгорания, направленных на практически мгновенный однозначный контроль волновых факторов пожарной опасности на этапе зарождения и проявления источников возгораний, что и определило цель наших исследований.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Целью работы является развитие научных основ создания акустического пожарного извещателя, в основу функционирования которого заложен принцип анализа амплитудно-частотных характеристик акустических колебаний, генерируемых источником возгорания в результате проявления эффекта акустической эмиссии на этапах проявления и развития пожарной опасности.

Физико-химическая суть проявления акустической эмиссии при горении заключается в том, что в процессе протекания окислительно-восстановительной реакции возникает спектр колебаний, связанных с возникновением и разрушением на молекулярном уровне напряжений в кристаллической решетке материала. При горении же жидкой фазы происходит перемещение масс реагентов и продуктов и образование пузырьков газа, приводящих к колебаниям окружающей среды объекта загорания (кавитационные явления). Чем больше молекул вещества задействовано в процессе протекания реакции, тем интенсивнее горение и мощнее излучаемое звуковое колебание. Эффект акустической эмиссии имеет место на всех стадиях горения, пока есть деструкция материала и температурный градиент внутри очага горения. При по-

явлении открытого пламени, когда реакция горения переходит в устойчивую стадию, интенсивность звуковых колебаний резко возрастает. Это обусловлено при горении твердых тел усилением эффектов деструкции и деформации материала. Увеличение интенсивности звуковых колебаний при горении жидкофазных материалов связано с переходом в стадию кипения поверхностного слоя на границе пламени. При этом необходимо отметить, что и само пламя вызывает значительные колебания воздуха за счет неравномерности течения реакции горения. Помимо того, выделение газовых составляющих при горении как твердых, так и жидких веществ, также приводит к локальным колебаниям воздуха в месте выхода газа из зоны горения [80 – 92].

Классическая (в соответствии с данными рис. 1) объектовая система раннего обнаружения, сформированная нами на основе анализа эффекта акустической эмиссии при протекании процесса горения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности, включает акустический пожарный извещатель (АПИ), а также автоматические системы обнаружения (АСОП) и тушения (АСТП) пожара. Блок АПИ включает акустический чувствительный элемент (АЧЭ) и пороговое устройство (ПУ) или несколько чувствительных элементов и пороговых устройств.

Принцип функционирования такой системы пожарной автоматики раскрыт в графическом виде на рис. 3.

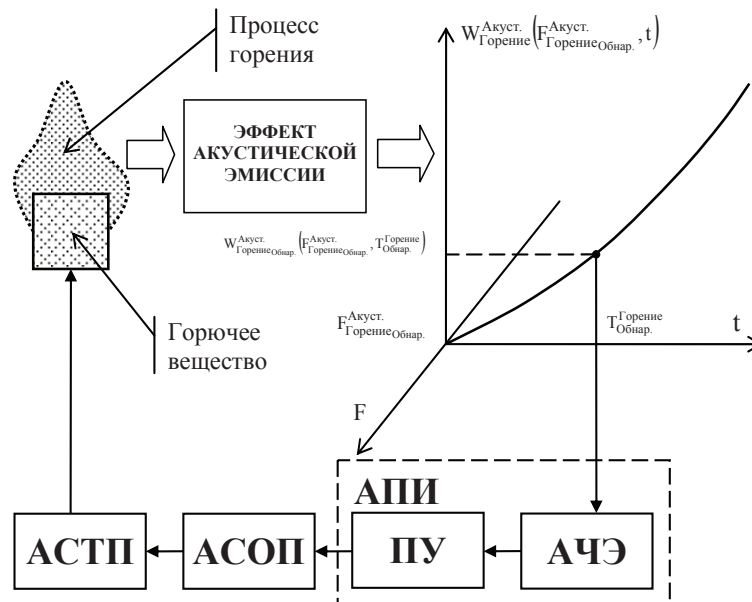


Рис. 3. Схема функционирования объектовой системы раннего обнаружения, на основе анализа эффекта акустической эмиссии при протекании процесса горения и предупреждения возникновения пожарной опасности: АПИ – акустический пожарный извещатель; АЧЭ – акустический чувствительный элемент (микрофон); ПУ – пороговое устройство; АСОП – автоматическая система обнаружения пожара; АСТП – автоматическая система тушения пожара

В соответствии с данными рис. 3, акустические колебания, излучаемые источником возгорания в результате проявления эффекта акустической эмиссии на первичных этапах появления и развития пожарной опасности, являются демаскирующим волновым фактором, запускающий функционирование системы раннего обнаружения и предупреждения возникновения пожарной опасности. Данный фактор имеет энергетически-частотную характеристику, в виде энергетического показателя, в зависимости от частоты (F) и времени (t) излучаемого акустического спектра ($W_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}}(F, t)$).

Данный эффект генерации акустических колебаний в процессе проявления и развития пожарной опасности (как и при протекании других физико-химических процессов [93]) следует из анализа объединенного уравнения первого и второго законов термодинамики:

$$dG = pdV - TdS + \sum \mu_i dn_i + \varphi dq + \sigma ds + \dots, \quad (1)$$

где G – энергия Гиббса; S – энтропия; T – температура; V – объем; p – давление; σ – поверхностное натяжение (поверхностное напряжение для твердых тел); s – площадь поверхности; μ – химический потенциал компонента; n – количество молей компонента; φ – электрический потенциал; q – электрический заряд.

По аналогии с известными процессами превращения химической энергии в электрическую (φdq), тепловую (TdS) и электромагнитную, должно происходить непосредственное превращение ее в механическую (pdV). Поскольку, во всей системе единичное изменение объема в виде единого импульса не может произойти в силу физических свойств, то в системе будут возбуждаться акустические колебания.

Акустическая эмиссия любой химической реакции, в том числе и процесса горения, имеет квази-

стационарный характер и является следствием выделения или поглощения энергии, что приводит к возникновению волн упругости (напряжения) в реакционной среде, которые можно обнаружить используя датчики, обеспечивающие прием слабых сигналов на фоне собственных шумов. Следовательно, информация о состоянии материала и процессах сопровождающих горение в нем, представляет собой характеристический частотный спектр механических волн (колебаний), характеризующийся частотно-временным энергетическим показателем $W_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}}(F, t)$.

В связи с тем, что импульсный характер акустической эмиссии характеризуется импульсами длительностью $10^{-8} - 10^{-4}$ с (время элементарного акта передачи \bar{e} в химической реакции), а энергия отдельного импульса – от 10^{-9} до 10^{-5} Дж, то частотный спектр акустической эмиссии лежит в широких пределах от области инфразвука и частот слышимого звука до десятков и сотен МГц, интенсивность импульсов акустической эмиссии зависит от объема зоны, в которой вещество подвергается деструкции, а также от изменения объема продуктов реакции [88, 92].

Значения амплитуды механических колебаний (звуковые волны) в твердых телах при химических реакциях, согласно [85 – 87], находятся в пределах от $1 \cdot 10^{-4}$ до 5 мм.

На основе вышеизложенного сделано заключение, что характерный частотный диапазон химических реакций, в соответствии с данными рис. 4, выходит за области частотных диапазонов, присущих производственным помещениям и помещениям с пребыванием людей. Следовательно, можно выделить характеристический для очага загорания спектр излучаемых звуковых волн на фоне общего звукового излучения.

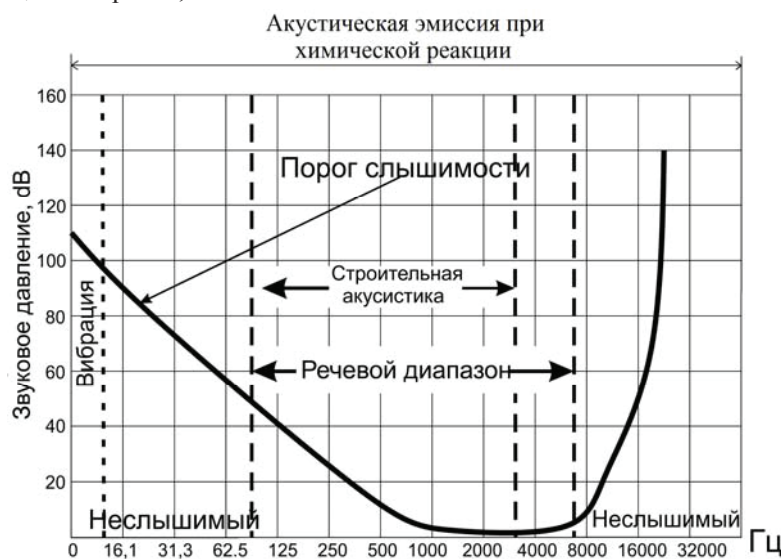


Рис. 4. Спектральные характеристики эффекта акустической эмиссии химической реакции, строительной акустики и речевого диапазона

Вместе с тем, генерация колебаний в процессе акустической эмиссии очага загорания в инфразвуковом диапазоне позволяет повысить эффективность функционирования автоматической системы раннего обнаружения пожара по сравнению с системами, работающими в других частотных диапазонах звуковых колебаний. К преимуществам измерений в инфразвуковом диапазоне необходимо отнести: 1) большие амплитуды колебаний в сравнении с равномошным слышимым человеком звуком; 2) способность распространения колебаний в воздухе с незначительным затуханием; 3) характерное для инфразвука явление дифракции благодаря большой длине волны, вследствие чего инфразвуковая волна легко проникает в помещения и обгибает преграды.

Для реализации предлагаемого способа обнаружения очага загорания, нам необходимо определить параметры представленного на рис. 3 акустического чувствительного элемента АПИ, представляющего собой акустическую антенну (микрофон) или чувствительный диффузор.

При условии рассмотрения плоских акустических волн, как наиболее характерных для очагов загорания, энергетическим критерием обнаружения определенного (характеристического) частотного диапазона звуковых колебаний является его интенсивность, определяемая как:

$$I_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}, T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}} \right) = \frac{1}{T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}} \times \int_{T_0}^{T_0 + T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}} \frac{dP_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)}{dS_{\text{АЧЭ}}^{\text{АПИ}}} dt, \quad (2)$$

где T_0 – время начала горения; $T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}$ – время обнаружения горения; $F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}$ – частотный диапазон акустических колебаний, измеряемых исследуемым чувствительным элементом АПИ; $P_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}}$ – поток энергии акустических колебаний в диапазоне частот $F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}$ от горения, переносимых через АЧЭ АПИ площадью $S_{\text{АЧЭ}}^{\text{АПИ}}$.

Согласно формуле Умова (численное значение вектора плотности потока энергии определяется как $j = \frac{\Delta W}{\Delta S_{\perp} \Delta t}$, где ΔW – энергия, переносимая за время Δt через площадку ΔS_{\perp} , перпендикулярную к направлению переноса энергии [94]) интенсивность звука для плоской звуковой волны можно записать в виде:

$$I_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}, T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}} \right) = \frac{\left\langle P_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}^2} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right) \right\rangle_{T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}}}{2\rho \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right) v \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)}, \quad (3)$$

где $P_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)$ – звуковое давление на АЧЭ АПИ акустических колебаний в диапазоне частот $F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}$ от горения; $\langle \rangle_{T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}}$ – усреднение по времени $T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}}$; $\rho \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)$ – плотность среды, в которой распространяются звуковые волны, находящиеся в диапазоне частот $F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}$, от источника горения; $v \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)$ – скорость распространения звуковых волн, находящихся в диапазоне частот $F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}$, от источника горения в среде при заданной температуре и влажности.

При горении процесс акустической эмиссии носит импульсный характер. При допущении, что интенсивность акустических колебаний на входе АЧЭ АПИ пропорциональна сумме энергий импульсов акустических колебаний, генерируемых в ходе акустической эмиссии при горении, то должно быть справедливо равенство:

$$I_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}}, T_{\text{Обнар.}}^{\text{Горение}} \right) \sim W_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.имп.}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.имп.}} = w_{\text{Горение}_i}^{\text{Акуст.}} n$ – общая энергия импульсов акустических колебаний, генерируемых в ходе акустической эмиссии при горении; $w_{\text{Горение}_i}^{\text{Акуст.}}$ – энергия отдельного акустического импульса, излучаемого в ходе акустической эмиссии при горении; $n=1..∞$ – число импульсов.

Следовательно, значение звукового давления на входе чувствительного элемента АПИ примет вид:

$$P_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right) \sim \sqrt{2W_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.имп.}} \rho \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right) v \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right)}. \quad (5)$$

Подставив в (5) минимальное значение энергии одного импульса, а также условия распространения акустических колебаний в среде (для помещений примем, что средняя скорость звука при температуре среды распространения +20⁰С и влажности 70% равняется $v = 3,431 \cdot 10^2$ м/с), получим:

$$P_{\text{Горение}}^{\text{Акуст.}} \left(F_{\text{ГорениеОбнар.}}^{\text{Акуст.}} \right) \sim \sqrt{2 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 1,204 \cdot 3,431 \cdot 10^2} = 9,089 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \quad (6)$$

Полученное значение больше, чем порог слышимости, который составляет $2 \cdot 10^{-5}$ Па, что соответствует частотному диапазону $F_{\text{Горение Обнар.}}^{\text{Акуст.}} = 20 - 2 \cdot 10^5$ Гц.

Касательно диапазона $F_{\text{Горение Обнар.}}^{\text{Акуст.}} = 1 \cdot 10^{-3} - 20$ Гц, то большое значение имеет амплитуда колебаний и для этого диапазона применяются микрофоны специальной конструкции. Поэтому, в данной статье будет рассмотрен выбор в качестве чувствительного элемента АПИ электретного микрофона с фантомным питанием [95]. При этом, уровень собственных шумов микрофона первого класса должен удовлетворять зависимости [96]:

$$18 \geq 20 \lg \left(\frac{p_{\text{ш}}}{p_0} \right), \quad (7)$$

где p_0 – давление порога слышимости, $p_{\text{ш}}$ – уровень собственных шумов микрофона.

На основе вышеизложенного уровень собственных шумов электретного микрофона с фантомным питанием равен $p_{\text{ш}} \approx 1,589 \cdot 10^{-4}$ Па, что ниже значения, полученного в соответствии с выражением (6). Поэтому, для устройства регистрации акустических колебаний, генерируемых в ходе акустической эмиссии при горении, может быть применен микрофон с чувствительностью не ниже $9 \cdot 10^{-4}$ Па, например, микрофон Panasonic WM-61A.

Для проведения лабораторных исследований нами разработана лабораторная установка для исследования условий проявления эффекта акустической эмиссии на стадиях горения различных горючих материалов, структурная схема которой представлена на рис. 5.

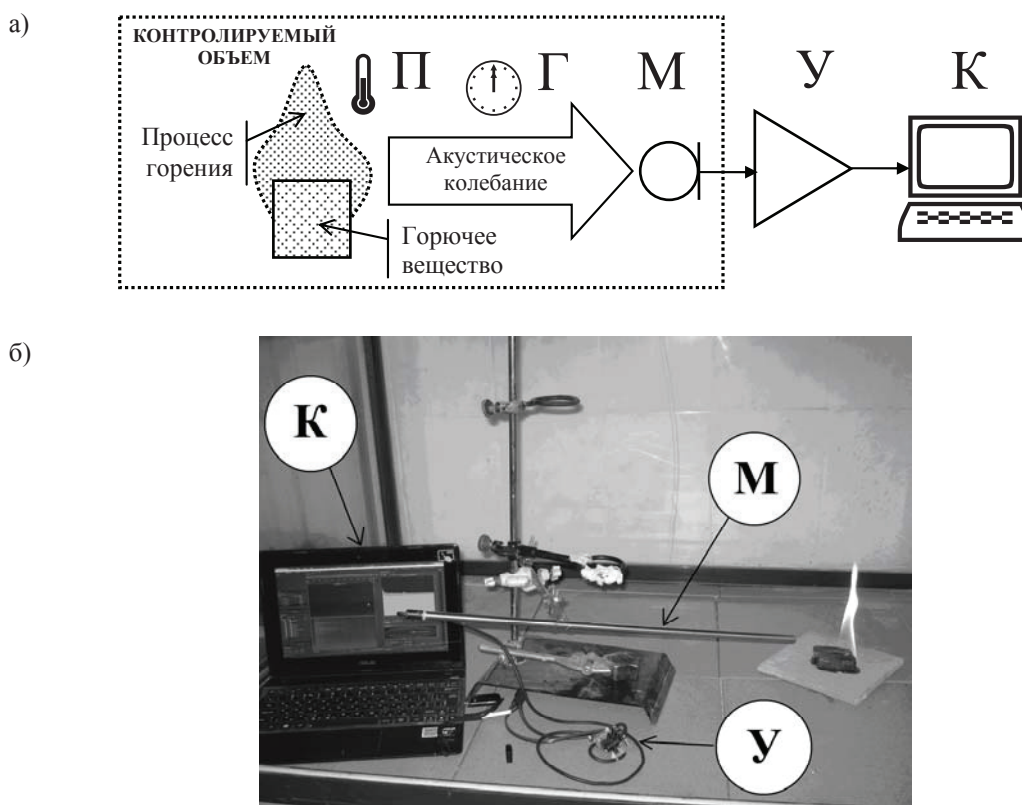


Рис. 5. Схема (а) и фото (б) лабораторной установки для исследования условий проявления эффекта акустической эмиссии на стадиях горения различных горючих материалов: П – пирометр; Г – газоанализатор; М – микрофон; У – усилитель; К – компьютер

Обработку результатов (спектров акустических колебаний процесса горения) проводили с помощью специальных компьютерных программ: для получения звукового файла и мгновенных срезов спектра использовалось программное обеспечение

Adobe Audition CC v9.2; программирование для обработки и анализа спектра аудиофайла реализовано в среде MatLab R2016b. Спектры фоновых акустических шумов вычитали из суммарного спектра. Обра-

ботку спектров АЭ проводили в соответствии с представленным на рис. 6 алгоритмом.

Краткое описание алгоритма, приведенного на рис. 6: 1 – калибровка по эталонному сигналу для проверки работоспособности системы обнаружения очага возгорания; 2 – запись фонового сигнала. Продолжительность записи зависит от особенностей частотных и амплитудных характеристик фона в помещении, где производится детектирование; 3 – проверка фона на характерные пиковые амплитуды заданных частотных диапазонов для исключения ложного обнаружения, поскольку в момент записи фона (блок 2), уже может быть сигнал от источника загорания. При совпадении характерных пиковых амплитуд или близких к ним значений осуществляется многократная запись (число записей и время (блок 4, 5) зависят от особенностей фона) и анализ сигнала на количество совпадений (также определяется характеристиками фона) характерных пиковых амплитуд заданных частотных диа-

пазонов; 6 – при отсутствии характерных пиковых амплитуд в записанном фоне производится запись полезного сигнала; 7 – обработка полезного сигнала, которая включает: преобразование Фурье, фильтрацию сигнала от фона и посторонних шумов, анализ сигнала с помощью эволюционных алгоритмов и систем искусственного интеллекта. Блоки 3,4 и 5 формируют модуль предварительной обработки сигнала, для исключения попадания в фоновый сигнал сигналов АЭ объектов детектирования.

С использованием представленной экспериментальной базы в работе проведены исследования спектральных характеристик горения целлюлозосодержащих материалов, как наиболее распространенных на объектах с массовым пребыванием людей.

Схема горения целлюлозосодержащих материалов и проявления эффекта акустической эмиссии на стадиях горения представлена на рис. 7.

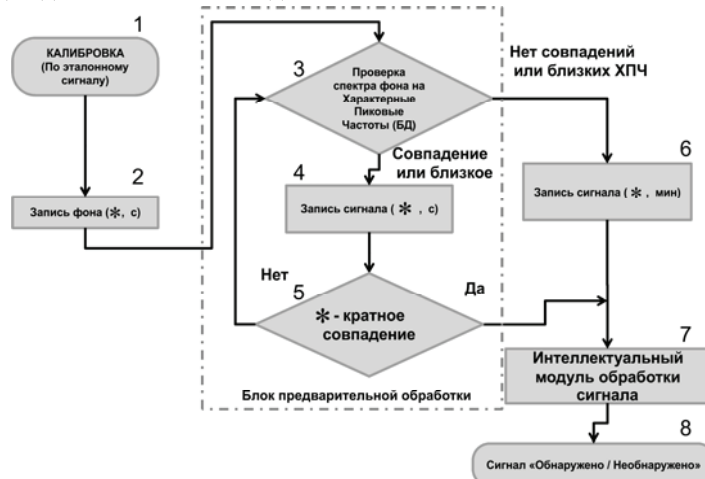


Рис. 6. Алгоритм обработки спектров акустической эмиссии источника загорания

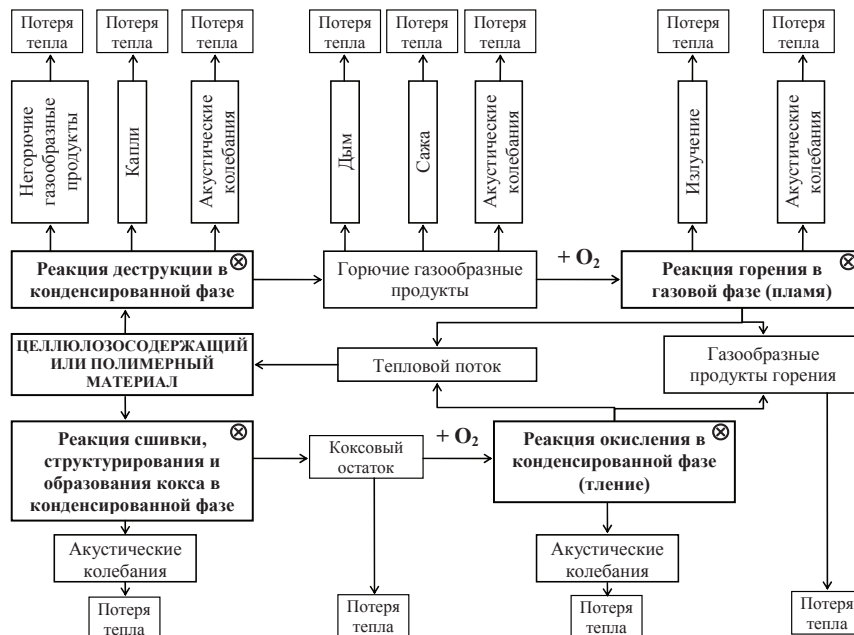
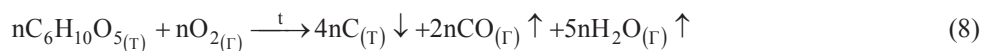


Рис. 7. Схема горения целлюлозосодержащих или полимерных материалов и проявления эффекта акустической эмиссии на стадиях горения. ⊗ – наиболее характерные стадии акустической эмиссии при физико-химических преобразованиях

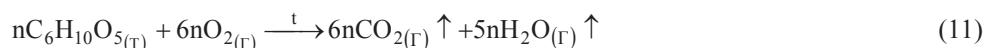
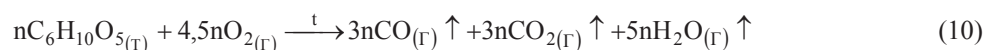
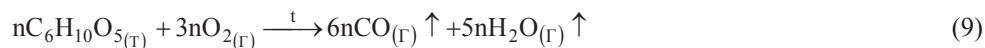
Согласно данным рис. 7, эффект акустической эмиссии имеет место на всех стадиях горения. Так, акустические волны будут излучаться на протяжении всей стадии горения, пока есть деструкция материала

и температурный градиент внутри очага горения, описываемые в виде следующих уравнений химической реакции:

а) недостаток O_2 (пиролиз):

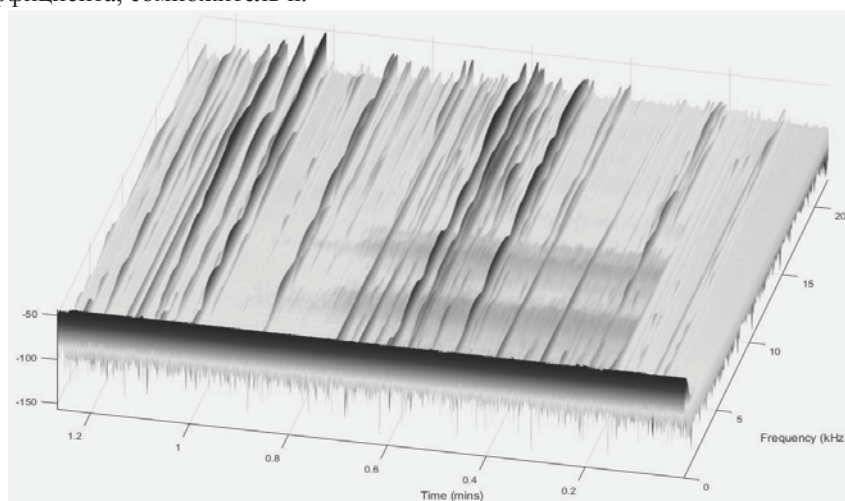


б) избыток O_2 :

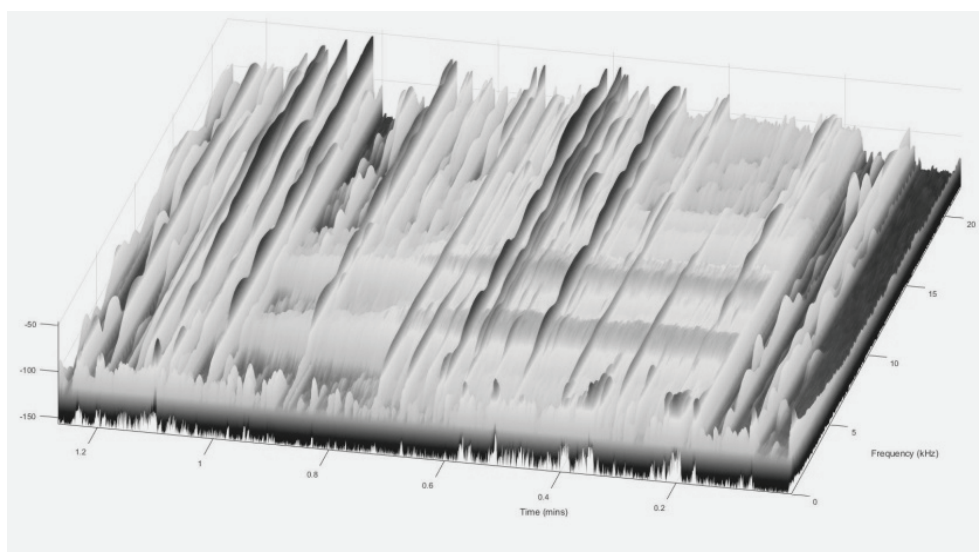


Более строго реакцию горения целлюлозосодержащего материала необходимо записывать с учетом фактического окисления макромолекул полимерной природы, с учетом коэффициента полимеризации – n , в последнем случае у всех реагентов и продуктов должен быть представлен как сомножитель стехиометрического коэффициента, сомножитель n .

Результаты экспериментов представлены на рис. 8 – 11 в виде амплитудно-частотных акустических спектров для древесины (сосна) и других целлюлозосодержащих материалов (бинт, картон, бумага, вата).

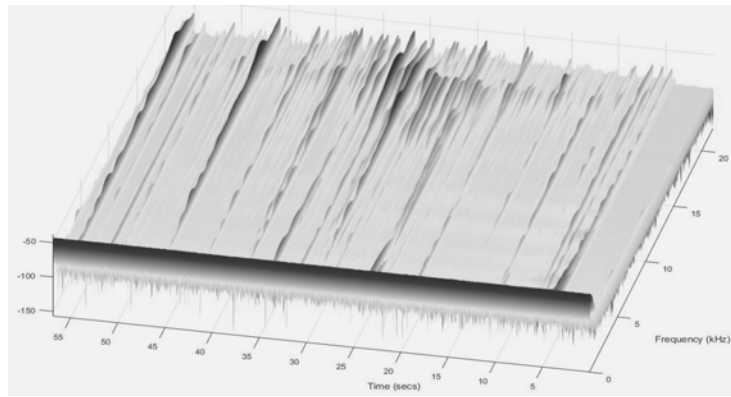


а)

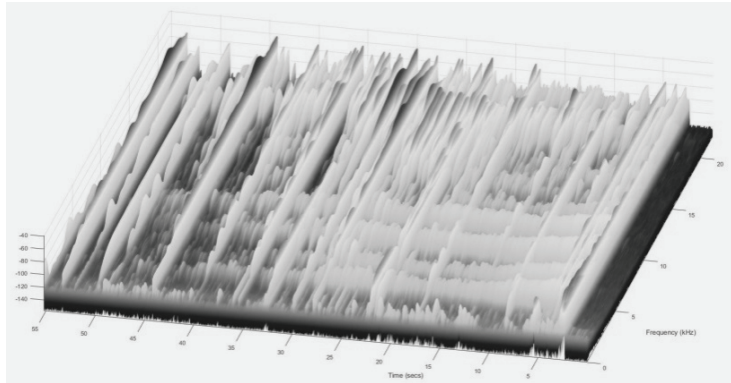


б)

Рис. 8. Акустические спектры горения первого образца дерева до (а) и после (б) фильтрации от фоновых помех

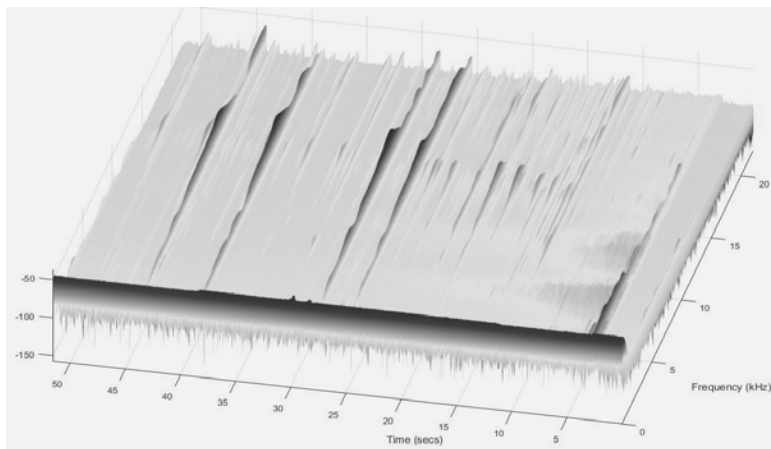


а)

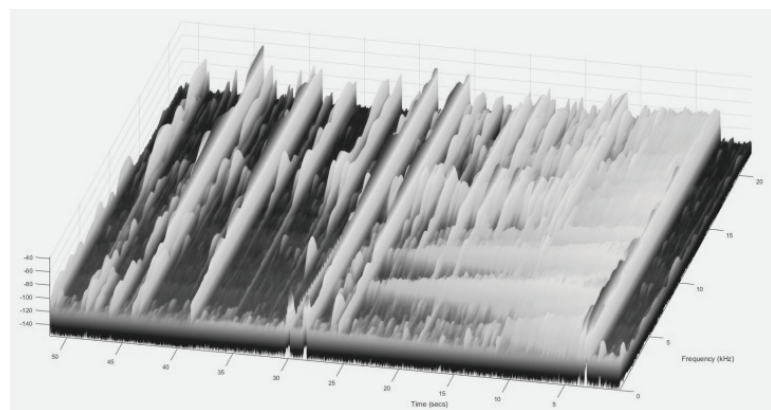


б)

Рис. 9. Акустические спектры горения второго образца дерева до (а) и после (б) фильтрации от фоновых помех

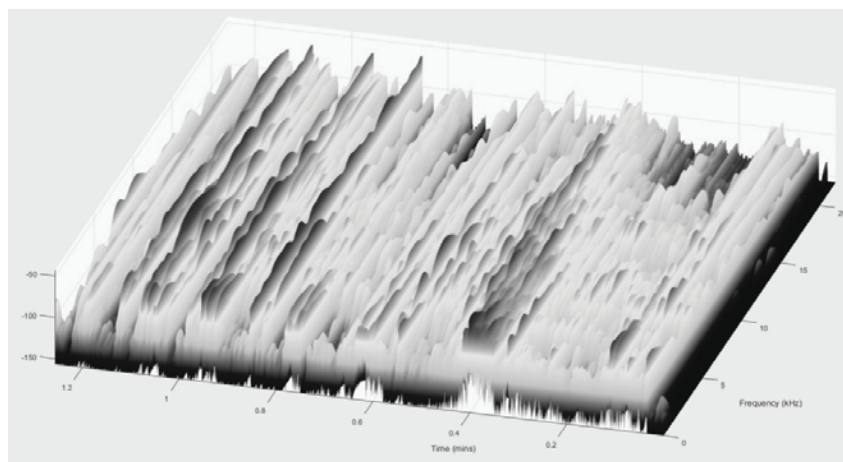


а)

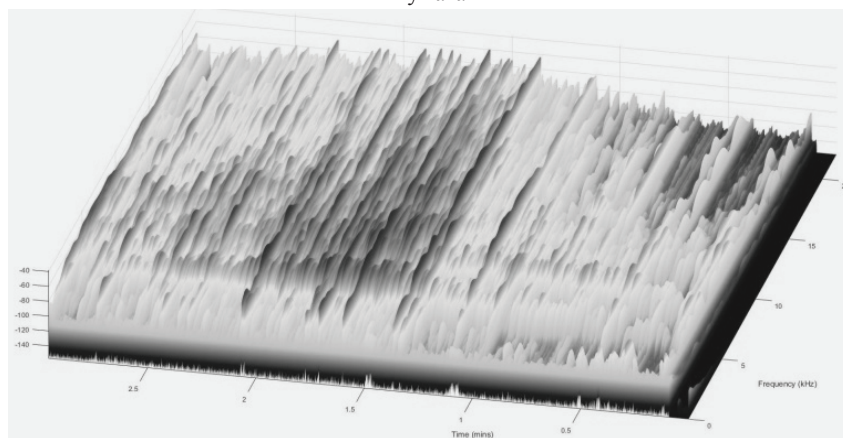


б)

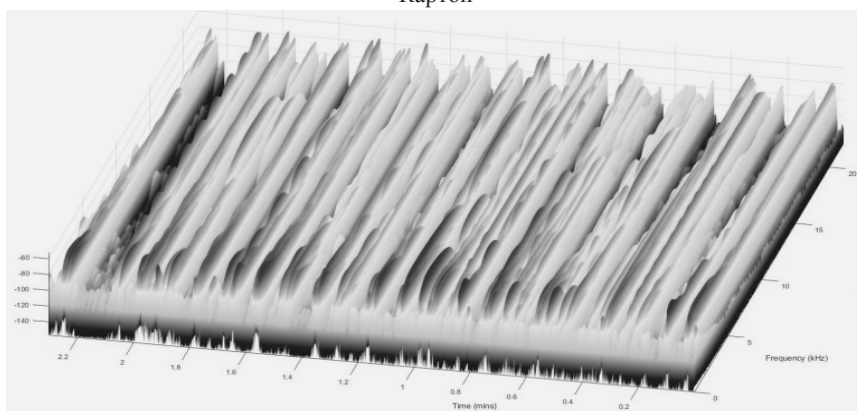
Рис. 10. Акустические спектры горения третьего образца дерева до (а) и после (б) фильтрации от фоновых помех



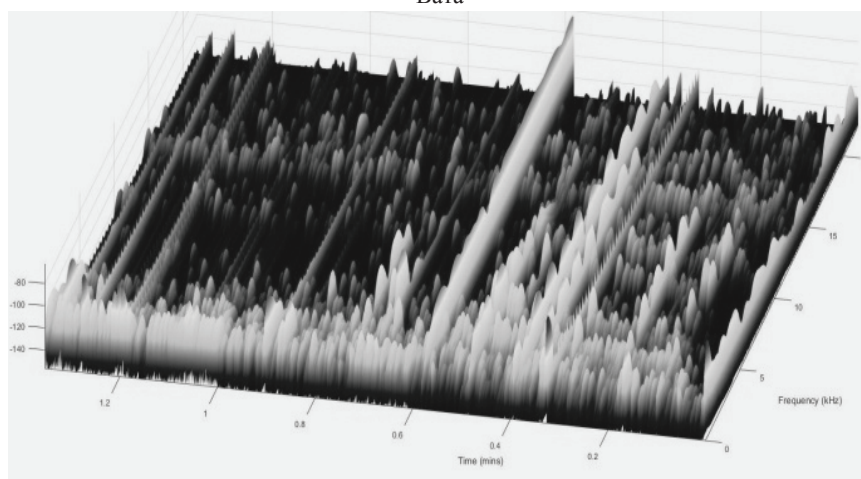
Бумага



Картон



Бит



Бит

Рис. 11. Спектры других целлюлозосодержащих образцов (после фильтрации от фоновых помех)

Обработка этих спектров в единых координатах P_{\min}/P_a (относительная амплитуда сигнала) от f (частота сигнала) показала удовлетворительную сходимость пиковых амплитуд испытуемых образцов в различных диапазонах частот (5 Гц – 25 кГц). Результаты сопоставительного анализа показаны на рис. 12. Несходимость для некоторых диапазонов частот может быть объяснена различным содержанием целлюлозы в образцах (например, для картона), а также спецификой самого процесса высокотемпературного

окисления, существенно зависящего от других компонент материала и структуры испытуемых образцов.

Для практического использования результатов амплитудно-частотных характеристик целлюлозосодержащих материалов при оценке возможного возгорания в помещениях с большим количеством материалов, содержащих целлюлозу, необходимо установить характерные частотные области, в которых относительная амплитуда процесса акустической эмиссии от горения исследованных материалов максимальна.

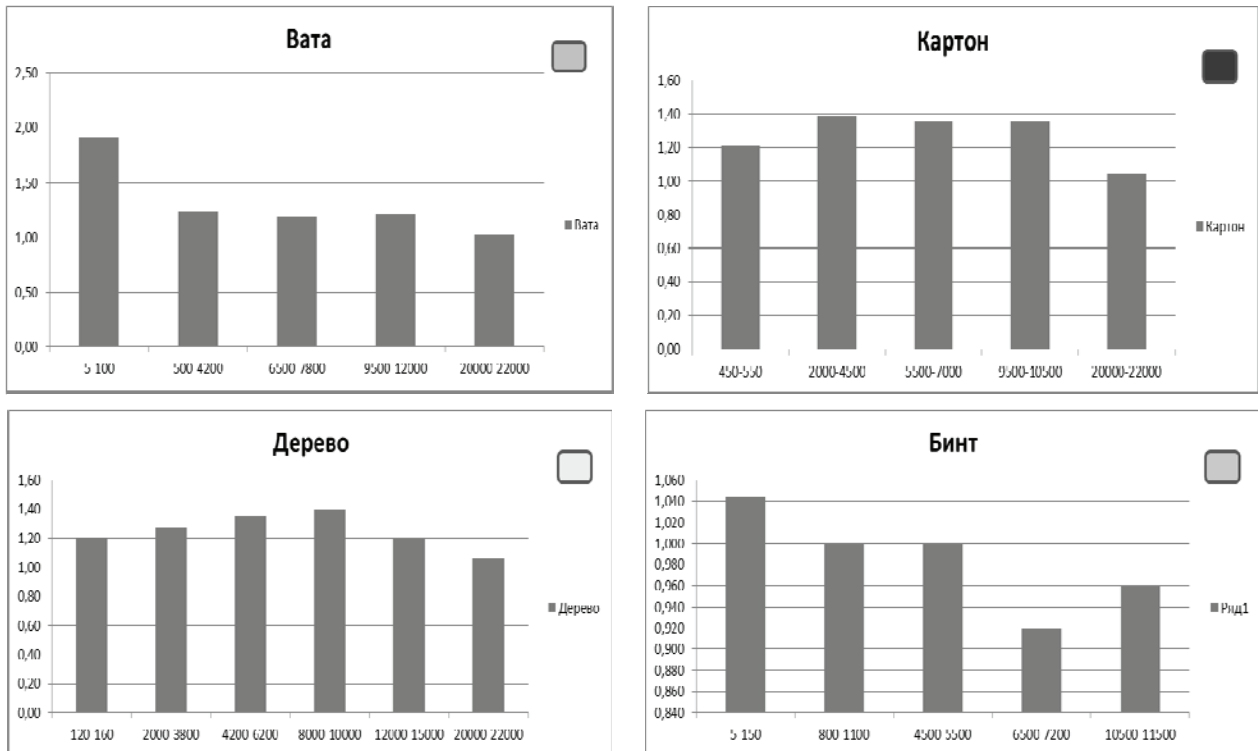


Рис. 12. Распределение характерных пиковых относительных амплитуд частотного спектра АЭ испытуемых образцов

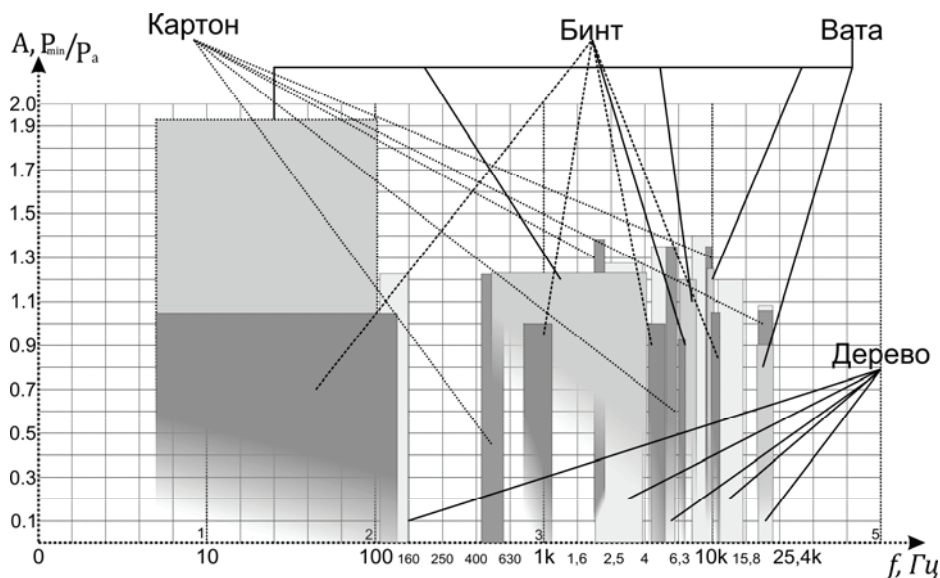


Рис. 13. Распределение характерных пиковых относительных амплитуд спектров АЭ в диапазоне частот 5 Гц ÷ 20,4 кГц

На рис. 13 показана гистограмма распределения пиковых амплитуд спектров акустической эмиссии для исследованных материалов. Как видно, процесс горения исследованных материалов характеризуется высокой кучностью максимальных амплитуд в областях частот от 5 до 200 Гц и от 400 Гц до 25кГц (см. также рис. 14). Хотя на рис. 14 максимальная сходимость амплитуд наиболее характерна для диапазона частот 1 – 11 кГц.

Результаты исследований показали, что процесс горения целлюлозосодержащих материалов характеризуется наличием спектров акустической эмиссии в низкочастотных (от 0 до 1000 Гц) и высокочастотных (от 1 до 25,4 кГц) областях. Амплитудная характеристика максимальных ($P_{min}/P_a = 1,92$, где $P_{min} = 115$ dB) для ваты (в низкочастотной области) по сравнению с другими материалами ($1,0 - 1,4 = P_{min}/P_a$) как для низкочастотных, так и для высокочастотных областей.

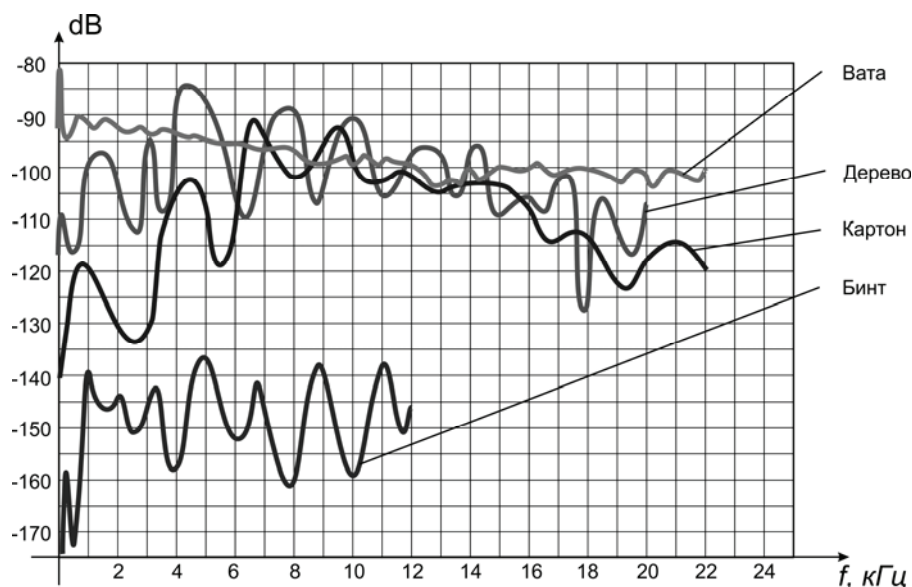


Рис. 14. Общая АЧХ спектров АЭ испытуемых образцов, взятая как средняя по каждому образцу

Таким образом, выполненные исследования особенностей процесса горения различных целлюлозосодержащих материалов методом акустической эмиссии однозначно указывают на высокую эффективность установления фактов возможного возгорания в помещениях с большим содержанием этих материалов различной природы (мебель, пиломатериалы, ткани, медицинские материалы и прочее). Достоверность этих результатов обеспечена использованием прецизионной комплексной методики обработки спектров АЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что создание комплексной четырехуровневой (с учетом взаимосвязей между объектовым, городским, региональным и государственным уровнями) автоматизированной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, с подсистемами раннего выявления очагов возгораний и предупреждения возникновения пожарной опасности на различных уровнях жизнедеятельности, является необходимым для обеспечения соответствующего уровня безопасности функционирования территории Украины.

2. Показано, что основой системы раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах жизнедеятельности с большим количеством людей и материальных ресурсов является классический контур

управления, обеспечивающий сбор, обработку и анализ информации, моделирование развития пожароопасной обстановки на объекте управления.

3. Анализ существующих пожарных извещателей, построенных на различных физических и физико-химических принципах, позволил констатировать, в соответствии с установленными областями функционирования технически реализованных различных типов пожарных извещателей в зависимости от времен проявления на объекте контроля приоритетных факторов опасности, как комплексного параметра эффективности функционирования системы раннего обнаружения источников возгораний, выделение двух кластеров. В I-й кластер входят пожарные извещатели, направленные на обнаружение источников возгораний на этапе проявления пожарной опасности и функционирующих на принципах обнаружения газоподобных продуктов горения и дыма; во II-й кластер входят пожарные извещатели, обнаруживающие источник возгораний на этапе установившегося процесса горения и функционирующие на принципах анализа динамики возрастания температуры и факела горения.

4. Высказано представление о том, что, с увеличением объемов зданий и помещений объектов жизнедеятельности с большим количеством людей и материальных ресурсов, предъявляются дополнитель-

ные требования к тактико-техническим характеристикам пожарных извещателей при реализации режима раннего обнаружения источников возгорания, обусловленных ограничением скорости распространения в контролируемом объеме газообразных продуктов пиролиза и частиц дыма (в процессе зарождения пожароопасной обстановки). Сказанное свидетельствует о необходимости технической реализации новых физико-технических методов контроля среды возгорания, направленных на контроль волновых факторов опасности на этапе зарождения источников возгораний. Предложено контроль очага возгорания проводить по спектрограммам акустических колебаний, генерируемых источником возгорания в результате проявления эффекта акустической эмиссии при протекании окислительно-восстановительной реакции горения различных (твердых, жидких и газообразных) веществ и материалов.

5. Прикладные результаты проведенных исследований:

а) показана устойчивая зависимость амплитудно-частотных характеристик акустической эмиссии процесса горения от природы и химического состава целлюлозосодержащих материалов;

б) разработана комплексная методика и алгоритм фильтрации спектра фона из общей акустической спектрограммы для определения характеристических гармоник проявления реакции горения;

в) создана установка для измерения спектров акустической эмиссии с высокой чувствительностью, для широкого частотного диапазона (5Гц – 25кГц). Выполнены расчеты диапазона чувствительности измерительного элемента установки;

г) предложена схема объектной системы на основе акустических эффектов раннего обнаружения и предупреждения возникновения пожарной опасности в помещениях, как подсистемы комплексной универсальной системы мониторинга в Украине.

Литература

- [1] Брушлинский Н.Н. Проблема пожаров в мире в начале XXI столетия / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 1. – С. 7 – 14.
- [2] World Fire Statistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report_19_world_fire_statistics_2014.pdf.
- [3] Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dsns.gov.ua/>
- [4] Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
- [5] Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol14/Tyutyunik.pdf>

- [6] Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6(55). – С. 59 – 70.
- [7] Тютюник В.В. Оцінка індивідуальної небезпеки населення регіонів України в умовах надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко, О.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2009. – Вип. 9. – С. 146 – 157. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol9/Tyutyunik.pdf>
- [8] Тютюник В.В. Оцінка динаміки пожежних ризиків регіонів України відповідно до зміни їх економічного стану / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2009. – Вип. 26. – С. 154 – 165. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol26/09.pdf>
- [9] Калугін В.Д. Оцінка рівня пожежної небезпеки території України на основі аналізу енергетичних показників стану життєдіяльності / В.Д. Калугін, В.В. Коврегін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Пожежна безпека. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2013. – Вип. 22. – С. 99 – 112.
- [10] Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7:2002. – Київ: Держбуд України, 2003. – 87 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eurobud.ua/uploads/files/pinoplast_norm_doc/6%20DBN.V.1.1.7-2002.pdf
- [11] Михайлик О.П. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки / О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, А.О. Михайлик. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2007. – 190 с.
- [12] Міллер О.В. Нормативно-правова невідповідність пожежної безпеки на об'єктах з масовим перебуванням людей / О.В. Міллер, А.І. Харчук, Ю.Є. Шелюх // Пожежна безпека. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2013. – Вип. 23. – С. 121 – 124.
- [13] Забезпечення пожежної та техногенної безпеки місць з масовим перебуванням людей під особливою увагою Уряду. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246039168&cat_id=248446167
- [14] Україна отримала 40 млн. грн. збитків через пожежі на об'єктах з масовим перебуванням людей за I півріччя 2011 р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ua/ukr/news/ukraine-poluchila-40-mln-grn-ubytkov-iz-za-pozharov-na-obektah-27072011142400>
- [15] Пожежна безпека на об'єктах з масовим перебуванням людей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://korosten-rda.gov.ua/catalog_252_4171_2.html
- [16] Нові правила пожежної безпеки для об'єктів площею до 300 м² [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://juryst-lviv.blogspot.com/2012/04/300.html>
- [17] СБУ екстренно готується к терактам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2014/02/9/7013242/>

- [21] Об'єкти з масовим перебуванням людей перевіряють на предмет пожежної безпеки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hotelcentr.com/node/1058>
- [22] В Україні перевірили пожежну безпеку об'єктів масового перебування людей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ntn.ua/uk/video/news/2011/07/28/4688>
- [23] По всій Україні буде проведено аналіз стану пожежної безпеки культурно-розважальних закладів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
- [24] <http://reporter.pl.ua/novini/sytuatsija/10104-po-vsiy-ukrayini-bude-provedeno-analiz-stanu-pozhezhnoyi-bezpeky-kulturno-rozvezhalnyh-zakladiv>
- [25] Кірочкін О.Ю. Формування інтегральної системи безпеки – запорука добробуту України / О.Ю. Кірочкін, О.А. Левтеров, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // F+S: технології безпеки та протипожежної захисти. – 2008. – № 6(36). – С. 60 – 63.
- [26] Грінченко С.М. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпек / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірочкін, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.
- [27] Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.
- [28] Тютюник В.В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України / В.В. Тютюник // Автореф. ... доктора технічних наук за спец. 21.02.03 – Цивільний захист. – Київ: НАН України. ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – 2015. – 42 с.
- [29] Тютюник В.В. Використання енергетичного підходу для оцінки ефективності функціонування комплексної автоматизованої системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на локальній території / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 1(138). – С. 183 – 194.
- [30] Андронов В.А. Науково-технічні основи синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій на території України в рамках державної політики в галузі цивільного захисту / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, О.В. Азаренко, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2016. – Вип. 4(49). – С. 150 – 159.
- [31] Тютюник В.В. Методологія синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій за основними характеристиками засобів зв'язку та передачі інформації / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – Харків: Академія наук прикладної радіоелектроніки; Харківський національний університет радіоелектроніки, 2016. – Том 15. – № 2. – С. 110 – 115.
- [32] Андронов В.А. Методологія синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій за основними характеристиками технічних засобів реєстрації факторів небезпек / В.А. Андронов, В.Д. Калугін, О.А. Левтеров, В.В. Тютюник // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – Харків: Академія наук прикладної радіоелектроніки; Харківський національний університет радіоелектроніки, 2016. – Том 15. – № 4. – С. 327 – 333.
- [33] Андронов В.А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.
- [34] Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
- [35] Померанцев В.В. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
- [36] Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. Книга 1 – 2. Под ред. Баратова А.Н. и Корольченка А.Я. – М.: Химия, 1990. – 495 с. + 384 с.
- [37] Киселев Я.С. Физические модели горения в системе предупреждения пожаров / Я.С. Киселев. – С.-П.: СПУ МВД России, 2000. – 264 с.
- [38] Єлагін Г.І. Основи теорії розвитку і припинення горіння / Г.І. Єлагін, М.Г. Шкарабуря, М.А. Кришталь, О.М. Тищенко. – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки, 2001. – 448 с.
- [39] Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки / О.В. Тарахно. – Харків: Академія цивільного захисту України, 2006. – 395 с.
- [40] Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва / А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
- [41] Кусковець С.Л. Основи теорії горіння та вибуху / С.Л. Кусковець, О.С. Шаталов, В.О. Турченко. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2012. – 374 с.
- [42] Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5-56:2014. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 133 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://old.minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/tehnichne-regulyuvannya/normuvannya/2015/DBN%20V.2.5-56_2014%20sistemi%20protipogegnoho%20zahistu.pdf
- [43] Системи пожежної сигналізації та оповіщення: ДСТУ ISO 7240-1:2007. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/27_dstu_iso_7240-1-2007_sistemi_pozhezhno_signalzac_ta_opovishuvannya.pdf
- [44] Пожежна автоматика будинків і споруд: ДБН В.2.5-13-98*. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 81 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://listech.ua/sites/default/files/doc/Pozhezha_automatika_budink_DBN_V2.5-13-98.pdf
- [45] Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты / Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
- [46] Христич В.В. Системи пожежної та охоронної сигналізації / В.В. Христич, О.А. Дерев'яно, С.М. Бондаренко, О.А. Антошків. – Харків: Академія пожежної безпеки

- України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/297/Signal.pdf
- [47] Автоматизовані системи управління та зв'язок у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник / І.А. Чуб, В.С. Пустоваров, Г.Е. Винокуров, П.М. Бортничук, Л.А. Клименко; за заг. ред. Г.В. Щербака. – Харків: Академія цивільного захисту України, 2005. – 272 с
- [48] Дерев'яно А.А. Применение и эксплуатация приборов пожарной автоматики/А.А. Дерев'яно, А.А. Антошкин, С.Н. Бондаренко, В.А. Дуреев, М.Н. Мурын. – Харьков: Университет гражданской защиты Украины, 2007. – 205 с.
- [49] Дерев'яно О.А. Автоматичний протипожежний захист об'єктів / О.А. Дерев'яно, В.В. Христин, С.М. Бондаренко, М.М. Мурын, О.А. Антошків. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 282 с.
- [50] Членов А.Н. Автоматические пожарные извещатели / А.Н. Членов. – М.: НИЦ «Охрана» ВНИИПО МВД России, 1997. – 51 с.
- [51] Извещатели пожарные дымовые оптико-электронные линейные. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 82-99. – М., 1999. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847692.pdf>
- [52] Извещатели пожарные дымовые радиоизотопные. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 81-99. – М., 2000. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/7/7693/index.php
- [53] Извещатели пожарные тепловые. Технические требования пожарной безопасности. Методы испытаний: НПБ 85-2000. – М., 2001. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/8/8923/
- [54] Мотин Л.А. Автоматизированные и роботизированные комплексы для противопожарной защиты объектов / Л.А. Мотин, Г.В. Шахманский // Экол. системы и приборы. – 2001. – № 2. – С. 46–51.
- [55] Соколов В.С. Системы пожарной сигнализации и автоматики. Боевая эффективность. Соотношения цена/качество / В.С. Соколов // Системы безопасности – 2001. – № 41 (октябрь-ноябрь). – С. 54–58.
- [56] Моисеев И.Ф. Рынок противопожарного оборудования. Взгляд изнутри / И.Ф. Моисеев // Системы безопасности – 2001. – № 41 (октябрь-ноябрь). – С. 71.
- [57] Системы пожарной сигнализации. Часть 5. Извещатели пожарные тепловые точечные: ДСТУ EN 54-5: 2003. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004. – 42 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/2003_sistemi_pozhezhno_signalzac.pdf
- [58] Членов А.Н. Современные тепловые пожарные извещатели: основные характеристики и особенности применения / А.Н. Членов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. – 2004. – № 1. – С. 43 – 44.
- [59] Членов А.Н. Анализ тенденций развития технических средств пожарной сигнализации / А.Н. Членов, М.В. Землянухин, А.В. Родионов // Системы безопасности – 2004: материалы XIII науч.-техн. конф. – Москва, 2004. – С. 220–223.
- [60] Edmans M. Guide to Intelligent Fire Systems. System Sensor Europe, 2004. – 34 p.
- [61] Батанов М. Эволюция систем пожарной сигнализации / М. Батанов, К. Буковщиков // Безопасность, достоверность, информация, 2005. – № 4(61). – С. 44–47.
- [62] Пивинская И. Пожарные извещатели: задачи и оценка выбора / И. Пивинская // Безопасность, достоверность, информация. – 2005. – № 4(61). – С. 36–42.
- [63] Офіційний каталог XV Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту / ПОЖТЕХ – 2016». – Київ: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2016. – 110 с.
- [64] Каталог пожарная безопасность. Оборудование, проектирование, монтаж. – Киев, 2000. – 128 с.
- [65] Интернет-портал журнала F+S. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.security-info.com.ua/magazine/>
- [66] Интернет-портал «Украинский ресурс по безопасности». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kiev-security.org.ua/>
- [67] Интернет-портал группы компаний «Секур». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://secur.ua/about-us/>
- [68] Интернет-портал компании «ОПТА». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opta.ua/>
- [69] Тютюник В.В. Формування критерію «ефективність – інтегральна ціна» як основи принципу комплектування технічними засобами інтегральної системи безпеки / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: Академия гражданской защиты Украины, 2008. – Вып. 23. – С. 202–216.
- [70] Тютюник В.В. Використання критерію «ефективність – інтегральна ціна» при виборі та удосконаленні елементів системи пожежогасіння / В.В. Тютюник, О.А. Левтеров, Р.І. Шевченко // Проблеми пожарной безопасности. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2008. – Вып. 24. – С. 215–223. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol24/tutunik.pdf>
- [71] Кириленко В. Обнаружение очагов зарождения пожаров / В. Кириленко // Охрана труда. – 1996. – № 10. – С. 32 – 34.
- [72] Бубнов Ю.З. Полупроводниковые газовые микросенсоры / Бубнов Ю.З. // Петербургский журнал электроники. – 1996. – № 3. – С. 87 – 91.
- [73] Тютюник В.В. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания. Анализ газов и проблемы пожарной безопасности / В.В. Тютюник // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: Харьковский институт пожарной безопасности МВД Украины, 1999. – Вып. 5. – С. 196 – 203.
- [74] Антоненко В. Раннее обнаружение пожара: полупроводниковые газовые сенсоры / В. Антоненко, А. Васильев, И. Олихов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – №4. – С. 48 – 51.
- [75] Напівпровідникові сенсорні: теорія, конструкція, застосування / П.Ф. Буданов, Ю.Г. Даник, О.Ю. Заславська, В.Д. Калугін, В.І. Карпенко; за ред. Ю.Г. Даника. – Харків: Національний університет внутрішніх справ, 2001. – 252 с.
- [76] Щербакова Е. Газовые пожарные извещатели: продукция фирмы «ФЕКС» / Е. Щербакова, А. Кудрин, А. Соколов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 2. – С. 110 – 111.

- [77] Фёдоров А.В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А.В. Фёдоров, А.Н. Членов, А.А. Лукьянченко, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демёхин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 160 с.
- [78] Калугин В.Д. Газовые пожарные извещатели с полупроводниковыми датчиками: теория, технология, применение / В.Д. Калугин, А.В. Прусский, А.Ю. Войтов, Е.В. Быкова, С.А. Еременко. – Киев: ИГУГЗ НУЦЗ Украины, 2011. – 195 с.
- [79] Прусский А.В. Математическая модель газового пожарного извещателя с полупроводниковым датчиком спиралевидного типа / А.В. Прусский, В.Д. Калугин, А.Ю. Войтов // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2012. – Вип. 3(2). – С. 248 – 252.
- [80] Прусский А.В. Исследование чувствительности газового пожарного извещателя с полупроводниковым датчиком спиралевидного типа в динамическом режиме пиролиза целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага) / А.В. Прусский // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 5. – С. 175 – 179.
- [81] Членов А.Н. Автоматические пороговые комбинированные пожарные извещатели / А.Н. Членов, М.В. Землянухин // Системы безопасности, № 5(59), октябрь-ноябрь. – М.: Гротек, 2004. – С. 36 – 40.
- [82] Буцынская Т.А. Принцип построения комбинированного пожарного извещателя / Т.А. Буцынская, М.В. Землянухин // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – № 2. – С. 145 – 149.
- [83] Оптический/тепловой комбинированный пожарный извещатель SA 5000-700. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.apollorussia.ru/media/pp2516r-soteria-o_h-multisensor-detector-issue-2_locked.pdf
- [84] Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 276 с.
- [85] Eitzen D.G. Acoustic Emission: Establishing the Fundamentals / D.G. Eitzen, H.N.G. Wadley // JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards. – 1984. – Vol. 89. – № 1. – January-February. – P. 75 – 100.
- [86] Grosshandler W.L. Acoustic Emission of Structural Materials Exposed to Open Flames / W.L. Grosshandler, M. Jackson // Fire Safety Journal. – 1994. – Vol. 22. – P. 209 – 228.
- [87] Членов А.Н. Ультразвуковые охранные и охранно-пожарные извещатели для закрытых помещений / А.Н. Членов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, март-апрель, – М., 1999. – С. 25 – 27.
- [88] Пузач С.В. Обоснование возможности раннего обнаружения возгорания в помещении с помощью датчиков давления / Пузач С.В., Поляков Ю.А. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1999. – Вып. 3. – С. 53 – 56.
- [89] Асминг В.Э. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками / В.Э. Асминг, З.А. Евтюгина, Ю.А. Виноградов, А.В. Федоров // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12. – № 2. – С. 300 – 307.
- [90] Климчук Е.Г. Акустическая диагностика процессов «твердофазного горения» смесей органических кристаллов / Е.Г. Климчук, А.Л. Парохонский // Ученые записки физического факультета. – 2014. – № 6. –
- [91] Беликов В.Т. Использование результатов наблюдений акустической эмиссии для изучения структурных характеристик твердого тела / В.Т. Беликов, Д.Г. Рывкин // Акустический журнал. – 2015. – Т. 61. – № 5. – С. 622 – 630.
- [92] Смирнов А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах / А.Н. Смирнов // Российский химический журнал. – 2001. – Т. XLV. – № 1. – С. 29 – 34.
- [93] Роменский А.В. Ультразвук в гетерогенном катализе / А.В. Роменский, В.В. Казаков, Г.И. Гринь, А.П. Кунченко, И.В. Волохов, А.Я. Лобойко. – Северодонецк: Северодонецкая городская типография, 2006. – 289 с.
- [94] Кузнецов Д.М. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в водной среде / Д.М. Кузнецов, А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII. – № 1. – С. 114 – 121.
- [95] Дорофеев Б.М. Влияние статического давления на звуковые импульсы, генерируемые пузырьками пара при насыщенном кипении / Б.М. Дорофеев, В.И. Волкова // Акустический журнал. – 2011. – Т. 57. – № 6. – С. 778 – 785.
- [96] Фадеев Г.Н. Акустическая резонансная частота химических реакций / Г.Н. Фадеев, В.С. Болдырев, Н.Н. Кузнецов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/chem/787.html>
- [97] Мелвин-Хьюз Э.А. Физическая химия. Т.1 / Э.А. Мелвин-Хьюз – М.: Издательство, 1962. – 263 с.
- [98] Акустика: Справочник / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров; Под ред. М.А. Сапожкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь. – 1989. – 336 с.
- [99] Вахитов Ш.Я. Современные микрофоны. Теория, Проектирование / Ш.Я. Вахитов. – СПб.: СПбГУКиТ, 2003. – 396 с.
- [100] Римский-Корсаков А.В. Электроакустика / А.В. Римский-Корсаков. – М.: «Связь», 1973. – 272 с.

Поступила в редакцию 25.05.2017.



Левтеров Александр Антонович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, докторант Национального университета гражданской защиты Украины. Научные интересы: эволюционные вычисления, методы и средства мониторинга факторов чрезвычайных ситуаций различного характера



Тютюник Вадим Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, член-корреспондент Международной академии наук прикладной радиоэлектроники, начальник учебной научно-исследовательской лаборатории пиротехнических и специальных работ Национального университета гражданской защиты Украины. Научные интересы: мониторинг чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, прогнозирование и оценка опасностей, автоматизированные системы безопасности.



Калугин Владимир Дмитриевич, доктор химических наук, профессор, академик Международной академии наук прикладной радиоэлектроники, профессор кафедры специальной химии и химической технологии Национального университета гражданской защиты Украины. Научные интересы: физико-химические проблемы мониторинга и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.



Ольховиков Станислав Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник Научного центра Воздушных Сил Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: исследование волновых процессов в физико-химических реакциях различной природы.

УДК 351.861:504.064:614.8

Використання ефекту акустичної емісії для раннього виявлення загорання матеріалів, що містять целюлозу, об'єктові підсистеми універсальної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні / О.А. Левтеров, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін, С.В. Ольховіков // Прикладна радіоелектроніка: наук. – техн. журнал. – 2017. – Том 16, № 1, 2. – С. 23 – 40.

На основі результатів аналітичного дослідження амплітудно-частотних спектрів акустичної емісії (АЕ) процесу горіння матеріалів, що містять целюлозу різного фізико-хімічного складу пропонується використовувати цей ефект для раннього виявлення загорання на об'єктах з великим вмістом в різних матеріалах і виробках целюлози (тканини, килимові вироби, меблі, пиломатеріали, медичні перев'язувальні матеріали, білизна тощо). Встановлені ефекти АЕ для

матеріалів, що містять целюлозу, використані в ході конструкторської розробки установки для запису, фільтрації і аналітичної обробки спектрів, яка органічно входить в структуру об'єктові підсистеми універсальної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні.

Ключові слова: матеріали, що містять целюлозу, процес горіння, акустична емісія процесу горіння, характеристичні спектри, фільтрація спектра від шумів, вимірювальна установка, раннє виявлення загорання, підсистема універсальної системи моніторингу надзвичайних ситуацій.

Л.: 14. Бібліогр.: 100 найм.

UDC 351.861+504.064.8

Use of the acoustic emission effect at early ignition detection of cellulose materials by the object subsystem of a comprehensive system of monitoring emergency situations in Ukraine / A.A. Levterov, V.V. Tiutiunik, V.D. Kalugin, S.V. Olhovichov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2017. –Vol. 16, № 1, 2. – P. 23 – 40.

On the basis of analytical research results of amplitude-frequency spectra of acoustic emission (AE) of the combustion process of cellulose materials of various physical and chemical composition the paper suggests using this effect at early detection of ignition on objects with high content of cellulose (fabric, carpet products, furniture, saw timber, medical dressing materials, linen, etc.) in a variety of materials and articles. The established AE effects for cellulose materials have been used at design development of a facility for record, filtration and analytical processing of spectra which integrally included in the structure of the object subsystem of the comprehensive system of monitoring emergency situations in Ukraine.

Keywords: cellulose materials, combustion process, combustion process acoustic emission, characteristic spectra, filtration of a spectrum from noise, measuring facility, early ignition detection, subsystem of a comprehensive system of monitoring emergency situations.

Fig.: 14. Ref.: 100 items.