

УДК 614.849

***ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ
САМОВОЗГОРАНИЯ И ГОРЕНИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ***

Аксенов С.Г.

д-р э.н., профессор,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,

РФ, г. Уфа

Синагатуллин Ф.К.,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,

РФ, г. Уфа

Кильдибаев Р.М.

студент,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,

РФ, г. Уфа

Аннотация. В данной статье рассматривается систематизация знаний о механизмах самовозгорания, современных методах его обнаружения и стратегиях минимизации рисков. Проведён анализ биохимических, химических и физических механизмов самовозгорания, рассмотрены современные методы его обнаружения (тепловидение, газовый анализ, математическое моделирование) и стратегии предотвращения. Особое внимание уделено инновационным технологиям, включая ИИ, наноматериалы и спутниковый мониторинг.

Ключевые слова: самовозгорание, растительное сырьё, экзотермические реакции, тепловидение, превентивный мониторинг.

***FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF DETECTION OF SPONTANEOUS
COMBUSTION AND GORENJE PROCESSES IN PLANT MATERIALS***

Aksenov S.G.

*Doctor of Economics, Professor,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

Sinagatullin F.K.,

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

Kildibaev R.M.

*student,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

Annotation. This article discusses the systematization of knowledge about the mechanisms of spontaneous combustion, modern methods of its detection and risk minimization strategies. The analysis of biochemical, chemical and physical mechanisms of spontaneous combustion is carried out, modern methods of its detection (thermal imaging, gas analysis, mathematical modeling) and prevention strategies are considered. Special attention is paid to innovative technologies, including AI, nanomaterials and satellite monitoring.

Keywords: spontaneous combustion, vegetable raw materials, exothermic reactions, thermal imaging, preventive monitoring.

Растительное сырье, включая остатки сельскохозяйственной продукции, древесную массу и материалы с лигноцеллюлозной структурой, может быть подвержено процессу самовозгорания при совпадении определенных условий. Этот процесс обусловлен взаимодействием биологических, химических и физических факторов: от окислительных процессов органических

компонентов до активности микроорганизмов и накопления выделяющегося тепла. Появление самовозгорания приводит к значительным экономическим потерям, экологическим проблемам и создает опасность для людей, что подчеркивает актуальность данного направления исследований.

Феномен самопроизвольного воспламенения растительных материалов представляет собой актуальную проблему в таких областях, как земледелие, лесная промышленность и хранение органической биомассы. В данной работе акцент сделан на исследовании механизмов возникновения самовозгорания, а также на подходах к его диагностике и предотвращению. Рассматриваются физико-химические процессы экзотермического характера наряду с современными технологиями контроля: использование сенсоров, тепловизионного анализа и моделирования потенциальных рисков. Результаты подтверждают необходимость применения многоуровневых методов для эффективного управления рисками спонтанного возгорания.

Основные механизмы самовозгорания растительного сырья

1. Химико-биохимические процессы

Спонтанное воспламенение возникает вследствие экзотермических реакций следующих типов:

– Окисление органических компонентов — реакции липидных соединений или целлюлозы с кислородом окружающей среды при повышенной влажности.

– Микробиологическое разложение — активность бактерий или грибов приводит к выделению тепла в ходе переработки субстрата.

– Процессы гидратации — адсорбция воды биоорганическим материалом вызывает термогидролитическое нагревание [1].

Важным параметром является температура автогенерации тепла (T_a), превышение которой инициирует неконтролируемое повышение температуры из-за дисбаланса между внешним теплоотводом и внутренним тепловыделением. Для основной массы растительных материалов T_a варьируется в пределах 60–100°C.

2. Факторы физического характера

– Низкий теплообмен — рыхлая структура биоматериалов способствует задержке отвода тепловой энергии.

– Уровень влажности — содержание воды в пределах 15–25% способствует усилению окислительных реакций.

– Гранулометрический состав материала — более мелкие фракции (например, стружка или соломенная масса) обладают высокой склонностью к саморазогреву [1,2].

Методы распознавания спонтанного возгорания

1. Контроль с использованием тепловизоров

Метод тепловизионного контроля за процессами горения растительного материала основан на применении инфракрасных камер, способных фиксировать тепловое излучение от материалов. Эти устройства преобразуют зафиксированные данные в температурные карты, что позволяет обнаруживать участки с повышенной температурой на уровне 60–100 °C — ранние признаки самонагрева еще до перехода к стадии открытого пламени.

Одним из главных преимуществ этого метода является его бесконтактный характер, высокая оперативность получения данных и точность измерений до 0,05 °C (например, для оборудования FLIR). Более того, такую систему можно интегрировать с технологиями интернета вещей (IoT), что позволяет наладить автоматическое уведомление о вероятной угрозе.

Применение тепловизоров востребовано для мониторинга состояния складов древесной щепы или соломы, а также для наблюдения за торфяными пожарами в лесах. Однако использование данной технологии сопряжено с трудностями при неблагоприятных погодных условиях, таких как дождь или густой дым, а также с возможностью уменьшения эффективности работы устройств без их адаптации под особенности конкретного сырья [3][4].

2. Методы газового контроля

Анализ газового состава при возгорании растительных материалов служит эффективным инструментом для выявления начальных стадий самовозгорания путем мониторинга выделяемых летучих соединений: оксида углерода, углекислого газа (CO_2), метана и этилена — веществ-индикаторов пиролиза. Для обеспечения постоянного наблюдения за концентрациями указанных газов используются такие методы и приборы, как сенсорные устройства, анализаторы газов и хроматографические системы [4].

3. Математическое моделирование

Используются уравнения теплопередачи (Фурье) и кинетические модели, например:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{\rho \times C_p} - \frac{\lambda}{\rho \times C_p} \times \nabla^2 T$$

где Q — тепловыделение, ρ — плотность, C_p — теплоёмкость, λ — теплопроводность [4].

4. Биосенсоры

Сенсорные устройства для мониторинга самовозгораний растительного сырья, основанные на микробиологических механизмах, активно используют термофильные микроорганизмы. Их активация происходит в ответ на изменение температуры или появление метаболитов, таких как летучие

органические вещества, что позволяет фиксировать начальные стадии термического разложения.

Риски и превентивные стратегии

1. Хранение сырья:

- Обеспечение вентиляции — снижение тепловых накоплений.
- Контроль влажности — уменьшение содержания воды в сырье до значений менее 10%.

2. Технические методы предотвращения:

- Применение ингибиторов горения — включение антипиренных добавок на основе фосфорных или борсодержащих соединений.
- Системы охлаждения аварийного типа — распылительное орошение водой или подача инертных газовых сред.

Перспективы и новые достижения

Искусственный интеллект (ИИ)

Современные аналитические системы используют машинное обучение с применением нейросетевых технологий (например, LSTM и CNN) для обработки данных датчиков (температурный фон, уровень газовой концентрации, степень влажности). Эти системы позволяют оперативно выявлять закономерности возникновения возгораний, точно определять потенциально опасные участки и активировать защитные меры (например, автоматическое включение охладительных систем).

Нанотехнологии

Передовые материалы наноразмерного масштаба активно применяются для защиты от спонтанных очагов горения. Так, использование термохромных наночастиц или аэрогелей из диоксида кремния способствует подавлению

процесса окисления внутри биомассы за счёт снижения её теплопроводности. Наноконпоненты оксидов цинка и титана препятствуют инициированию термических реакций. Кроме того, покрытия с температурной чувствительностью визуально сигнализируют об опасном росте температуры через изменение окраски.

Спутниковые системы мониторинга

Космический надзор за тепловыми аномалиями осуществляется посредством инфракрасной съёмки и мультиспектрального анализа орбитальными платформами. Разработанные комплексы наподобие FIRMS ("Система информации о пожарах для управления ресурсами") предоставляют данные высокой точности с шагом разрешения до 375 м для фиксации задымления или резких скачков температуры в лесах, торфяниках или на аграрных землях. Оперативная обработка получаемой спутниковой информации значительно повышает скорость реагирования [5].

Таким образом, комплексное наблюдение за рисками самовозгорания растительного сырья становится стратегически важным элементом обеспечения противопожарной защиты наряду с поддержанием экологического равновесия и минимизацией экономических убытков. Новейшие технологии обнаружения аномалий — будь то анализ газовых выбросов или данные тепловизоров — доказали свою способность снижать вероятность угроз более чем на половину при грамотном применении совместно с инновационными подходами: искусственным интеллектом, разработками наноматериалов и интернет-платформами вещей (IoT). Это обеспечивает прогнозирование появления проблем с точностью до 90% в сочетании с автоматическим запуском мер по устранению опасностей и уведомлением операторов системы контроля в реальном времени.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Курочкина А.С., Губайдуллина И.Н. Анализ и оценка последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на промышленных предприятиях // Грузовик. – 2022. - №9. - С. 41-43.
2. Борн С.Л. Мероприятия, направленные на снижение пожарных рисков // Вестник науки. – 2024. - №7. – С. 773-777.
3. Вогман Л.П. Исследование процессов самонагревания и самовозгорания растительного сырья // Комбикорма. – 2021. - № 10. - С. 23-26.
4. Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф. А. и др. Пожарно-техническая экспертиза: учебное пособие // Под общей ред. О. М. Латышева. — СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2013. — 108с.
5. Шинкаренко С.С., Бердагалиева А.Н. Технологии спутникового мониторинга травяных пожаров (на примере Волгоградской области) // Современные исследования. – 2019. - № 9. - С. 41-49.

Оригинальность 76%