

FLAMS – МИРОВОЙ ПРОРЫВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ТУШЕНИЯ БИОРЕАКТОРА

Многие десятилетия обращение с отходами заключалось в их размещении на специально выделенных территориях. В результате по всей стране выросли многочисленные полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО). По своим характеристикам полигоны ТКО являются живыми геотехническими системами – биореакторами. Фактически была создана среда обитания биологических объектов, жизнедеятельность которых сопровождается эмиссией биогаза. Отходы, а также генерируемый и проникающий сквозь толщу этих отходов биогаз, вместе создают горючую среду, способную к самовоспламенению. Поэтому все полигоны ТКО тлеют и горят. Горение сопровождается интенсивными залповыми выбросами токсичных веществ. Экологический ущерб от таких выбросов очень велик, а опасность, которую они несут, сложно переоценить. Это, по сути, экологические катастрофы со значительным экономическим и социальным ущербом. Как с ними справиться?

*Р. С. Утешев, генеральный директор
ООО «БИОНИКА+»,
член научно-технического совета
при Росприроднадзоре*

Статистические данные [1–10] ФГБУ ВНИИПО МЧС России свидетельствуют о высокой доле пожаров, связанных с мусором (полигоны и несанкционированные свалки): 25–29 % общего количества пожаров в стране. Ежегодно в России регистрируется около 100–120 тыс. пожаров продолжительностью от одного дня до нескольких недель и даже месяцев, в среднем это более 100 пожаров на один полигон в год. Количество пожаров на полигонах ТКО стабильно и не имеет тенденции к снижению.

Любая технология (средства и способы) тушения пожаров отталкивается от классификации. Применяемая в России классификация пожаров в соответствии с ГОСТ 27331-87 «Пожарная техника. Классификация пожаров» [11] относит пожары на полигонах ТКО к классу А – горение твердых веществ (А1 – горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, и А2 – горение твердых веществ, не сопровождаемое тлением). В качестве средств пожаротушения для таких горений класса А традиционно применяются водяные методы. Но вода увлажняет отходы и создает благоприятные условия для активизации живых организмов, которые, в свою очередь, увеличивают генерацию биогаза.

Таким образом, мы имеем составную проблему: с одной стороны, продолжительность полигонных пожаров и их систематическое возобновление является признаком сложной природы их образования и распространения (эффект биореактора), с другой – свидетельствует о недостаточной эффективности применяемых технологий тушения, в том числе по причине некорректной идентификации горючей среды и, соответственно, применения неподходящих и даже вредных средств и способов пожаротушения.

Разрешить эту составную проблему возможно, во-первых, путем правильной идентификации горений на полигонах ТКО, во-вторых, разработкой и внедрением новых эффективных средств и технологий пожаротушения, направ-

ленных не только на подавление горения, но и на создание условий для нейтрализации и деградации горючей среды.

Для правильной идентификации горения на полигоне ТКО необходимо знать процессы, происходящие в его теле. Это позволяет сформулировать технико-технологические решения, внедрение которых и выступает инструментами управления живой геотехнической системой, в нашем случае в целях предотвращения экологических катастроф как следствий горения и тления на полигонах ТКО.

ГОРЕНИЕ И ТЛЕНИЕ НА ПОЛИГОНАХ ТКО

Поступающие на полигон отходы (сложные органические вещества) под воздействием микроорганизмов разрушаются и преобразуются в свалочный газ, на 70–80 % состоящий из метана, и воду. Такая деструкция отходов внутри тела полигона, сопровождаемая постоянным нагревом самого тела полигона, фактически является основой всех стадий горения и тления:

1. гидролиз и аэробная деструкция – начальная стадия, пока отходы не уплотнены и в толщу мусора есть доступ кислорода. Аэробные бактерии активно разлагают органику (пищевые отходы, бумагу, текстиль и т. д.). Процесс экзотермический и сопровождается значительным выделением тепла. Температура в зоне активного разложения может достигать 60–80 °С, запуская химические реакции окисления органических компонентов отходов (масел, жиров и т. д.). Одновременно биологические процессы повышают влажность, создавая идеальную среду для последующих химических реакций.

2. Активный метаногенез. Физические предпосылки – уплотнение. Под весом новых слоев отходы уплотняются, доступ кислорода прекращается и аэробное разложение сменяется анаэробным. В процессе разложения органических веществ микроорганизмами в условиях отсутствия кислорода выделяется биогаз в виде смеси метана (CH₄, 45–65 %) и углекислого газа (CO₂, 35–55 %), а также летучих органических соединений. Являясь легкими газами, они стремятся выйти на поверхность, при этом часть газов по пути накапливается в полостях, образованных крупногабаритными отходами в верхних слоях, образуя газовые карманы. Концентрация метана в 4–15 % объема воздуха в таких карманах становится взрывоопасной. Именно эти карманы в большинстве случаев становятся очагами горения.

Существенное влияние на процессы генерации газа в фазе метаногенеза оказывают физические факторы: температура и влажность отходов. Высокого уровня метаногенерация достигает при температуре выше 30 °С и влажности в пределах 40–80 %. При критическом нагреве тела полигона до 90 °С происходит самовозгорание приповерхностного слоя.

Несмотря на постоянный рост толщи полигона, процесс метангенерации имеет место на глубине 5–7 м. Таким образом, постоянно обновляемый приповерхностный слой мощностью ~5 м подвержен горениям, которые можно классифицировать как внутренние горения твердых веществ, осложненные диффузионным смешением газов.

При тушении водой горений, возникших в приповерхностном слое, часть объема воды просачивается в пористое тело полигона на глубину



К сведению

Метангенерация происходит на глубине 5–7 м. Тушение водой горения в приповерхностном слое полигона способствует усилению образования метана, сероводорода и углекислого газа.

ниже приповерхностного слоя, повышая влажность и создавая условия, способствующие дальнейшей обильной генерации метана, сероводорода и углекислого газа, а другая часть после охлаждения очага горения испаряется. Высыхание приповерхностного слоя и генерация метана с последующим диффузионным проникновением в приповерхностный слой в совокупности приводят к созданию условий для повторных самовозгораний ранее потушенных очагов и образованию новых. Таким образом, тушение горений, попадающих в категорию «горение твердых веществ, осложненное диффузионным смешением газов», в приповерхностном слое водяными методами видится нецелесообразным и даже вредным.

3. Термическое разложение. Физические предпосылки – аналогичные стадии 2. Термическое разложение происходит параллельно со стадией активного метаногенеза. При разложении отходов с выделением легких газов одновременно образуются пиролизные газы (CO , H_2 , CH_4 , тяжелые углеводороды). Они скапливаются в нижних плотных слоях отходов. Интенсивный саморазогрев отходов в процессе химических реакций в локальных зонах до критических температур 80–100 °С приводит к самовозгоранию и возникновению горения. Горение можно охарактеризовать как гетерогенное тление, оно может протекать при отсутствии кислорода с ростом температуры до 250–700 °С. Такие очаги тления развиваются вглубь полигона (за счет кондуктивного переноса тепла при контакте разлагающихся отходов) и вверх (за счет конвективного переноса разогретых пиролизных газов через поры и пустоты).

Характерными особенностями тления при термическом разложении являются:

- глубинное расположение (происходит на глубине ниже 5–7 м и остается незаметным на поверхности);
- длительность (может продолжаться неделями и месяцами, медленно мигрируя и наращивая мощность);
- высокая токсичность (при недостатке кислорода образуется большое количество угарного газа, диоксинов, фуранов и других опасных веществ).

Классифицировать такое горение можно как «внутреннее горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, осложненное диффузионным смешением газов». Главная опасность такого горения заключается в латентности и глубинности процесса тления, что делает его крайне трудным для обнаружения.

Эффективное подавление тления, вызванного термическим разложением, также требует разработки новых технологий, при этом традиционные средства водяного пожаротушения на данной стадии также нецелесообразны и приводят только к усугублению ситуации. Целеполаганием при разработке технологий для подавления тления при термическом разложении должно стать достижение деградации пограничных условий, характерных для перехода от критического саморазогрева к гетерогенному горению отходов.

4. Прорыв. Стадия перехода в открытый пожар. Любое из вышеперечисленных видов горения и тления рано или поздно выходит на поверхность в зону с достаточным содержанием кислорода, что провоцирует переход к открытому горению. В стадии метаногенеза (2) этот переход происходит в течение короткого периода с прорывом легких газов, а также с выгоранием очагов из газовых карманов. Переход от гетерогенного горения стадии термического разложения (3) к стадии открытого горения происходит с прорывом раскаленных пиролизных газов на поверхность через образовавшиеся трещины. При контакте с воздухом происходит вспышка или взрыв пиролизных газов, что служит детонатором для перехода к открытому пламени. Огонь с поверхности по образовавшимся каналам с горючими газами мгновенно проникает обратно вглубь полигона, поджигая пиролизующиеся отходы. В этом случае пожар приобретает неуправляемый лавинообразный характер, горение стремительно распространяется как в поверхностные, так и в глубинные слои отходов. Такие крупные пожары можно отнести к категории экологических катастроф. Для остановки развития катастрофы требуется вовлечение кратных сил и средств пожаротушения.

Требуется большой объем огнетушащих веществ для подачи вглубь толщи полигона, при этом в качестве огнетушащего вещества применение воды по-прежнему нецелесообразно и вредно. Целеполаганием при выборе методов и технологии тушения должно стать не только эффективное подавление горения, но и создание условий для деградации горючей среды.

Таким образом, стадия, в которой находится отход, определяет условия его горения. На основе анализа этих условий сформирована следующая классификация полигонных горений:

- горение в приповерхностном слое полигона – горение твердых веществ, осложненное диффузионным смешением газов. Характерные признаки:
 - › горение в условиях доступа кислорода;
 - › возможная глубина очагов горения до 5–7 м;
 - › образование опасных прогаров и пустот;
 - › стремительный переход в открытое горение;
- глубинное тление – гетерогенное горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, осложненное диффузионным смешением газов. Характерные признаки:
 - › тление в условиях отсутствия кислорода (пиролиз);
 - › глубинное расположение (происходит на глубине ниже приповерхностного слоя (~5–7 м) и остается незаметным на поверхности);
 - › длительность: может продолжаться неделями и месяцами, медленно мигрируя и наращивая мощность;
 - › образование опасных прогаров и пустот;
 - › предшествует крупному открытому пожару;
 - › высокая токсичность продуктов горения;
- поверхностное – горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, осложненное диффузионным смешением газов. Характерные признаки:
 - › открытое горение в условиях полного доступа кислорода;
 - › на поверхности;
 - › в большинстве случаев является результатом развития горения

В целях корректной идентификации полигонных пожаров и учета значительного влияния фактора диффузионного смешения газа при горении и тлении отходов нами сформулирована нормативная инициатива, в рамках которой предлагается внести изменения в ГОСТ 27331-87. Изменение выражается во введении в класс А – горение твердых веществ (подклассы А1 – горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, и А2 – горение твердых веществ, не сопровождаемое тлением) – дополнительного подкласса А3 – горения твердых веществ с диффузионным смешением газов, сопровождаемое/не сопровождаемое тлением.

Ожидаемый эффект от результата такой нормотворческой инициативы – создание основы для определения и обоснования требований к средствам пожаротушения для биореакторов ТКО. Зачем нам эти требования и обоснования? Ответ прост: мы же не тушим горящие нефтепродукты водой, потому что результат очевиден – опасное вскипание и выброс горячей жидкости с расширением зоны пожара и интенсивности. Аналогично и с тушением биореактора: при тушении водой произойдет интенсификация процесса метаногенеза (возрастет генерация газа при избыточном увлажнении), только произойдет это не сразу после увлажнения отходов при тушении, а с отсрочкой, создав условия для повторного возгорания. То есть первый шаг к укрощению пожаров на полигонах ТКО – признать, что они есть и представляют собой уникальное сложное горение – горение биореактора.

Введение категории позволит выделить пожары на полигонах ТКО в отдельную группу, обеспечив учет специфики условий их возникновения и развития, что важно, например, при разработке новых видов огнетушащих средств, идентификации и подтверждении соответствия требованиям к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения.

в приповерхностном слое полигона и глубинных тлений.

Объединяющим фактором поверхностного, приповерхностного и глубинного горения и тления на полигонах ТКО является то, что все они протекают в присутствии проникающего газа, фактически находящегося в состоянии диффузионного смешения с отходами (твердыми веществами).

СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЛИГОНОВ

Что касается разработки новых эффективных средств и технологий пожаротушения, направленных на подавление горений и создание условий для нейтрализации и деградаци горючей среды в биореакторе, то достижение такого эффекта возможно за счет комплексования физических и химических свойств новых видов огнетушащих веществ. В качестве приоритета в исследовательской деятельности нашей компании был установлен курс на разработку и внедрение минеральных огнетушащих веществ (МОТВ), а также средств доставки МОТВ к очагам горения, находящихся как снаружи (поверхностное горение), так и внутри тела полигона (приповерхностное и глубинное горение и тление).

На начальном этапе исследования мы сформулировали требования к физическим свойствам огнетушащих веществ для полигонов-биореакторов:

- они должны обеспечивать эффективное охлаждение, изоляцию горящего материала, создавая плотный слой, блокирующий доступ кислорода, одновременно снижая испарение горючих веществ;
- вязкость огнетушащего вещества должна позволять дольше удерживаться на вертикальных поверхностях и внутри тела полигона;
- вода в таком огнетушащем составе должна выполнять функции транспортирования минерального реагента в очаг горения и, испаряясь, оставлять реагент в очаге горения/тления;
- с точки зрения химии процесса реагент, включенный в состав огнетушащего вещества, должен создавать щелочную среду, что обеспечит подавление горения;
- огнетушащая композиция должна формировать гелеобразные гидроксиды для изоляции поверхности горения от кислорода;
- каталитически подавлять горения, ускоряя реакции распада горючих газов на менее опасные соединения;

• реагент должен сорбировать летучие органические соединения (связывать сажу) и аэрозоли, уменьшая плотность дыма и улучшая видимость в зоне горения;

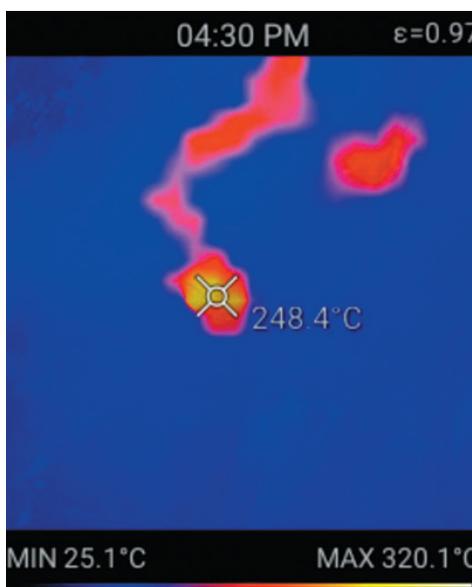
- также реагент при взаимодействии с токсичными газами должен связывать их и образовывать менее вредные соли, осаждающие их.

Компанией ООО «БИОНИКА+» были разработаны прототипы таких огнетушащих веществ – реагенты FLAMS и FLAMS GEL. Они представляют собой композиции на основе минеральных веществ техногенного и природного происхождения в виде порошка, которые при диспергировании в воде обладают комплексом физико-механических и химических свойств для эффективного тушения горения и тления твердых веществ, осложненных диффузионным смешением газов, характерных для горения и тления на полигонах ТКО.

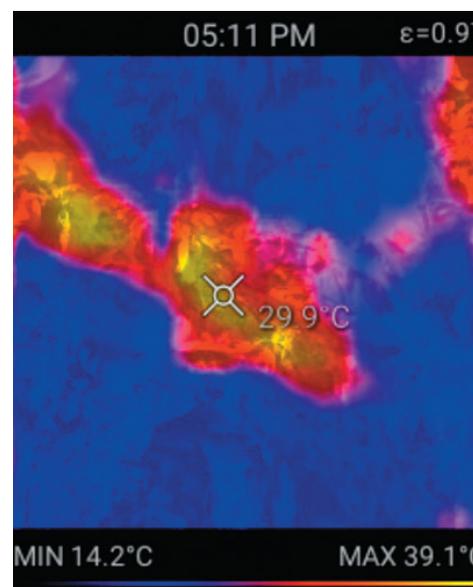
В готовом растворенном виде реагенты представляют собой огнетушащую суспензию (ОТС) – однородную дисперсную смесь с жидкой дисперсионной средой и огнетушащий гель (ОТГ) – вязкое коллоидное вещество на водной основе, модифицированное загустителями, создающими структурную сетку для удержания



Рис. 1. Огневые испытания реагента FLAMS на модельном очаге: а) подготовка к испытаниям; б) во время испытаний; в) результат испытаний



а



б

Рис. 2. Очаг приповерхностного тления (объект ОПИ № 1): а) перед началом тушения; б) после тушения

воды в целях обеспечения адгезии к вертикальным поверхностям, медленного испарения, блокирования доступа кислорода и подавления химических реакций горения.

С применением полученных реагентов проведены лабораторные, а также огневые испытания на модельных очагах (рис. 1 ▶ стр. 50).

Получены показатели эффективности и проведен сравнительный анализ по результатам огневых испытаний (таблица ▶ стр. 51).

Значение показателя огнетушащей способности свидетельствует о том, что на один и тот же объем очага горения огнетушащей суспензии на ос-

нове реагентов FLAMS потребуется на 40–50 % меньше, чем воды. Эффективность реагентов была подтверждена и опытно-полевыми испытаниями на полигонах ТКО.

Результаты огневых испытаний на модельном очаге подтверждены опытно-полевыми испытаниями, проведенными в реальных условиях на полигонах ТКО. На полигонах преобладает приповерхностное тление и горение. В качестве примера на рис. 2 ▶ стр. 50 приведен один из таких очагов с выходом дыма на площади 4 × 5 м. Тепловизионное обследование выявило, что внутри очаг распространялся на площади

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕАГЕНТОВ FLAMS И FLAMS GEL (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ)

Показатель	Численные значения показателей		
	Вода	Реагент FLAMS	Реагент FLAMS GEL
Масса израсходованного огнетушащего вещества/воды, кг	19	10	12
Расход реагента на тушение модельного очага в составе огнетушащего вещества, кг	0	4	4,8
Показатель огнетушащей способности, кг/м ³	158,3	83,3	100
Время тушения модельного очага, с	170	110	120
Наличие повторного возгорания	1 из 3	0 из 3	0 из 3

6 × 7 м и достигал глубины тления до 1 м. Время полного подавления горения в очаге не превысило 40 мин при относительно невысокой производительности насоса, подававшего огнетушащую суспензию в очаг тления при испытаниях. В результате физико-химического воздействия реагента температура очага за это время снизилась с максимальной 320 °С до минимальной 14,2 °С. Повторное возгорание на опытных очагах не зафиксировано.

Одновременно с реагентами велась разработка технологий приготовления и подачи ОТС и ОТГ в очаги горения. Принципиальная схема технологии предполагает три основных шага с применением достаточно простого оборудования (рис. 3 ▶ стр. 51).

Учитывая высокую долю поверхностных и приповерхностных типов горения на полигонах ТКО, акцент в разработке технологии тушения был сделан в первую очередь на объемной обработке открытого горения, а также

тушении внутреннего горения и тления с применением ствола для инъектирования суспензий и гелей в приповерхностный слой.

Для тушения глубинного (гетерогенных) тления ведется разработка технологии скважинной закачки реагента под давлением. Технология предполагает разработку мобильного флота – комплекса спецтехники на транспортных шасси, оснащенных буровым оборудованием, смешительным узлом и насосной станцией высокого давления для осуществления высокоскоростной и большеобъемной закачки реагента вглубь биореактора.

В настоящее время в России более 830 объектов захоронения (полигонов ТКО) и 16 430 нелегальных свалок. На каждом полигоне возникают открытые пожары, которым предшествует внутреннее горение и тление, требующее оперативной локализации. Неосознание серьезности проблемы, недостаточная оперативность или бездействие приводят к стремительному росту очага, требующего впоследствии вовлечения больших сил и средств для тушения пожара.

Знание природы образования и развития горения на полигоне, идентификация пожаров в соответствии с предлагаемой классификацией, применение реагентов и технологий, отвечающих типу горения, позволяют подойти системно и обеспечить сокращение пожаров на биореакторах ТКО. ♻️



Рис. 3. Технология приготовления и применения огнетушащих веществ из реагентов FLAMS и FLAMS GEL

Список литературы
приведен на сайте
журнала

